

HANSER



Leseprobe

ZU

„Industrielle Beschichtung von Holz und Holzwerkstoffen im Möbelbau“

von Andreas Hänsel und Jorge Prieto (Hrsg.)

ISBN (Buch): 978-3-446-45093-6

ISBN (E-Book): 978-3-446-45667-9

ISBN (E-Pub): 978-3-446-45945-8

Weitere Informationen und Bestellungen unter
<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-45093-6>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

Inhalt

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1 | Prüfverfahren in der Oberflächentechnik | 13 |
| 1.1 | Einleitung | 13 |
| 1.2 | Technologische Messungen | 17 |
| 1.3 | Möbelspezifische Prüfungen | 31 |
| 1.4 | Weitere Prüfverfahren | 39 |
| 1.5 | Eignung von Messsystemen | 41 |
| 1.6 | Lehrfilme | 43 |
| 1.7 | Literatur | 44 |
| 2 | Beschichtungsstoffe | 48 |
| 2.1 | Feste Beschichtungsmaterialien | 48 |
| 2.1.1 | Furnier | 48 |
| 2.1.2 | Folien | 55 |
| 2.1.2.1 | Aufbau einer Dekorfinishfolie | 57 |
| 2.1.2.2 | Herstellung von Dekorfinishfolien | 57 |
| 2.1.2.2.1 | Materialien und Rohstoffe | 58 |
| 2.1.2.2.2 | Dekorentwicklung | 60 |
| 2.1.2.2.3 | Druckprozess | 63 |
| 2.1.2.2.4 | Lackierprozess | 65 |
| 2.1.2.3 | Verarbeitung und Anwendung von Dekorfolien | 69 |
| 2.1.2.3.1 | Beschichtung von Flächen mit Dekorfinishfolien in Flachpressen und Kaschieranlagen | 70 |
| 2.1.2.3.2 | Beschichtung von Profilen mit Dekorfinishfolien in Ummantelungsanlagen | 74 |
| 2.1.2.3.3 | Beeinträchtigungen und Fehler während der Verarbeitungsprozesse von Dekorfinishfolien | 78 |
| 2.1.2.4 | Ausblick | 80 |
| 2.1.3 | Pulverlacke | 81 |
| 2.2 | Flüssige Beschichtungssysteme für den Möbelbau | 86 |
| 2.2.1 | Lösemittelhaltige Lacktechnologien | 88 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| 2.2.1.1 | Cellulosenitrat-Lacke (CN-Lacke) | 88 |
| 2.2.1.1.1 | Eigenschaften von CN-Lacken | 93 |
| 2.2.1.1.2 | Anwendungsbeispiel und Tipps im Umgang mit CN-Lacken | 94 |
| 2.2.1.2 | Säurehärtende Lacke (SH-Lacke) | 95 |
| 2.2.1.2.1 | Bestandteile von SH-Lacken | 96 |
| 2.2.1.2.2 | Eigenschaften und Anwendungsbeispiel | 98 |
| 2.2.1.3 | Zweikomponenten-Polyurethan-Lacke (2K-PUR-Lacke) | 99 |
| 2.2.1.3.1 | Bestandteile von 2K-PUR-Lacken | 99 |
| 2.2.1.3.2 | Verarbeitung und Eigenschaften von 2K-PUR-Lacken | 103 |
| 2.2.1.3.3 | Hochglänzende Oberflächen | 105 |
| 2.2.2 | Lösemittelarme und lösemittelfreie Lacktechnologien | 106 |
| 2.2.2.1 | Ungesättigte Polyesterlacke (UP-Lacke) | 106 |
| 2.2.2.1.1 | Bestandteile von UP-Lacken | 106 |
| 2.2.2.1.2 | Anwendungs- und Verarbeitungshinweise | 111 |
| 2.2.2.2 | UV-härtende- und elektronenstrahlhärtende Lacke (UV-/ESH-Lacke) | 113 |
| 2.2.2.3 | Pigmentierte UV-Beschichtungen | 145 |
| 2.2.2.4 | Öle und Wachse | 147 |
| 2.2.2.5 | Wasserlacke | 158 |
| 2.2.2.6 | Holzbeizen | 174 |
| 2.3 | Leime und Klebstoffe | 181 |
| 2.3.1 | Kleben als Füge-technik | 181 |
| 2.3.1.1 | Adhäsion und Kohäsion | 181 |
| 2.3.1.2 | Thermomechanisches Verhalten von Polymeren | 183 |
| 2.3.1.3 | Aushärtemechanismen | 185 |
| 2.3.2 | Stoffliche Zusammensetzung von Klebstoffen | 186 |
| 2.3.3 | Breitflächenbeschichtung | 188 |
| 2.3.3.1 | Beschichtungstechniken | 188 |
| 2.3.3.2 | Postforming | 189 |
| 2.3.3.3 | Klebstofftypen | 189 |
| 2.3.4 | Schmalflächenbeschichtung | 195 |
| 2.4 | Literatur | 197 |

3 Applikationsverfahren 205

| | | |
|---------|--|-----|
| 3.1 | Verfahren zur Breitflächenbeschichtung | 205 |
| 3.1.1 | Beschichtungen in stationären Pressen | 205 |
| 3.1.2 | Industrielle Kaschierung | 207 |
| 3.1.2.1 | Kaltkaschierung | 207 |
| 3.1.2.2 | Warmkaschieren | 212 |
| 3.1.2.3 | Thermokaschieren | 212 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| 3.1.2.4 | Flatlamination als Sonderform der Kaschierung | 213 |
| 3.1.3 | Ummantelung | 213 |
| 3.1.4 | Beschichtung mit Melamindekoren in der Kurztaktpresse | 219 |
| 3.2 | Materialien und Verfahren zur Schmalflächenbeschichtung | 220 |
| 3.2.1 | Materialien zur Schmalflächenbeschichtung | 221 |
| 3.2.1.1 | Thermoplastische Kantenbänder zur Schmalflächen- beschichtung | 221 |
| 3.2.1.2 | Duroplastische Kantenbänder zur Schmalflächen- beschichtung | 226 |
| 3.2.1.3 | Furnier- und Massivholzkantenbänder zur Schmal- flächenbeschichtung | 227 |
| 3.2.2 | Verfahren zur Schmalflächenbeschichtung | 228 |
| 3.2.2.1 | Schmalflächenbeschichtung mittels Schmelz- klebstoffen | 228 |
| 3.2.2.2 | Nullfugentechnologien Laser, NIR, Hotair, Plasma, Mikrowelle | 230 |
| 3.2.2.3 | Sonderverfahren | 234 |
| 3.2.3 | Maschinen zur Schmalflächenbeschichtung | 238 |
| 3.2.3.1 | Handmaschinen zur Schmalflächenbekantung | 238 |
| 3.2.3.2 | Maschinen für die Durchlauffertigung | 238 |
| 3.2.3.3 | Maschinen für die Stationärfertigung | 240 |
| 3.3 | Beschichtung von Oberflächen mit Lacken | 241 |
| 3.3.1 | Theoretische Grundlagen | 241 |
| 3.3.2 | Beschichtungsverfahren | 246 |
| 3.3.2.1 | Spritzen | 246 |
| 3.3.2.2 | Lackgießen | 257 |
| 3.3.3 | Walzen von Lacken | 259 |
| 3.3.4 | Weitere Auftragsverfahren | 262 |
| 3.4 | Verfahren zur Pulverbeschichtung | 264 |
| 3.4.1 | Technologie | 266 |
| 3.4.2 | Bauteilanforderungen und Schichtaufbauten | 270 |
| 3.4.3 | Verfahrenstypische Oberflächenfehler und spezielle Prüfverfahren | 271 |
| 3.5 | Drucken | 272 |
| 3.5.1 | Historische Entwicklung | 272 |
| 3.5.2 | Druckverfahren | 273 |
| 3.5.2.1 | Druckformgebundene Verfahren | 274 |
| 3.5.2.2 | Nichtdruckformgebundene Verfahren (Non-Impact-Druck/Digitaldruck) | 282 |
| 3.5.2.2.1 | Inkjetdruck | 283 |
| 3.5.3 | Erkennen von Druckfehlern | 288 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 3.5.4 | Taktile Simulationen von Oberflächen auf Basis des Digitaldrucks (Elevated Printing) | 289 |
| 3.5.5 | Ausblick | 294 |
| 3.6 | Literatur | 294 |
| 4 | Schleifen und Polieren | 298 |
| 4.1 | Schleifen | 298 |
| 4.1.1 | Grundprinzipien | 298 |
| 4.1.2 | Schleifmittel auf Unterlage | 301 |
| 4.1.3 | Schleifverfahren und -maschinen | 305 |
| 4.1.3.1 | Allgemeine Prozesszusammenhänge | 305 |
| 4.1.3.2 | Modelle zur Prozessauslegung | 307 |
| 4.1.3.3 | Holzschliff | 308 |
| 4.1.3.4 | Lackzwischen Schliff | 311 |
| 4.1.4 | Bewertung des Arbeitsergebnisses | 312 |
| 4.1.4.1 | Oberflächengüte nach dem Holzschliff | 312 |
| 4.1.4.2 | Oberflächengüte nach dem Lackzwischen Schliff | 313 |
| 4.1.4.3 | Prozesskenngrößen | 314 |
| 4.2 | Polieren | 314 |
| 4.2.1 | Grundprinzipien | 315 |
| 4.2.2 | Poliermittel, Polituren und Politurträger | 315 |
| 4.2.3 | Poliervverfahren | 316 |
| 4.2.4 | Bewertung des Arbeitsergebnisses | 316 |
| 4.3 | Literatur | 317 |
| 5 | Trocknung und Härtung von Lackfilmen | 318 |
| 5.1 | Grundlagen | 318 |
| 5.2 | Lufttrocknung und konvektive Trocknung | 320 |
| 5.3 | Trocknung mit entfeuchteter Luft | 324 |
| 5.4 | Strahlungstrocknung | 325 |
| 5.4.1 | Trocknung mit Infrarotstrahlung (IR) | 326 |
| 5.4.2 | Härtung mit UV-Strahlung | 328 |
| 5.4.3 | Trocknung mit Elektronenstrahlen | 335 |
| 5.5 | Elektrische Trocknungsverfahren | 336 |
| 5.6 | Fehler bei der Lacktrocknung | 337 |
| 5.7 | Literatur | 338 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 6 | Brand- und Explosionsschutz in Lackierereien | 340 |
| 6.1 | Grundbegriffe im Explosionsschutz | 340 |
| 6.2 | Abgrenzung und Begriffsdefinition | 342 |
| 6.2.1 | Explosionsschutz | 342 |
| 6.2.2 | Brandschutz | 342 |
| 6.3 | ATEX-Produktrichtlinie und ATEX-Betriebsrichtlinie | 344 |
| 6.4 | Anwendung des Explosionsschutzes | 344 |
| 6.5 | Definition von Ex-Zonen (Zoneneinteilung) | 346 |
| 6.6 | Einsatzbereiche von Geräten und Komponenten | 347 |
| 6.7 | Explosionstechnische Kennzahlen | 347 |
| 6.8 | Schutzprinzipien | 349 |
| 6.9 | Zündschutzarten | 350 |
| 6.10 | Maßnahmen im Explosionsschutz | 352 |
| 6.11 | Übersicht des Regelwerks | 357 |
| 7 | Simulation von Beschichtungs- und Trocknungsprozessen | 359 |
| 7.1 | Simulation und Simulationsarten | 359 |
| 7.2 | Berechnung zur Simulation von Beschichtungsvorgängen | 360 |
| 7.3 | Einsatzgebiete der Simulation | 362 |
| 7.3.1 | Simulation in der Lackiertechnik | 363 |
| 7.3.2 | Numerische Simulation von Trocknungsvorgängen | 367 |
| 7.4 | Zusammenfassung | 370 |
| 7.5 | Literatur | 372 |
| 8 | Optimierung von Beschichtungsprozessen | 373 |
| 8.1 | Allgemeine Aspekte bei Beschichtungsprozessen | 373 |
| 8.2 | Analyse des Ist-Zustands | 373 |
| 8.3 | Betriebswirtschaftliche Bewertung | 375 |
| 8.4 | Zusammenhänge zwischen Ziel- und Einflussgrößen | 377 |
| 8.5 | Auswahl von Beschichtungsstoffen | 379 |
| 8.6 | Planung von Lackieranlagen | 380 |
| 8.7 | Literatur | 381 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 9 | Industrie 4.0 in der Oberflächentechnik | 383 |
| 9.1 | Zum Begriff Industrie 4.0 | 383 |
| 9.2 | Wandel in den Produktionsfaktoren und Motivation für neue Konzepte | 384 |
| 9.3 | Definition Industrie 4.0 und Cyber-physische Systeme | 385 |
| 9.4 | Spezielle Herausforderungen in der Oberflächentechnik | 386 |
| 9.5 | Industrie 4.0 in der Möbelindustrie | 386 |
| 9.6 | Praxisbeispiele | 387 |
| 9.7 | Literatur | 391 |
| | Index | 393 |

