



ABAG
Die Abfallberatungsagentur

Projektbericht

Neue Anwendungsmöglichkeiten der Pulverbeschichtung

Teilprojekt

Pigmentierte Pulverbeschichtung von Werkstücken aus MDF-Platten

Im Auftrag der:
ABAG Abfallberatungsagentur
Stauferstraße 15
D - 70736 Fellbach

Teilprojekträger:
Richard Henkel GmbH
Stahlrohrmöbelfabrik
Beschichtung
Treppen und Geländer
74670 Fortenberg-Ernsbach

Kooperationspartner:
Herberts Pulverlack GmbH
KLR Möbelfronten GmbH

Projektbegleiter:
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik
und Automatisierung, Stuttgart

Dipl.- Ing.(FH) M. Cudazzo

August 1997



Fraunhofer Institut
Produktionstechnik und
Automatisierung

projektbericht

Erarbeitung:

Dipl.-Ing. (FH) M. Cudazzo

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart

Für die stets kooperative Mitwirkung an diesem Projekt bedankt sich das IPA bei allen Beteiligten der Fa. Richard Henkel GmbH in Forchtenberg-Emsbach und den beteiligten Kooperationspartnern, Herberts Pulverlack GmbH und KLR Möbelfronten GmbH.

Einen besonderen herzlichen Dank spricht das IPA gemeinsam mit der ABAG Frau Henkel und den Herren Miller, Niggemann, Roßmeißl, Schaal und Zimmermann aus.

Die Machbarkeitsuntersuchung wird vom Arbeitskreis „Neue Anwendungen der Pulverbeschichtung“ begleitet. Beiträge und Erfahrungen fachlich qualifizierter Vertreter aus Industrie und öffentlichen Institutionen fließen in die Untersuchungen ein.

Die Durchführung dieses Modellprojekts sowie die wissenschaftliche Begleitung wurde mit Mitteln aus der Sonderabfallabgabe des Landes Baden-Württemberg unterstützt.

Herausgeber:

ABAG-Abfallberatungsagentur

Geschäftsbereich der

SAA Sonderabfallagentur Baden-Württemberg GmbH

Staufstr. 15

70736 Fellbach

Tel.: 0711 / 95 19 11 - 0

Fax: 0711 / 95 19 11 - 20

Projektleitung: Dipl.-Ing. Thomas Grupp

August 1997

Gedruckt auf: weiß mattgestrichen Offset chlorfrei gebleicht (Umschlag)

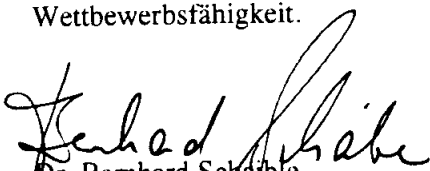
Alle Rechte der Verbreitung, auch durch Film, Funk und Fernsehen, fotomechanische Wiedergabe, Tonträger jeder Art, auszugsweisen Nachdruck oder Einspeicherung und Rückgewinnung in Datenverarbeitungsanlagen aller Art, sind vorbehalten.

Vorwort

Die qualitativen Anforderungen an Beschichtungen von Werkstücken sind hoch. Das Aussehen (z.B. Farbton, Effekt, Glanz) und die mechanischen Eigenschaften (z.B. Härte, Witterungsbeständigkeit) bestimmen die dekorative und funktionelle Qualität der Beschichtung. Diese Anforderungen haben einen maßgeblichen Einfluß auf die Wahl der Beschichtungsmaterialien und der Auftragsverfahren. Des weiteren nehmen die gesetzlichen Anforderungen an Lackierprozesse zu. Neben der Anforderung zur Verringerung der Emissionen organischer Lösemittel stellt bei vielen Lackierbetrieben der Sonderabfall noch immer ein Problem dar. Lackabfälle sind ein sichtbares, doch unerwünschtes Resultat des Materialflusses und bilden einen konkreten Anlaß, Stoffe effektiver zu nutzen.