Vorwort

Für den Bereich der Beschichtung von Oberflächen mit Lacken existieren zahlreiche Fachbücher. Im Bereich der Möbelfertigung sind jedoch nur wenige aktuelle Lehrbücher oder Monographien bekannt. Darüber hinaus ist in der Möbelindustrie auch der Einsatz fester Beschichtungsmaterialien bedeutsam. Für den Anwender überschneiden sich häufig stoffliche, anlagentechnische und verfahrenstechnische/technologische Einflüsse bei der Gestaltung moderner Lackierprozesse.

Die Autoren haben deshalb versucht, die relevanten Themen aus verschiedenen Blickwinkeln auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen zu betrachten, um dem Leser ein Verständnis der Komplexität zu vermitteln. Im Autorenkollektiv haben sich Hochschullehrer, Wissenschaftler und Praktiker aus der Industrie zusammengefunden und teilweise nach längerer Diskussion übereinstimmende Standpunkte erreicht. Dennoch übersehen sie nicht, dass in Hinsicht auf evtl. künftige Auflagen neue Schwerpunktsetzungen und Ergänzungen erforderlich sein können.

Unser besonderer Dank gilt den Kollegen, die uns im Prozess der Entstehung dieses Buchs mit Hinweisen und konstruktiven Kommentaren unterstützt haben. Stellvertretend seien an dieser Stelle die Herren Dr. Rico Emmler (IHD), Axel Steuernagel (UV-Technik Meyer), Ulrich Schneider (Heraeus Noblelight), Martin Drescher (Westland Gummiwerke), Holger Scherrenbacher (Klebchemie M.G. Becker GmbH & Co. KG), Tobias Feifel (Nolte Möbel GmbH & Co. KG) und Ulrich Bens (Siempelkamp Maschinen- und Anlagenbau GmbH & Co. KG) genannt.

Die Herausgeber möchten weiterhin an dieser Stelle ihren Mitarbeitern danken, die sie bei der Manuskriptbearbeitung unterstützten. Ein besonders herzlicher Dank gilt Herrn B. Eng. Martin Schallhammer (Staatliche Studienakademie Dresden) für die umfangreichen Arbeiten bei der Zusammenfassung und Fertigstellung des Gesamtmanuskripts sowie Herrn B. Eng. Martin Rößler und Frau Manuela Slopianka. Auch dem Carl Hanser Verlag, insbesondere Frau Alexandra Fritsch, Herrn Manuel Leppert und Frau Katrin Wulst, danken wir für die verständnisvolle Unterstützung dieses Buchprojekts.

Dresden, im August 2018

Andreas Hänsel

Jorge Prieto

4. Kante anleimen: Das Anleimen kann mittels Schmelzkleber (EVA, Polyolefin oder PUR) erfolgen (üblicherweise Klebstoffauftrag auf die Kante), alternativ kann eine Nullfugenkante mittels einer Energiequelle rückseitig aktiviert werden.
5. Kantenüberstand befräsen: Die angefahrne Kante wird profiliert (Radius oder Fase wird angefahren).
6. Ziehklingenbearbeitung: Durch den Einsatz der Profilziehklinge werden die entstandenen Fräsmarkierungen (Messerschläge) beseitigt – im Anschluss erfolgt das flächenbündige Bearbeiten des Fugenbereichs mittels Leimfugen (Flach-) Ziehklinge.
7. Optionale Bearbeitungsschritte: Es können diverse Bohr-/Fräs- oder Nutaggregate zum Einsatz kommen. Diese können vertikal oder auch horizontal arbeiten.

■ 3.3 Beschichtung von Oberflächen mit Lacken

3.3.1 Theoretische Grundlagen

Bei der Beschichtung von Oberflächen spielt eine Reihe stofflicher Eigenschaften von Trägerwerkstoff und Beschichtungsmaterial – sowie deren Wechselwirkung – eine entscheidende Rolle für den Prozess Erfolg. Sie sind auch eine Quelle für das Auftreten von Lackierfehlern. Die wesentlichen Eigenschaften und ihre Wirkrichtungen sind in Bild 3.25 dargestellt [PEC 1995].

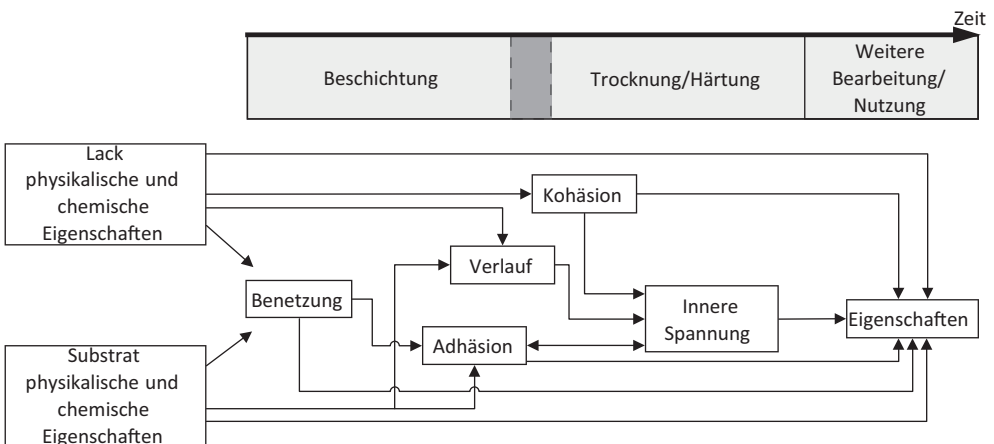


Bild 3.25 Modell der Wirkung stofflicher Eigenschaften beim Beschichtungsprozess

Für den Erfolg eines Beschichtungsprozesses ist zunächst die **Benetzung** eines Substrats (Holz, Folie, Lackschicht) mit einem flüssigen Beschichtungsmittel (nachfolgend Lack) erforderlich. Eine wesentliche Rolle kommt dabei den Oberflächenenergien (Abschnitt 3.3.1) des Lacks und der Festkörperoberfläche zu. Nach dem Auftreffen eines Lacktropfens auf

die Oberfläche des zu beschichtenden Substrats entsteht daraus unter der Wirkung verschiedener Kräfte eine abgeflachte Kugelkalotte (Bild 1.5 rechts). Die an der Randlinie des aufgetragenen Tropfens wirkenden Kräfte bilden ein Kräftegleichgewicht, das die Basis der sogenannten YOUNG-Gleichung (Gleichung 2.5) ist. Durch deren Auswertung lässt sich zeigen, dass für eine erfolgreiche Benetzung folgende Voraussetzung erfüllt sein muss:

$$\sigma_s \geq \sigma_l \quad (3.1)$$

Es bedeuten: σ_s : Oberflächenenergie des Substrats, σ_l : Oberflächenspannung des Lacks

Die zu erwartende Güte der Benetzung lässt sich auch mithilfe des Kontaktwinkels beschreiben (zur Spezifik des porigen, anisotropen Werkstoffs Holz siehe Abschnitt 2.1.1):

- Kontaktwinkel $\Theta > 90^\circ$ – keine Benetzung
- Kontaktwinkel $\Theta = 0^\circ$ – Flüssigkeit breitet sich ohne Tropfenbildung aus
- Kontaktwinkel $0^\circ < \Theta < 90^\circ$ – normal benetzend

Um diese Anforderung zu erfüllen, können Lacken Additive (z. B. Tenside) zugefügt werden, um die Oberflächenspannung zu reduzieren und die Benetzung zu verbessern. Dies trifft insbesondere für Wasserlacke zu (σ Wasser: 73 mJ/m²).

Bild 3.26 zeigt die Oberflächenenergie verschiedener Substrate. Eine Verbesserung der Benetzung lässt sich auch dadurch erreichen, dass deren Oberflächenenergie erhöht wird. Dies erfolgt bspw. durch Schleifen oder chemische bzw. physikalische Behandlung (z. B. Plasma).

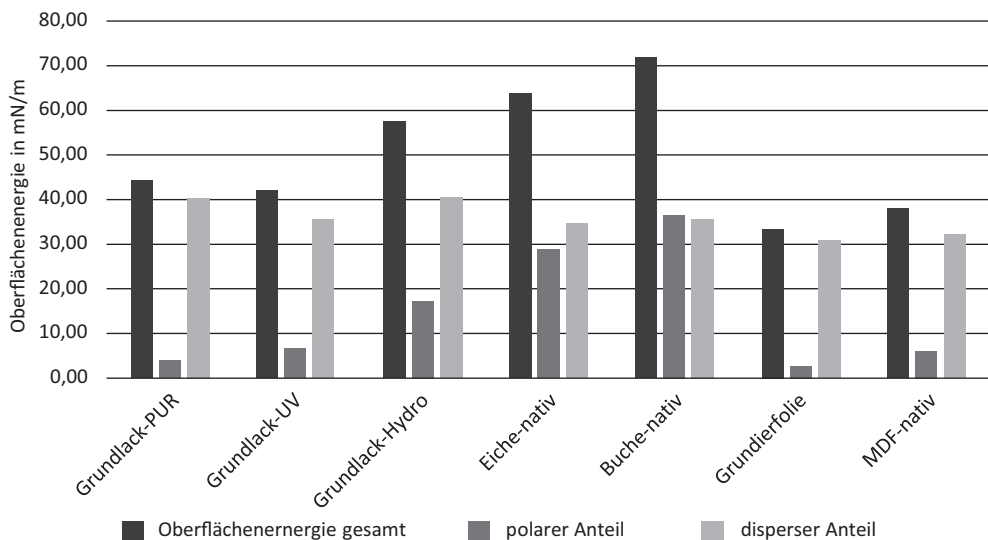


Bild 3.26 Oberflächenenergie verschiedener Substrate

Für eine komplexe Beurteilung genügt die Betrachtung der integralen Oberflächenspannung jedoch nicht. Es sind vielmehr die Anteile spezifischer Kräfte, die auch in Bild 3.26 dargestellt sind, zu berücksichtigen. Dabei handelt es sich um Dispersionskräfte, elektrische polare Kräfte und ggf. Wasserstoffbrückenbindungen [BRO 2000]. Grundsätzlich

kann von der Faustregel ausgegangen werden, dass polare Anteile nur mit polaren Anteilen und disperse Anteile mit dispersen Anteilen interagieren [SKR 2016]. Dies findet seinen Ausdruck in der von OWENS, WENDT, RABEL, KÄELBLE zur Bestimmung der freien Grenzflächenenergie zwischen einem Substrat und einer Flüssigkeit (Lack) abgeleiteten Berechnung auf Basis des geometrischen Mittels:

$$\sigma_{ls} = \sigma_1 + \sigma_s - 2 \cdot \left(\sqrt{\sigma_1^d \cdot \sigma_s^d} + \sqrt{\sigma_1^p \cdot \sigma_s^p} \right) \quad (3.2)$$

Es bedeuten: σ_{ls} : freie Grenzflächenenergie zwischen Festkörper (Substrat) und Flüssigkeit (Lack), σ_1 : Oberflächenspannung des Lacks, σ_s : freie Oberflächenenergie des Festkörpers, d: dispers, p: polar

Aus der vorstehenden Beziehung ist ableitbar, dass mit zunehmender Übereinstimmung von polaren und dispersen Anteilen beider Benetzungspartner die Grenzflächenspannung minimiert wird. Dies ist eine wichtige Bedingung für eine gute **Adhäsion** (Haftung), insbesondere bezüglich der polaren Anteile. Dennoch sind Dispersionskräfte stets an der Ausbildung der Haftung beteiligt [ZOR 1988]. In Abhängigkeit von Kapillarradius, Viskosität und Oberflächenspannung des Lacks kann mittels der WASHBURN-Gleichung [BRO 2000, S. 260] die Eindringtiefe des Lacks in die Poren abgeschätzt werden. Unter Berücksichtigung der dafür verfügbaren Zeit ist davon auszugehen, dass die oberflächennahen Poren weitgehend mit Lack gefüllt werden, was die Haftung der Lackschicht verbessert.

Auftragsverfahren erzeugen in der Regel lokale Unebenheiten wie z.B. Walzstrukturen, die verlaufen müssen, um eine ebene Oberfläche nach dem Trocknen vorzufinden. Die wesentlichen Einflussgrößen dieses **Verlauf s** sind die Oberflächenspannung und die Viskosität des Lacks. Unter der idealisierenden Annahme eines sinusförmigen Dickenprofils des aufgetragenen Lacks (Bild 3.27) wurden von ORCHARD die grundlegenden Zusammenhänge abgeleitet und formelmäßig beschrieben [MEI 2016]:

$$a \cdot \ln \frac{a_0}{a_t} = \frac{16 \cdot \pi^4 \cdot \sigma \cdot d^3}{3 \cdot \lambda^4} \int_0^t \frac{1}{\eta(t)} dt \cdot t = \frac{\lg \left(\frac{a_0}{a_t} \right) \cdot \lambda^4 \cdot \eta}{226 \cdot \sigma \cdot d^3} \quad (3.3)$$

Es bedeuten: Erklärungen s. Bild 3.27, σ : Oberflächenspannung, η : Viskosität, t: Zeit zur Reduzierung der Amplitude von a_0 auf a_t

Demzufolge beschleunigen steigende Oberflächenspannung und Auftragsmenge (Filmdicke) den Verlauf, während sich dieser mit zunehmender Viskosität und Wellenlänge verlangsamt. Zu den die Benetzung und den Verlauf weiterhin beeinflussenden Holzeigenschaften gehören die Rauigkeit (behindert beide Eigenschaften sowie die Ausbildung dünner Lackschichten), die Saugfähigkeit (behindert den Verlauf), die Holzfeuchte sowie ggf. die Benetzung störende Stoffe (z. B. Wachse o. ä.) u. a.⁴

Ungleichmäßigkeiten in der lokalen Verteilung der Dicke des Lackfilms werden durch die Struktur des Holzes (Poren, Frühholz, Spätholz usw.) oder Bearbeitungsspuren (Schleifen)

⁴⁾ Eine umfassende Darstellung von Untersuchungen sowie Literaturquellen findet sich dazu z. B. in [PEC 1995].

verstärkt, die Änderungen der energetischen Verteilung der Oberfläche bewirken. Grundsätzlich fließt Lack aus den Bereichen niedriger Oberflächenspannung in solche mit hoher Oberflächenspannung, wobei die Gesamtoberfläche physikalisch durch Reduzierung der Oberfläche einen minimalen Energieinhalt anstrebt. Dieses Prinzip ist auch die Ursache der Kantenflucht, d. h. zu beobachtender geringerer Lackfilmdicke an lackierten Kanten. Nachweislich verteilt sich Lack in den vorhandenen Rillen des Holzes jedoch sehr gut [PEC 1995], was durch den dort herrschenden Unterdruck ($p = -2\sigma/R$) erklärt werden kann. Wasserlacke verursachen gegenüber lösemittelhaltigen Lacken ein stärkeres Quellen des lignocellulosen Untergrunds und verstärken in Abhängigkeit von der Einwirkzeit dessen Rauigkeit. Die Schrumpfung des Lacks während des Trocknungsprozesses ist für lösemittelhaltige Lacke in einer ersten Näherung dem Lösemittelgehalt proportional [SCH 2014] und führt ebenfalls zu Strukturbildungen an der Oberfläche. Die Auswirkung verschiedener Einflüsse auf die Rauigkeit⁵ der lackierten Fläche zeigt Bild 3.28.