In der Praxis muß die Anwendbarkeit abfall- und emissionsärmerer Lackierprozesse in jedem Einzelfall im Vorfeld geprüft werden. Dabei ist es erforderlich, daß Anwender, Lackhersteller, Gerätehersteller und Anlagenbauer zusammenarbeiten. Neben der Prüfung im Labor sind auch Tests im produktionstechnischen Maßstab durchzuführen, um Planungs- und Prozeßsicherheit zu erlangen. Diese Untersuchungen zur Machbarkeit können zeit- und kostenintensiv sein. Die ABAG hat daher diese Machbarkeitsuntersuchung mit Mitteln aus der Sonderabfallabgabe des Landes Baden-Württemberg gefördert. Über die bereits bekannten Anwendungen der Pulverbeschichtung hinaus werden dabei weitere Anwendungsmöglichkeiten der Pulverbeschichtung untersucht. Ziel ist die Reduzierung des Lackschlammaufkommens durch abfallärmere und damit wirtschaftlichere Lackiertechniken.

Durch Weiterentwicklungen in den Bereichen Pulverlacksysteme, Applikationstechnik und Anlagensysteme ist zukünftig eine Ausweitung der Anwendung der Pulverbeschichtung zu erwarten. Der Folgeschritt, nämlich die Umsetzung der Entwicklungsergebnisse in die Produktion, macht erhebliche Anstrengungen aller Beteiligten erforderlich. Neben technischen und abfallwirtschaftlichen Gesichtspunkten ist die Umstellung von einem Naßlackierverfahren auf die Pulverbeschichtung unter Umweltsichtspunkten als eine Maßnahme des produktionsintegrierten Umweltschutzes anzusehen. Dabei sind Produktplanung, Produktionsverfahren und Fabrikplanung im Zusammenhang zu sehen. Wirtschaftliche und umweltschonende, in den Produktionsprozeß integrierte Techniken erfordern oftmals zur Erlangung der Prozeß- und Fertigungssicherheit erhebliche Forschungs- und Entwicklungsaufwendungen und sind in der Regel mit Neuinvestitionen (Gebäude, Anlagentechnik) verbunden. Für die Unternehmen stellt die abfallarme Pulverbeschichtung als produktionsintegrierte Umweltverfahrenstechnik eine Chance dar, ihre Produkte wirtschaftlicher und umweltschonender herzustellen bei gleichzeitiger Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit.


Dr. Bernhard Schäble
Geschäftsführer der ABAG

Inhaltsverzeichnis	Seite
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	6
Kurzfassung	7
1 Stand der Technik	9
1.1 Naßlackieren von Holz und holzähnlichen Werkstoffen	9
1.2 Stand der Technik zur Beschichtung von MDF-Platten	10
1.3 Weiterentwicklung des Stands der Technik durch dieses Projekt -Zielsetzung	11
2 Kurzbeschreibung des Anwenders (Teilprojektträger)	13
3 Zustand der Lackiererei	14
3.1 IST-Zustand	14
3.2 Geplanter Soll-Zustand	14
4 Durchgeführte Untersuchungen und Ergebnisse	15
4.1 Charakterisierung des MDF-Materials	15
4.2 Pulverlackentwicklung und Herstellung	16
4.3 Applikationstechnik	16
4.3.1 Festlegung der Versuchsmatrix	16
4.3.2 Versuchsaufbau	17
4.3.3 Auswertungen	19
4.4 Pulverlackaushärtung	23
4.4.1 Charakterisierung der Härtungsmethoden	23
4.4.2 Qualität der beschichteten MDF-Muster	25
5 Umweltrelevanter Vergleich der Pulverlackierung mit der alternativen Naßlackierung auf Wasserlackbasis	26

6	Kostenbetrachtungen	28
7	Ausblick - Weiteres Vorgehen	30
	Anhang	
A1	Projekt-Arbeitsgemeinschaft	32

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	Seite
Abb.1: Außenansicht der Fa. Henkel in Forchtenberg-Ernstbach	13
Abb.2: Applikationsanordnung der IPA-Technikumsversuche	18
Abb.3: Warenträgergestaltung für die IPA-Technikumsversuche	18
Abb.4: Oberflächenwiderstände von MDF-Platten bei Klimatisierung	20
Abb.5: Versuchsergebnisse mit optimierten Applikationsparametern für einseitige und beidseitige Beschichtungen der MDF-Teile	22
Abb.6: Verhalten des Pulverlackmaterials bei der Kreislaufführung bei der einseitigen und beidseitigen Beschichtung der MDF-Teile	23
Abb.7: Beispiel eines MDF-Musters hinsichtlich Beschichtungsqualität und Schichtdickengleichmäßigkeit beim Thermopressing	25
Tab.1: Vergleich der Umweltbelastung zwischen Pulver- und Naßlackierung	27
Tab.2.: Kostenvergleich	28