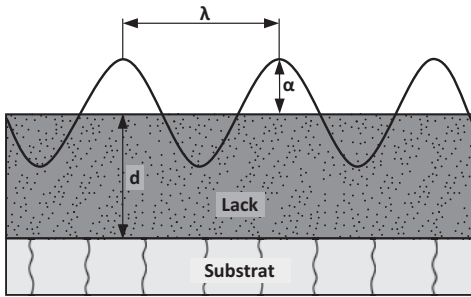


Bild 3.27 Verlaufsmodell nach ORCHARD [Mei 2016]

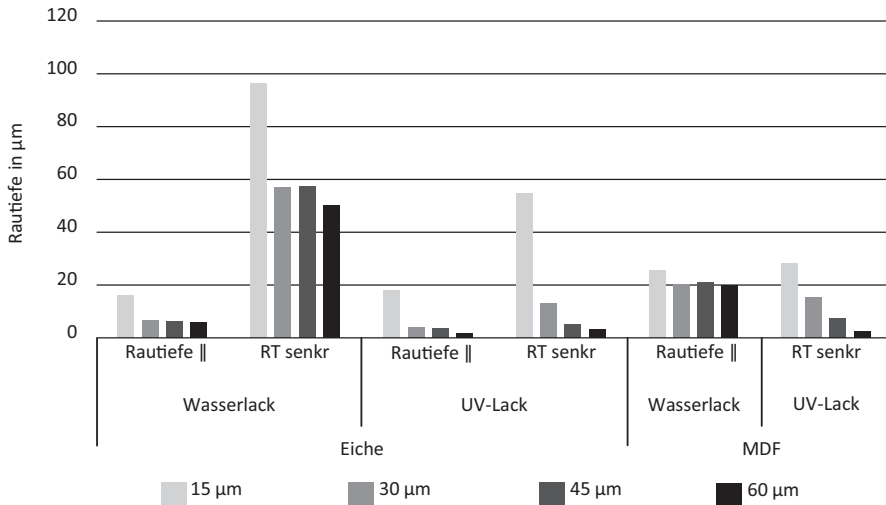


Bild 3.28 Auswirkungen von Substrat, Art des Lacks und Auftragsmenge auf die Rauigkeit lackierter Oberflächen (bei Holz senkrecht und parallel zur Faserrichtung; RT: Rautiefe)

⁵⁾ Nähere Ausführungen zur Rauigkeit/Rautiefe von Oberflächen siehe z. B. [HÄN 2012].

Beim Lackieren senkrechter oder schräger Flächen kann es durch unvermeidbare Dicken- und Viskositätsunterschiede des aufgetragenen Lacks zu einem ungleichmäßigen Ablau- fen in Form von Gardinen oder Läufern kommen [SCH 1996]. Dem kann durch die Zugabe von Additiven (Thixotropiemittel, Bild 1.3) oder geringere Auftragsmengen bzw. höhere Viskosität entgegengewirkt werden, wie Gleichung 3.4 verdeutlicht.

Durch Wechselwirkungen zwischen den Beschichtungspartnern sowie Strukturänderun- gen während der Trocknung des aufgetragenen Lacks kommt es zur Ausbildung **innerer Spannungen** im System Substrat/Lack, die Verformungen oder den Gebrauchswert min- dernde Schäden, wie Risse, verursachen können [SCH 1996]. Wesentliche Ursachen für deren Entstehen sind [PEC 1995], [MEI 2016] u. a.:

- das Entstehen von Schrumpfspannungen im Lackfilm während des Trocknungsprozesses (z. B. Vernetzungsreaktionen)
- das Quellen und Schwinden des Trägermaterials durch das Eindringen von Lack oder Lösemittel
- ein asymmetrischer Aufbau der Beschichtung

Sowohl die Art des Lacks als auch dessen Auftragsmenge und das Trocknungsregime be- stimmen letztendlich, ob die Höhe und Ausprägung der im beschichteten System vorhan- denen Spannungen relaxiert werden können oder zu Schäden führen.

Insgesamt lassen sich infolge der Vielschichtigkeit der Einflussgrößen sowie ihrer zeit- lichen und örtlichen unterschiedlichen Ausprägungen keine exakten Aussagen über zu erwartende Werte der verschiedenen Eigenschaften treffen. Sie sind aber geeignet, durch ein tieferes Verständnis der Wirkmechanismen gezielter auf Störungen einzuwirken.

Zur Abschätzung der auf eine Fläche **aufzutragenden Lackmenge** können die nachste- henden Formeln verwendet werden. Der in das Substrat eindringende Lack ist dabei in Abhängigkeit von der Porengröße, Heterokapillarität bzw. Saugfähigkeit zu berücksichti- gen. Als Richtwert kann von einem Bereich von $< 5 \mu\text{m}$ bis ca. $15 \mu\text{m}$ ausgegangen werden. Ein Lackzwischen-schliff, z. B. die Grundierung, (siehe Kapitel 4) verringert deren Dicke in Abhängigkeit von Schleifdruck, Vorschub und Schnittgeschwindigkeit sowie deren Härte zusätzlich um ca. $10 \mu\text{m}$ bis $30 \mu\text{m}$.

$$d_{L,\text{tr}} = \frac{m_{L,\text{nass}} \cdot FK}{\rho} - d_{\text{Verlust}}$$

$$m_{L,\text{nass}} = \frac{(d_{L,\text{tr}} + d_{\text{Verlust}}) \cdot \rho}{FK} \quad (3.4)$$

$$m_{L,\text{Fläche}} = \frac{m_{L,\text{nass}}}{\eta_{\text{Verfahren}}}$$

Es bedeuten: $d_{L,\text{tr}}$: Dicke der trockenen Lackschicht; FK: Festkörperanteil; d_{Verlust} : Zugabe für den Dickenver- lust durch Wegschlagen des Lacks und Schleifen; ρ : Dichte des Lacks; $m_{L,\text{Fläche}}$: Masse des aufgetragenen verarbeitungsfähigen Lackes; $\eta_{\text{Verfahren}}$: Wirkungsgrad des Lackierverfahrens

Der Wirkungsgrad ist von der Art des Auftragsverfahrens, der Bauteilform sowie der Art des Lacks und seiner Viskosität abhängig. Einen Überblick gibt Tabelle 3.7:

Tabelle 3.7 Durchschnittliche Wirkungsgrade verschiedener Lackauftragsverfahren

| Auftragsverfahren | Wirkungsgrad $\eta_{\text{Verfahren}}$ |
|--|--|
| Handauftrag (Rolle, Pinsel) | 0,94 bis 0,96 |
| Gießverfahren | 0,95 bis 0,97 |
| Walzverfahren | 0,90 bis 0,97 |
| Hochdruckspritzen (kalt) | 0,40 bis 0,65 |
| Hochdruckspritzen (heiß) | 0,55 bis 0,75 |
| Airless-Spritzen (druckluftfrei) | 0,70 bis 0,80 |
| Airmix-Spritzen | 0,60 bis 0,80 |
| HVLP (High Volume Low Pressure) | 0,65 bis 0,85 |
| Elektrostatisch unterstützte Spritzverfahren | 0,60 bis 0,95 |
| Tauchverfahren | 0,60 bis 0,92 |

Vor der Lackierung ist eine staubfreie Oberfläche sicherzustellen. Dies kann z. B. über quer zur Vorschubrichtung arbeitende selbstreinigende Schwertbürsten in Kombination mit einer vorgelagerten effektiven Absaugung grober Teilchen erfolgen. Die gezielte Verwendung von Druckluftdüsen wird zur Entfernung von Staub und Spänen aus Vertiefungen genutzt, wobei eine leistungsstarke Absaugung für deren Abtransport sorgt.