Kurzfassung

Die Fa. Henkel beschichtet mit einer Pulverbeschichtungsanlage ihre Eigenprodukte und Möbelstücke für unterschiedliche Einsatzbereiche. Außerdem werden für Kunden Lohnbeschichtungen durchgeführt. Als Werkstücke kommen bisher nur temperaturunempfindliche Substrate zum Einsatz. Nach der Beschichtung werden die Bauteile gemeinsam mit extern bezogenen Anbauteilen aus Hart-PVC endmontiert. Diese Hart-PVC-Teile sollen durch pulverbeschichtete MDF-Platten ersetzt werden, um für das gesamte Teilespektrum eine Pulverlackierung zu realisieren. Schwierigkeiten entstehen dabei v.a. aus der geringen elektrischen Leitfähigkeit des MDF-Substrates sowie den hohen Einbrenntemperaturen der Pulverlackmaterialien (i.a. $\geq 140^{\circ}\text{C}$) und den eventuell damit verbundenen Ausgasungen aus dem MDF-Material. Ziel der Untersuchungen ist die Ermittlung eines geeigneten Beschichtungsprozesses mit Pulverlacktechnologie für einen Anwendungsfall.

Bei den durchgeführten Untersuchungen zum Applikationsverhalten wird eine Konditionierung der MDF-Platten bei 20°C / 55% r.F. vorgenommen, um einen hinsichtlich elektrostatischer Applikation und Härtung optimalen Wert des Oberflächenwiderstandes von ca. $10^{10} \Omega$ auf den MDF-Teilen zu erreichen. Durch den Einsatz des am IPA entwickelten Verfahrens zur Beschichtung von Substraten mittels Kompensationsladungen werden vergleichbare Auftragswirkungsgrade wie auf metallischen Substraten erreicht. Die Stirnseite als Problembereich muß manuell oder mit Lackierroboter nachlackiert werden, um die erforderliche Mindestschichtdicke zu erreichen. Zur Pulverlackhärtung wurde das Thermopressingverfahren getestet. Der wesentliche Vorteil liegt in den kurzen Härtungszeiten und der geringeren thermischen Belastung des Substrats als bei herkömmlichen Härtungsverfahren. Daraus resultiert eine geringere Neigung zu Ausgasungen und damit verbundenen Filmbildungsstörungen sowie eine gute optische Verlaufsqualität. Die besten Ergebnisse werden durch ein Vorgelieren der Stirnseite (IR-Strahler)

vor dem Thermopressing erreicht. Die Alternative der UV-Härtung läßt sich aufgrund der geforderten Farbtonvielfalt voraussichtlich erst mittel- bis langfristig realisieren.

Die wirtschaftlichen und ökologischen Vorteile einer elektrostatischen Pulverbeschichtung in Kombination mit dem Thermopressingverfahren im Vergleich zu der Applikation von Naßlacken z.B. im Spritzlackierverfahren liegen in den geringeren Energiekosten sowie einer Reduzierung der Anzahl der Verfahrensschritte und damit einer kompakteren und kostengünstigeren Anlage. Walz- und Gießlackierung wird aufgrund des hohen Anteils und des steigenden Einsatzes an profilierten MDF-Teilen, die wegen der Werkstückform nicht mit diesen Verfahren beschichtet werden können, nicht berücksichtigt. Bei einem geringen Durchsatz zu beschichtender MDF-Platten (1250 St./d) zeigt die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, daß mit einer Reduzierung der Lackierkosten um ca. 16%, bei hohem Durchsatz (10.000 St./d) mit einer Reduzierung der Lackierkosten um ca. 27% im Vergleich zur Naßlackierung gerechnet werden kann. Pulverlacke weisen im Gegensatz zu Naßlacken keine Lösemittlemissionen auf, ausserdem kann beim Pulverlackieren von einer Rückgewinnung des nicht auf dem Werkstück abgeschiedenen Pulvers ausgegangen werden, dadurch ist das Verfahren annähernd abfallfrei (ca. 10 g Pulverabfall/m² MDF) während bei einer Naßlackierung mit einem Lackschlammanfall von ca. 150 g/m² MDF ausgegangen werden kann. Die untersuchte Pulverbeschichtung von MDF-Platten in Verbindung mit dem Thermopressingverfahren erscheint insgesamt aussichtsreich. In einem Folgeprojekt soll deshalb dieses Beschichtungskonzept z.B. bezüglich einer geeigneten Flachteilebeschichtung, dem Verhalten des Kreislaufpulvers und des ausgehärteten Lackfilms bezüglich der Neigung zur Rißbildung näher untersucht werden. Im Bereich des Thermopressings und der Härtung sollen die einzelnen Einflußparameter optimiert werden um insbesondere Schichtdickenschwankungen im Stirnseitenbereich zu minimieren.