3.3.2 Beschichtungsverfahren

3.3.2.1 Spritzen

Verfahrensgrundlagen

Spritzverfahren sind durch eine Zerteilung des Lacks in Tröpfchen und deren nachfolgenden Transport durch Druckluft, Eigenenergie und/oder elektrostatische Felder auf das zu beschichtende Bauteil charakterisiert. Für die Bildung der Lacktröpfchen ist die Kohäsion des Lackes zu überwinden. Dazu muss der den Lacktropfen deformierende Staudruck größer als dessen Zusammenhalt sein. Unter idealisierten Bedingungen lässt sich dies für niedrigviskose Flüssigkeiten quantitativ wie folgt beschreiben:

$$\frac{\rho_{\text{Lack}} \cdot u^2 \cdot d}{\sigma} > 8 \quad (3.5)$$

Es bedeuten: ρ : Dichte des Lacks, σ : Oberflächenspannung des Lacks, d : Düsendurchmesser, u : Fließgeschwindigkeit des Lacks

Für die verschiedenen Spritzverfahren wurde diese Beziehung erweitert (z. B. [LEF 1989], [WAL 1990], [TIE 2014]), um die Beziehungen zwischen stofflichen sowie technologischen Einflussgrößen und der Tröpfchengröße zu quantifizieren. Die nachstehende Gleichung zeigt dies exemplarisch für eine pneumatische Zerstäubung nach LEFEBVRE:

$$D_{32} = \frac{3}{\frac{2}{d} + \frac{C \cdot \rho_{\text{Lack}} \cdot u^2}{4 \cdot \sigma \left(1 + \frac{\dot{m}_{\text{Lack}}}{\dot{m}_{\text{Luft}}}\right)}} \quad (3.6)$$

Es bedeuten: D_{32} : Sauter-Durchmesser⁶, u : Luftgeschwindigkeit, m : Massenstrom; C : experimentell bestimmte Konstante

Die quantitative Auswertung zeigt, dass der Sauter-Durchmesser mit wachsender Luftgeschwindigkeit asymptotisch abnimmt und eine größere Luftmenge ebenfalls zu kleineren Tröpfchen führt. Infolge der zahlreichen stochastischen Einflüsse weist ein Sprühstrahl jedoch ein dynamisches Spektrum der Tröpfchengröße auf, dessen mittlere Werte und Verteilungsform beeinflusst werden können (Bild 3.29). Bezüglich der Größe der Lacktröpfchen bestehen unterschiedliche Ziele. So sollten diese klein sein ($< 50 \mu\text{m}$), um gut zu verlaufen, aber eine bestimmte Größe nicht unterschreiten, um nicht vor dem Auftreffen auf das Bauteil durch Verdunsten des Lösemittels eine Viskosität erreicht zu haben, die einen guten Verlauf erschwert. Für einen akzeptablen Auftragswirkungsgrad sind hingegen – insbesondere beim pneumatischen Spritzen – größere Tröpfchen wünschenswert. Dies trifft auch unter Aspekten des Arbeits- und Umweltschutzes zu (Tröpfchengrößen $> 10 \mu\text{m}$).

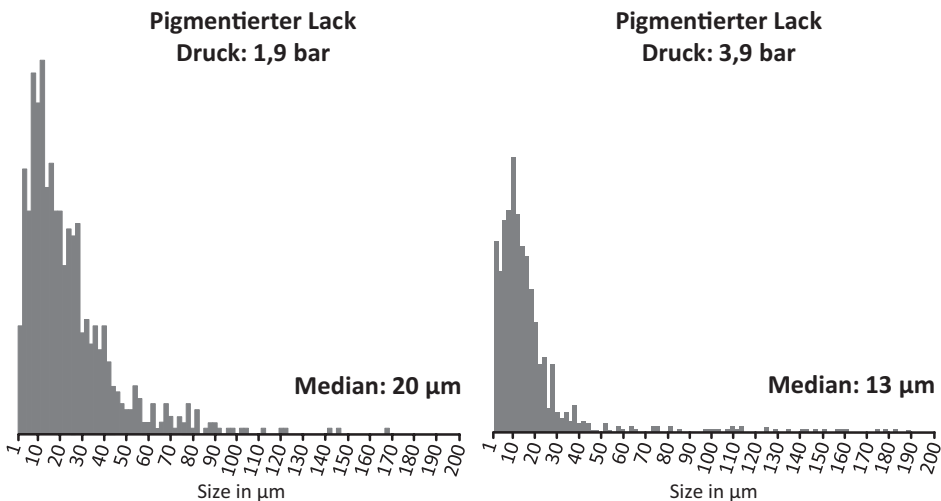


Bild 3.29 Verteilung der Tröpfchengröße eines pigmentierten Wasserlacks in Abhängigkeit vom Spritzdruck (Messung nach Time-Shift-Verfahren)

⁶⁾ Der Sauter-Durchmesser ist der Kugeldurchmesser eines monodispersen Stoffsystems, das ein gleiches Gesamtvolumen und eine gleiche Gesamtoberfläche wie das durch volumenäquivalente Kugeln idealisierte reale polydisperse Stoffsystem aufweist [SCH 1977].

Das Arbeitsprinzip dieser Verfahrensgruppe besteht darin, dass verdichtete Druckluft durch eine Spritzpistole geführt wird und diese im Düsenkopf durch dort angebrachte Öffnungen verlässt. Dabei saugt die Luft den der Spritzpistole ebenfalls zugeführten Lack an und verteilt sich mit diesem außerhalb der Spritzdüse zu einem feinen Gemisch. Die Luft dient damit der Tropfenbildung sowie deren Transport zum Bauteil. Bild 3.30 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer solchen Spritzpistole.

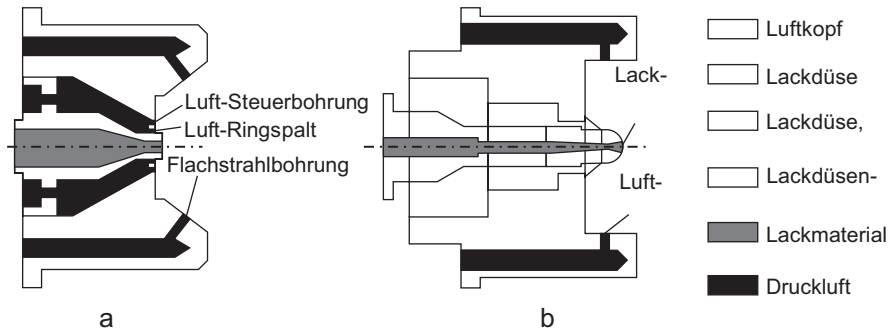


Bild 3.30 Schematische Darstellung des Aufbaus von Spritzpistolen a) pneumatisches Spritzen, b) hydraulisches Spritzen (luftunterstützt), in Anlehnung an [GOL 1984]

In Abhängigkeit von der Höhe des Spritzdrucks unterscheidet man in:

- Niederdruckspritzverfahren: Zerstäubung des Lacks mittels Druckluft bei niedrigem Arbeitsdruck
- HVLP (High Volume Low Pressure): Zerstäubung des Lacks mittels Druckluft bei niedrigem Arbeitsdruck und hoher Luftmenge
- Hochdruckspritzverfahren (Kalt- und Warmspritzverfahren): Zerstäubung des Lacks mittels Druckluft bei hohem Arbeitsdruck und ggf. Erwärmung des Lacks

Typische Parameter für die genannten Spritzverfahren sind in Tabelle 3.8 zusammengefasst.

Tabelle 3.8 Technisch-technologische Parameter verschiedener Spritzverfahren⁷⁾

| Parameter | Niederdruck (HVLP) | Hochdruck (Kaltspritzen) | Hochdruck (Warmspritzen) |
|-------------------------|--|---|--------------------------|
| Arbeitsdruck | 50 bis 200 kPa | 150 bis 350 kPa | 170 bis 550 kPa |
| Düsendurchmesser | 1,0 bis 2,2 mm | 1,2 bis 2,8 mm | 1,2 bis 1,5 mm |
| Spritzabstand | 10...15...21 cm | 25 cm | 15 bis 20 cm |
| Auftragswirkungsgrad *) | bis 90% | bis 65% | |
| Bauteilgeometrie | alle Geometrien | alle Geometrien, ungünstig für Innenräume | |
| Lackförderung | Becher, Druckbehälter, Doppelmembranpumpe, Ringleitung | | |

*) unter optimierten Bedingungen

⁷⁾ 1 bar = 100 kPa.

Die Auswahl der Düsengröße ist von der Form und Größe des zu spritzenden Bauteils (einfach oder kompliziert), der Spritzbreite sowie den Lackeigenschaften (pigmentiert, niedrig- oder hochviskos) abhängig. Dies beeinflusst wiederum die Spritzleistung.