1 Stand der Technik

1.1 Naßlackieren von Holz und holzähnlichen Werkstoffen

Beim Lackieren von Holz und Holzwerkstoffen hat die Lackschicht dekorative und funktionelle Eigenschaften (mechanische und chemische Beständigkeit) zu erfüllen. Dabei wird traditionell mit konventionellen lösemittelhaltigen Lacksystemen, jedoch in jüngster Zeit aufgrund der schärfer werdenden gesetzlichen Bestimmungen, zunehmend auch mit wasserverdünnbaren Lacksystemen mit unterschiedlichsten Bindemitteltypen gearbeitet. Dadurch hat die Qualität und die Quantität an verfügbaren wasserverdünnbaren Lacksystemen für diesen Anwendungsbereich in den letzten Jahren zugenommen. Das Bindemittel liegt in der Regel als Dispersion oder Emulsion im wässrigen Medium vor.

Bei Holzwerkstoffen müssen einige spezifische Merkmale bei der Lackierung berücksichtigt werden. Neben Schwierigkeiten, die durch austretende Holzinhaltstoffe auftreten können, stellt insbesondere der veränderliche, durch die Umgebungsbedingungen beeinflusste Holzfeuchtegehalt, der auch zu Dimensionsänderungen des Werkstückes führen kann, einen Problembereich hinsichtlich der mechanischen Eigenschaften der Lackschicht dar. Durch Dehn- und Schrumpfspannungen dürfen keine Mikrorisse im Lackfilm entstehen, ebenfalls muß ein Feuchteausgleich durch die Lackschicht (Diffusion) möglich sein, damit sich ein Gleichgewichtszustand zwischen Holz und Umgebungsklima einstellen kann.

1.2 Stand der Technik zur Beschichtung von MDF-Platten

Mitteldichte Faserplatten (MDF) werden aus Holzrohstoffen hergestellt und haben sich im Bereich von pigmentiert beschichteten Fronten und Möbeln in den letzten Jahren durchgesetzt. 1996 wurden europaweit 4,5 Mio. m³ MDF-Material erzeugt (in 17 Ländern Europas in 43 Werken mit 52 Anlagen). Sie lassen sich mit Grundierfolie verpressen und anschließend Decklackieren oder direkt im Spritzverfahren (überwiegend Airless, z.T. mit Luftunterstützung) beschichten, meist als 3-4-schichtiger Aufbau, z.B. Isolierung - Füller - (Vorlack) - Decklack und den zwischenliegenden Schleifarbeitsgängen. Walz- und Gießlackierung kommt schwerpunktmäßig zur Beschichtung nicht profilierter Flachteile zur Anwendung. Es werden i.a. Schichtdicken von ca. 100 - 200 µm aufgebracht. Die Stirnseite stellt an die Lackschicht die höchsten Anforderungen, da hier die Dimensionsänderung bei schwankendem Holzfeuchtegehalt am größten ist. Außerdem diffundiert in diesem Bereich mehr Lackmaterial ins Holzinnere ein. Eine Verbesserung läßt sich durch das Verfahren des Thermoreibglättens des Stirnseitenbereichs erreichen.

Die Anwendung der Pulverlackapplikation auf MDF ist derzeit noch mit erheblichen Einschränkungen verbunden, die zum einen aus der geringen elektrischen Leitfähigkeit des Substrates, zum anderen aus den derzeit noch vergleichsweise hohen Einbrenntemperaturen der Pulverlackmaterialien (i.a. $\geq 140^{\circ}\text{C}$) und dem davon beeinflussten Verhalten des MDF-Materials resultieren (z.B. Dampfbildung). Demgegenüber steht ein hoher Innovationsdruck in Verbindung mit neuen Generationen von Pulverlackmaterialien, insbesondere UV-härtbaren Pulverlacken und hochreaktiven Materialien mit niedrigen Einbrenntemperaturen. Zur Beschichtung von Substraten mit geringer elektrischer Leitfähigkeit ist der Einsatz von Leitflüssigkeiten, leitfähigen Vorbeschichtungen (bekannter industrieller Einsatz auf MDF-Teilen) und leitfähigen Hinterlegungen bekannt.