Der Auftragswirkungsgrad ist neben dem Spritzverfahren und den dort gewählten Parametern von der Geometrie der zu beschichtenden Bauteile abhängig, die bis zu 65% der Verluste durch Overspray (Lacknebel) verursachen können.

| Varierte Einstellgröße | Verteilung Tröpfchengröße | Optische Qualität der Lackschicht |
|---|---------------------------|-----------------------------------|
| Viskosität | | |
| Druck der Zerstäubungsluft | | |
| Lackmaterial-Durchflussmenge | | |
| Düsendurchmesser (Lackmaterialdüse) | | |
| Anzahl Zusatzbohrungen in der Luftkappe | | |

Bild 3.31 Teilchengrößenverteilung und optische Qualität einer Lackschicht in Abhängigkeit verschiedener Einflussgrößen, nach [THO 1982]

Die durch den Overspray (nicht auf dem Bauteil abgeschiedene Lacktröpfchen) hervorgerufene Reduzierung des Auftragswirkungsgrads kann durch die Veränderung des Tropfenspektrums (Reduzierung des Feinanteils), z. B. durch Nutzung des HVLP-Verfahrens, verbessert werden. Dessen technische Eigenschaften sind durch gesetzliche Grundlagen teilweise definiert. So muss der Auftragswirkungsgrad größer als 65% sein und der Düseninnendruck weniger als 70 kPa betragen. Letzteres reduziert die Relativgeschwindigkeit zwischen Lack- und Luftstrom. Funktionsstörungen, die sich in Abweichungen von einem optimalen Spritzbild äußern und Lackierfehler nach sich ziehen, können z. B. durch die Verschmutzung von Lackdüse oder Luftkreis, zu geringen Zerstäubendruck oder zu geringe Lackviskosität hervorrufen [N.N. 2011]. Die Art der Erzeugung des Düseninnendrucks (Turbine oder integrierter Druckwandler) beeinflusst das Tropfenspektrum und damit die Lackierqualität. Eine Anpassung des Lacks an die Spezifik des Verfahrens ist

erforderlich [OND 2016]. Eine Weiterentwicklung stellt das sogenannte LVLP-Verfahren (Low Volume Low Pressure) dar. Infolge des bei diesem Verfahren reduzierten Luftverbrauchs (ca. 60 % gegenüber HVLP) verringern sich der Overspray und der Rückprall des Lack-Luft-Gemischs vom Bauteil weiter, was zu einem nochmals verbesserten Spritzergebnis und insgesamt zu niedrigeren Kosten führt. Eine technische Umsetzung besteht darin, dass die Zerstäubungsluft aus einer zentralen Hohlnadeldüse austritt, die von einem Ringspalt für den Lackaustritt umgeben ist (METCAP). Dieser Ringspalt wird von einem weiteren Ringspalt umgeben. Die dort austretende Luft umhüllt den Sprühstrahl und reduziert den Overspray bei einem Abstand zum Spritzpistolen-Bauteil von ca. 20 cm erheblich. Der Luftdruck beträgt 30 bis 50 kPa.

Das Hochdruckspritzverfahren weist geringe Auftragswirkungsgrade auf, die aus verschiedenen Faktoren resultieren (hoher Overspray, Rückprall des Lack-Luft-Gemischs u. a.). Die Qualität des Lackierergebnisses verbessert sich mit zunehmendem Overspray. Technologische Möglichkeiten zur Verbesserung des Auftragswirkungsgrads zeigt Bild 3.32.

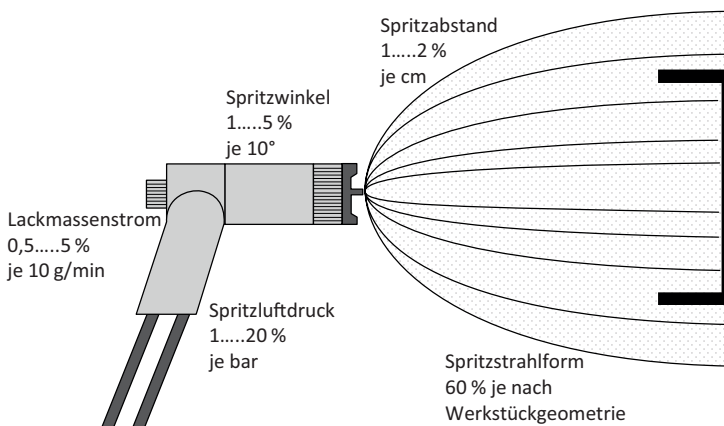


Bild 3.32 Einflüsse auf die Veränderung des Auftragswirkungsgrads beim Druckluftspritzen nach [HOF 2003]

Beim hydraulischen Spritzen (sog. Airless-Verfahren) erfolgt die Zerstäubung ohne Luft nur durch den hohen Arbeitsdruck des Lacks (10 000...20 000...50 000 kPa), der durch Kolben- oder Membranpumpen erzeugt wird. Nach dem Durchströmen der aus Hartmetall bestehenden Spritzdüse (Durchmesser in der Regel 0,18 mm bis 1,65 mm) wird der Lackstrom durch Turbulenzen und Druckunterschiede in Tröpfchen zerrissen. Den prinzipiellen Aufbau einer solchen Spritzpistole zeigt Bild 3.30b. Der optimale Abstand zwischen Düse und zu beschichtendem Bauteil liegt bei ca. 200 bis 300 mm

Die Vorteile des Verfahrens bestehen in geringen Spritzverlusten (wenig Overspray), einer hohen Flächenleistung sowie der Eignung für Materialien mit höherer Viskosität bzw. höherem Festkörperanteil. Nachteile bestehen in dem gegenüber pneumatischem Spritzen größeren Düsenverschleiß und Tröpfchendurchmessern sowie der Neigung zur Bildung von Randstreifen. Zur Änderung der Auftragsmenge und der Spritzstrahlbreite ist in der Regel ein Düsenwechsel erforderlich.

Alternativ besteht die Möglichkeit, durch eine Luftunterstützung (Bezeichnungen: Airmix®, Aircoat, Aircombi, Air Assisted) gegenüber dem Druckluft- bzw. Airless-Spritzen Verbesserungen zu erzielen. Dabei wird der Lack wiederum primär mit einem hohen Materialdruck (2000 kPa... 5000... 15 000 kPa) zerstäubt. Die Kombination mit Druckluft (50 kPa bis 200 kPa) reduziert den Impuls der Lacktröpfchen und führt zu einem „weiche- ren“ Spritzstrahl und verhindert den Effekt der Bildung von Randstreifen.

Lufteinschlüsse (insbesondere bei der Verarbeitung von Wasserlacken) im Lackfilm können z.B. durch die Wahl der Düsendgröße und des Materialdrucks oder die Nutzung von Vorzerstäubern minimiert werden.

Die Vorteile sind in der feineren Zerstäubung gegenüber dem hydraulischen Spritzen, einer hohen Flächenleistung und durch weniger Overspray im Vergleich zum Druckluft- spritzen zu sehen. Die Auftragsmenge ist dosierbar, und die Breite des Spritzstrahls kann durch die Änderung der Unterstützungsluft variiert werden.

Warmspritzen

Die notwendige Erwärmung des Lacks erfolgt mittels eines Durchflusserhitzers oder eines sogenannten Thermalsystems. Das erstgenannte System saugt Lack aus einem Gebinde durch den elektrischen Durchflusserhitzer. Über ein Druckhalteventil wird geregelt, dass der Lack bei nicht betätigter Spritzpistole langsam durch ein geschlossenes System zirkuliert. Damit steht temperierter Lack zum Spritzen bereit, ohne den Lack im Gebinde zu erwärmen. Geeignet ist das Verfahren für scherunempfindliche 1K-Lacke. Beim Thermal- system werden Luft- und Lackschlauch von einem Wärmeträger umgeben, der in einem geschlossenen Kreislauf zirkuliert. Beim pneumatischen Spritzen ist so die gleichmäßige Erwärmung von Luft und Lack gesichert. Das Verfahren eignet sich für scherempfindliche Lacke, eine Überhitzung ist ausgeschlossen. Die warme Spritzluft verhindert, dass sich der erwärmte Lack durch kalte Spritzluft und Expansionskälte auf dem Weg zum Bauteil zu stark abgekühlt. Prinzipiell ist es auch möglich den Lack zu kühlen, wenn dies notwen- dig sein sollte. Die Erwärmung des zu verarbeitenden Lacks hat eine Qualitätsverbesserung bei gleichzeitiger Reduzierung von Lösemitteln (VOC) bzw. eine Erhöhung des Lack- Festkörpers zum Ziel. Durch die mit der Erwärmung verbundene Reduktion der Viskosität des Lacks [OND 2016], [PEC 1995] ist es alternativ möglich, den Spritzdruck zu reduzieren. Bei einer Lacktemperatur von 60 °C kann gegenüber der Raumtemperatur bei ähnlichem Spritzbild der Festkörper um 4 bis 6 % angehoben oder der Spritzluftdruck um 100 bis 150 kPa gesenkt werden. Weitere Vorteile für den Verarbeiter bestehen in höheren Schichtdicken je Auftrag, geringerer Läuferbildung, einer verkürzten Trocknungszeit (feinere Zerstäubung, weniger Lösemittel) sowie einem geringeren Lack- und Luftverbrauch. Für den Einsatz sind Lacke geeignet, die für die höheren Verarbeitungstemperaturen formuliert wurden.

Bei der **Verarbeitung von Wasserlacken** ist der Feuchtigkeitsverlust der Lacktröpfchen an die Umgebungsluft zu beachten, der durch den Einsatz trockener Druckluft zusätzlich verstärkt wird. Zur Vermeidung von Haftungs- und Trocknungsstörungen (Hautbildung an der Grenzfläche Lack-Umgebungsluft) ist deshalb eine Befeuchtung der Zerstäuberluft für gute Lackiererergebnisse sinnvoll, die mit den oben beschriebenen Vorteilen einer Erwärmung kombiniert werden kann.

Index

- 1. Fick'sches Gesetz 322
- 2K-PUR-Lack
 - Filmbildner 99
 - Hochglanz 105
 - Verarbeitung 103
- 3D-Druck 289
- 5D-Technologie 188

A

- Abbindemechanismen 186
- Abbindezeit 76
 - in der stationären Presse 206
- Abdunstphase 320
- Ablaufen 23, 245
- Abreißprüfungen 28
- Abriebbeanspruchung 33
- Abschliff 305
- Absorptionsbanden 326
- Absorptionsspektrum 326
- Abwickelstation 209
- Acrylat Pulverlack 85
- Adhäsion 243
- Aircoat 251
- AIRLESS-Verfahren 250
- Airmix® 251
- Aktiviermöglichkeiten 231
- Aktorik 386
- Alkydharze
 - PUR-Lack 101
 - SH-Lack 97
- Amine
 - Umsetzung 119

- Aminoharze
 - SH-Lacke 96
- Anlage für den Auftrag von Öl/Wachs-Kombinationen 157
- Anpressdruck 260
- Anschliffverfahren 24
- Applikation von Pulvern 266
- ATEX-Betriebsrichtlinie 344
- ATEX-Produkttrichtlinie 344
- Atmosphäre
 - explosionsfähige 341
- ATR-Spektroskopie 27
- Attenuated Total Reflection 27
- Aufbau von HPL und CPL 227
- Aufbau von Pulverbeschichtungen 270
- Aufschmelzbecken 216
- Aufspaltung des Lackfilms 260
- Auslaufbecher 19
- Auswahl der Strahlerart 333
- Ausziehggeschwindigkeit 262

B

- Bandow-Wolff-Verfahren 26
- Basispapier 58
- Beizen
 - Farbstoffe 175
 - Formulierung 177
 - Pigmente 176
 - Verarbeitung 178
 - Zusammensetzung 175
- Benetzung 241

- Beschichtungsstoffe
 - Auswahl 379
 Beschichtung von Melamindekoren 219
 Beschleuniger
 - UP-Lacke 110
 Bestrahlungsstärke 329
 Big-Data-Analyse 387
 Bildung der Lacktröpfchen 246
 Bleistifttest 312
 Brandschutz 342
 Breitbandschleifaggregat 309
- C**
- CARB 39
 Cellulosenitrat-Lack 88
 Cellulosenitrat
 - Lösemittel 91
 Chemische Beanspruchung 33
 Ciel*a*b*-System 29
 CN-Lack
 - Bestandteile 88
 - Eigenschaften 93
 - Filmbildner 93
 - Pigmente und Füllstoffe 93
 - Verarbeitung 94
 - Weichmacher 92
 CoaTway® 380
 Cold Mirror 332
 Colormanagement 387
 Complete-Line-Verfahren 236
 Continuous Ink Jet 283
 Coronabehandlung 207
 Coronaentladung 267
 Cyber-physische Systeme (CPS) 385
- D**
- D3-Klebstoffe 212
 Dampfzerstäubung 252
 Deckfurnier 52
 Dekorentwicklung 60
 Dekorfinishfolie 56
 - Aufbau 57
 - Druckfarben 59
 - haptische Oberfläche 63
 - Herstellung 57
 - Kaschieranlagen 73
 - Lacksysteme 60
 - Randablösung 80
 - Rollneigung 79
 - Schmelzklebstoff 74
 - Ummantelungsanlagen 74
 - Verarbeitungsfehler 78
 Dekorfolie
 - diskontinuierliche Pressen 70
 Dekorpapier 58
 Dichte 17
 dielektrischer Verlustfaktor 336
 Digitaldruck 282
 Dipolcharakter der Wassermoleküle 336
 Dispersionsklebstoffe
 - Verarbeitung 192
 Distinctness of Image 37
 Dosier- und Auftragswalze 259
 Dotierung 330
 Drop on Demand 283
 Druckbalken 306
 Druckfehler 288
 Druckform
 - Herstellung 62
 Druckformgebundene Verfahren 274
 Druckköpfe 285
 Drucklamellenbänder 311
 Druckprinzipien 275
 Druckverfahren 273
 Druckvorlagen 278
 Druckvorstufe 291
 Druckwalzen 280
 Dual-Cure-Anwendung 122
 Dual-Cure-System 318
 Dunkelfeldbeleuchtung 312
 Durchlaufmaschinen 239
 duromere Materialien 184
 duroplastische Kantenbänder 226
 Düsengröße 249
 Düseninnendruck 249
 Düsentrockner 322
 dynamische Randwinkelmessung 22

E

Eigenschaften von thermoplastischen
Kantenbändern 222
Einbrennzeit von UV-Strahlern 330
Eingriffskinematik 307
Einstufenverfahren 65
Einzelstrangextrusion 223
Elektronenstrahl 335
Elektrostatisches Spritzen 252
Elevated Printing 290
Emissionsspektrum 326
Entfeuchtung der Luft 324
Epoxid-Pulverlack 82
Epoxy-Acrylate für UV-Lacke 117
EVA-Schmelzklebstoffe 228
Excimer-Strahler 332
Explosionsgrenze 341
- obere 354
- untere 354
Explosionsschutz
- Anforderungen 344
- konstruktiver 341
- primärer 352
- sekundärer 352
- teriärer 352
Ex-Zonen 346

F

Fähigkeit des Prüfprozesses 42
Farbbewertung 30
Farbfreigabe 61
Farbmetrik 29
Feedback Control 377
Feedforward Control 377
Fehler
- Rückführbarkeit 377
Fehler beim Spritzprozess 256
Fehler beim Walzen 262
Filmbildner
- acrylische für UV-Lack 116
Filmbildung 25
Finline 51
Finishschliff 308

Flammpunkt 340
Flatlamination 213
Fluidisierung 269
Fluidisierungsbehälter 269
frontal fortschreitende Polymerisation
331
Furnier 49
- geschlossene Seite 51
- offene Seite 51
- stürzen 53
- Verarbeitungsfehler 54
- Verarbeitungsstufen 53
- verschieben 53
Furnierkantenbänder 227

G

Gangzahl 260
Gas-IR-Strahler 327
Gaskatalytische Strahler 328
Gefügeschädigung 307
Gegenstrom 322
Gelierphase 321
Gewebeunterlage 304
Gießköpfe 257
Gießlippen 257
Gitterschnittprüfung 27
Glanz 36
Glanzgrade 37
Glanzgradreduzierung 133
Glanzpolyester 108
Glasübergangstemperatur 183
Glättkalander 209
Gleitschuhe 216
Gliederdruckbalken 306
Glimmtemperatur 340
Grauwerttechnologie 286
Gravur 280
Grenzflächenspannung 21

H

Haftfestigkeit 27
Härter
- PUR-Lack 101

- SH-Lack 97
 - UP-Lacke 110
 Härtung 318
 Haupttrocknungsphase 321
 Haze 37
 Heißluftdüse 216
 Heißlufttechnik 231
 HF-Trocknung 337
 Hitzelebrigkeit 76
 Hochdruckspritzverfahren 248
 Holzschliff 308
 HotCoating 264
 HVLP 248
 Hybrid-Pulverlack 82
 Hybrid-System 319
 hydraulischen Spritzen 250

I

Industrie 4.0 383
 inerte Atmosphäre 334
 Inhibierung durch Luftsauerstoff
 - UV-Lack 139
 Inkjetdruck 277
 Inkjet-Verfahren 283
 Inline-Produktion von Dekorfinishfolien
 57
 innere Spannung 245
 Inspektionssystem 288
 intelligente Anlagen 385
 IR-Strahlung 326
 Isocyanate 197
 Isocyanato-Acrylate für UV-Lack 122
 Ist-Zustand
 - Analyse 373

K

Kalanderprozess 223
 Kaltkaschierung 207
 Kaltlichtspiegel 332
 Kantenabfall 306
 Kantenflucht 244
 Kantenverdichtung 218
 Kappmesser 210

Karborund 303
 Kaschieren 207
 Katzenhaareffekt 313
 Keilschliffverfahren 24
 Keilschnittverfahren 24
 Kennzahlen
 - explosionstechnische 347
 - Lackierprozess 374
 Klassifizierung von Holzbeizen 177
 Kleben 181
 Klebgrundstoff 186
 Klebstoffapplikation 209
 Klebstoffauftragswalze 216
 Klebstoffdispersionen 191
 Klebstoffe für die Ummantelung 219
 Klebstoffmenge 193, 206
 Kondensation 324
 Kornart 301
 Kornmaterial 303
 Körnung 301
 Körnungsfolge 302
 Korund 303
 Kratzen 33
 Kühlluft für UV-Strahler 330
 kurzwellige Strahlung 327

L

Lackgießen 257
 Lackieranlagen 254
 - Planung 380
 Lackierung mit Drahrakelsystem 66
 Lackmenge 245
 Lackrecycling 389
 Lacktropfenflugbahn 360
 Lackverbrauch je Zeiteinheit 374
 Lackzerstäubung mit Stickstoff 254
 Lackzwichenschliff 311
 Ladungssättigung 268
 langwellige Strahler 327
 Laserenergie 230
 Laserkante 230
 Leistungsfähigkeit einer Elektronenstrahl-
 anlage 335
 Lichtbeständigkeit 38

Lichtbogenspritzten 254
 Lifecycle-Betrachtung 384
 Liniendruck 209
 Lissajous-Figur 34
 Lösemittel
 - SH-Lack 98
 lufttrocknende Alkydharze 154
 Lufttrocknung 320
 LVLP-Verfahren 250

M

Magnetron 336
 Martindale-Scheuerprüfgerät 34
 Maschinen für die Stationärfertigung 240
 Maschinenstundensatz 375
 Massivholzkante 227
 Mass Personalisation 385
 Mass Sustainability 384
 Messerfurnier 50
 Messkamm 23
 Messunsicherheit 42
 Methode des hängenden Tropfens 21
 Methode des liegenden Tropfens 22
 Mikrodosiertechnik 389
 Mikrorisse 307
 Mikrowellentechnik 231
 Mikrowellen-Trocknung 336
 Mindestanströmgeschwindigkeit 322
 Mindestfilmbildungstemperatur 40, 192
 Mindestleitfähigkeit 268
 Mindestzündenergie 340
 mittelwellige Strahler 327
 Modifizierungsmittel 186
 Multipass-Drucker 284

N

Nacharbeitsquote
 - Ermittlung 375
 Nadelsteifen 312
 Nassfilmdicke 23
 Newton'sches Parallel-Plattenmodell 18
 nichtdruckformgebundene Verfahren 282
 nichtflüchtige Anteile 18

Niederdruckspritzverfahren 248
 NIR-Technik 231
 Nullfugenkante 224

O

Oberflächenauhärtung 334
 Oberflächenenergie 242
 Oberflächenenergien fester Materialien
 182
 Oberflächengüte nach dem Lackzwischen-
 schliff 313
 Oberflächenspannung 20
 Oberseite von thermoplastischen
 Kantenbändern 223
 offene Zeit 76
 Öle
 - modifizierte 153
 oligomere Isocyanate 197
 Öl und Wachs
 - oxidativ härtend 150
 Ölverkochungen 151
 Optimierung
 - Beschichtungsprozess 373
 Overspray 249

P

Paraffinwachs 140
 partielle Kristallisation 183
 Pendeldämpfung 26
 Photobleaching-Effekt 131
 Photoinitiatoren
 - UV-Lack 126
 - UV-Lack, pigmentiert 129
 Photonenenergie 329
 Pixelgrafik 291
 Planck'sche Gleichung 329
 Planck'sches Strahlungsgesetz 326
 Planungsphasen für Lackierereien 380
 Plasmabehandlung 207
 Plasma-Technik 231
 Polieren 314
 Polieren mit Wachsen 315
 Polierergebnis 316

Poliermittel 315
 Polierträger 315
 Polierwalze 316
 Politurträger 315
 Polyacrylatharz
 - PUR-Lack 100
 Polyester-Acrylat für UV-Lack 117
 Polyesterharz
 - PUR-Lack 100
 Polyester Pulverlack 83
 Polyether-Acrylat für UV-Lack 118
 Polyolefin-Schmelzkleber 228
 Polyurethan Pulverlack 83
 Portalscanner 292
 Positiv-Effekt 177
 Postforming 189
 Postformingqualität 217
 Power & Free Förderer 267
 praffinfordernde ungesättigte Polyester-
 harze 108
 Prandtl'sche Grenzschicht 322
 Pre-Heating 267
 Presswalze 210
 Primärdispersion 160
 Primer 208
 Probebeizung 313
 Profilbandschleifen 310
 Profilschleifen 310
 Profilschleifgurte 310
 Prozessreglung 377
 Pulverbeschichtung 265
 PUR-Hotmelt 228
 PUR-Spritzgießen zur Kantenerzeugung
 237
 Pyknometer 17

Q

Qualitätsmerkmale bei der Schmalflächen-
 bekantung 234
 Qualitätsmerkmale thermoplastischer
 Kantenbänder 225
 Quecksilberstrahler 330
 Querschleifaggregat 309
 Querstreifen 312

R

Radikalbildung 138
 radikalische Polymerisation
 - UV-Lack 138
 radikalische Polymerisation von
 UV-Lacken 334
 Randwinkel 20
 Rasterung der Druckvorlage 279
 Rauschfaktoren 16
 REACH 39
 Reaktivverdünner
 - UP-Lacke 109
 Reflektor 331
 Relativ-Lauf 259
 Resttrocknung 321
 Reverse-Lauf 259
 Rillung 260
 Ringmethode 21
 Roboterprogrammierung
 - automatische 390
 Rotationstiefdruck 65
 Rotationsviskosimeter 19
 Rustikal-Effekt 177

S

Sägefurnier 51
 Salzhärter 213
 Sauerstofffänger 140
 Sauerstoffinhibierung 334
 säurehärtende Lacke 95
 Sauter-Durchmesser 247
 Schäl furnier 51
 Schellack 158
 Schleifdruck 306
 Schleifen 298
 Schleiffehler 312
 Schleifkorn 301
 Schleifmittel 301
 Schleifmittelstreifen 310
 Schleifriefen 302
 Schleifschuh 306
 Schleifzunge 306
 Schlitzdüse 214

- Schmelzklebstoffe 193
 - Verarbeitung 194
 Schreibspalt 293
 Schrumpfung des Lacks 244
 Schutzprinzipien 349
 Schwabbelnscheibe 315
 Segmentschleifscheibe 310
 Sensorik 385
 SH-Lacke
 - Filmbildner 96
 Siliziumkarbid 303
 Simulation
 - dynamische 359
 - Einsatzgebiete 362
 - Grenzen 363
 - Luftströmung in Lackierkabinen 366
 - numerische 360
 - Spritzlackierung 364
 - statische 359
 - stochastische 359
 - Trocknungsprozesse 367
 Singlepass-Drucker 284
 smarte Produktionsabläufe 387
 Softforming 195
 Softforming-Verfahren 234
 Spachtel 260
 Spektroskopie 26
 Spiegelbandhaftung 40
 Spritzautomaten 255
 Spritzbeizen 179
 Spritzkabinen 254
 Spritzlinie für die Beschichtung 144
 Spritzroboter 256
 Spritzstände 254
 Spritzwände 254
 Standöl 153
 Stapelfähigkeit 25
 stationäre Pressen 205
 statische Randwinkelmessung 22
 Steuergrößen 16
 STIR-Strahler 327
 Stoffübergang 322
 Störgrößen 16
 Strahlungsdosis 329
 Strahlungstrocknung 325
 Streudichte 301
 synchrone Poren 220
- T**
- Tänzerwalze 210
 Tauchbeizen 178
 Tauchen 262
 Testtinten 22
 Thermokaschierverfahren 212
 thermoplastische Kantenbänder 221
 thermoplastische Polymere 183
 Tiefdruck 279
 Tiefdruckmaschine 282
 Tiefenaushärtung 334
 Tribo-Pistole 269
 trockene und feuchte Hitze 35
 Trockenfilmdicke 24
 Trocknung 318
 Trocknung mit entfeuchteter Luft 324
 Trocknungsfehler 338
 Trocknungsgefälle 324
 Trocknungsvorgang 320
- U**
- Überlackierbarkeit 28
 UF-Klebstoffe 189
 - Verarbeitung 190
 Ulmadan-Verfahren 236
 Ultraeffizienzfabrik 384
 Umlufttrocknung 322
 Ummantelungsanlagen 213
 - Verarbeitungsparameter 76
 Umschlingung 216
 ungesättigten Polyesterlacke 106
 Universalhärte 26
 Unterfurnier 52
 Unterseite von thermoplastischen
 Kantenbändern 224
 UP-Harze
 - UV-Lack 116
 UP-Lack
 - Bestandteile 106
 - Verarbeitung 111

Urethan-Acrylate für UV-Lack 120
 UVC-Hochleistungsstrahler 333
 UV-Lack
 - Bestandteile 114
 - Filmbildner 115
 - Inhibitoren 137
 - Mattierungsmittel 132
 - Pigmente 131
 - Verarbeitung 142
 UV-Lam-Inert-Verfahren 334
 UV-LED-Strahler 332
 UV Pulverlack 84
 UV-Strahlen 328
 UV-Tinten 290
 UV-Trocknung von 3D-Bauteilen 335

V

Vakuum-Lackieren 263
 Verarbeitung von thermoplastischen
 Kantenbändern 225
 Verarbeitung von Wasserlacken 251
 Veresterungsgrad 90
 Verfahrensbeispiel
 - pigmentierter 2K-PUR-UV-härtender
 Wasserlack 172
 Verfahrenskosten 375
 Verlauf 243
 Verlaufen 23
 Vernetzung von Prozessen und Anlagen
 386
 Verschluss bei Endlosbändern 304
 Verschneidbarkeit 91
 Vierfarbdruck 276
 Viskosität 18
 vorbeleimtes Kantenmaterial 196
 Vorimprägnat 58

W

Wachse 155
 Walzbeizen 180

Walzenbezüge 260
 Walzen von Lacken 259
 Walzgießen 258
 Walzlinie I für die UV-Beschichtung
 145
 Warmkaschieren 212
 Warmspritzen 251
 Washburn-Gleichung 243
 Wasserlack
 - 1K 164
 - 1K-selbstvernetzend 165
 - 2K-PUR 166
 - Bestandteile 158
 - Filmbildner 159
 - Härter 162
 - Reaktivverdünner 162
 - UV-härtend 165
 - UV-härtende PUR-Dispersion
 161
 - Verarbeitung 168
 Wässern 313
 WaveScan 37
 Weichmacher
 - Klebstoffe 187
 Welligkeit 313
 Werkstückreinigung 309
 Wilhelmy-Plättchen-Methode 21
 Wirkungsgrad
 - Lackauftrag 374
 Wirkungsgrade verschiedener Lack-
 auftragsverfahren 246

Z

Z-Achsen-Nachregelung 290
 Zündschutzarten 350
 Zündtemperatur 341
 Zweikomponenten-Polyurethan-Lack
 99
 Zweischichtlack-Verfahren 146
 Zweistufenverfahren 65