1.3 Weiterentwicklung des Stands der Technik durch dieses Projekt- Zielsetzung

Die Pulverbeschichtung von MDF-Platten ohne entsprechende Vorbehandlung der Werkstücke (wie z.B. Leitflüssigkeit bzw. leitfähige Grundierung) stellt ein völlig neues Aufgabengebiet dar. Ziel der Untersuchungen ist es, die material-, anlagen- und prozesstechnischen Voraussetzungen für eine funktionell und dekorativ den Anforderungen entsprechende Pulverlackierung der MDF-Platten zu definieren und den zukünftigen Prozeß hinsichtlich der Qualität, Wirtschaftlichkeit und Umweltbelastung zu beurteilen. Dies umfaßt besonders

- die Substrat-Beschaffenheit (Feuchtegehalt, Faserdichte, Porigkeit),
- die Maßnahmen zur Ermöglichung der elektrostatischen Pulverlack-Applikation auf den MDF-Substraten mit dem am IPA entwickelten Verfahren zur Beschichtung von Substraten mittels Kompensationsladungen (Kompstat-Verfahren),
- die Pulverlack-Härtung mit alternativen Härtingsverfahren (UV-Härtung und Thermopressing),
- den Pulverlackkreislauf ,
- die Konzeption der Anlage (Applikationsanordnung, Warenträgergestaltung, Kabinenverhältnisse) sowie
- das maximale Arbeitsfenster und die Fertigungssicherheit.

Die Simulation des MDF-Pulverlackierprozesses erfolgt in der gekapselten und voll klimatisierten Pulverbeschichtungs-Versuchsanlage des IPA; deren flexibler Aufbau und Betrieb gestattet eine weitgehende Simulation der aktuellen Beschichtungsbedingungen sowie eventueller zukünftiger Anlagenkonzepte (z.B. bezüglich der Luftströmungsrichtung und -geschwindigkeit in der Kabine sowie bezüglich der Werkstückförderung). Für das beteiligte Projekt-Arbeitsteam ergeben sich daraus folgende Aufgabenstellungen:

Anwender:

- Fachtechnische Beschreibung des Teilprojektes,
- Koordination und Erstellung des Pflichtenheftes,
- Werkstückauswahl,
- Definition der Qualitätsanforderungen,
- Begleitung der Versuchsdurchführung,
- Qualitätsprüfung an Versuchsteilen sowie evtl.
- Beschichtungs-Vorversuche mit der vorhandenen Pulverlackieranlage.

Lackhersteller:

- Pulverlackentwicklung entsprechend den anwendungsspezifischen Qualitätsanforderungen des Anwenders und Qualitätsprüfung,
- Rezeptoptimierung und Musterteile-Beschichtung,
- Bereitstellung von Lackmaterialien für die Applikationsversuche im IPA-Technikum,
- Angaben zur Auflademethode und zur Pulverlackvernetzung sowie
- spezifisch geeignete Lackherstellung, u.a. hinsichtlich der Rückgewinnung.

MDF-Lieferant

- Bereitstellen von Musterteilen mit den im Projektteam abgestimmten Eigenschaften (Geometrie, Stirnflächenbeschaffenheit, Feuchtegehalt) und konstanter, definierter Qualität (z.B. keine Ausgasungen bis 110°C),
- Angabe der technologischen Daten zu den MDF-Musterteilen (Temperaturbeständigkeit, Bindemittelbasis), es wird MDF-Material von der Fa. Hornitex für die Untersuchungen verwendet.

2 Kurzbeschreibung des Anwenders

Die Fa. Henkel beschichtet in ihrem Werk in Forchtenberg-Ernsbach (Abb.1) mit einer Pulverbeschichtungsanlage als Eigenprodukte Stahlteile und Möbelstücke für unterschiedliche Einsatzbereiche, wie z.B. Treppen und Geländer sowie Tische, Stühle und Liegen für Schwimmbäder, Saunen, Hotels, Krankenhäuser und Altenpflegeheime. Außerdem werden für Kunden Lohnbeschichtungen durchgeführt (Schul- und Laboreinrichtungen, Meßsysteme, Trennwände, Lüftungen u.v.a.). Die Mitarbeiteranzahl beträgt derzeit 50 feste Mitarbeiter.

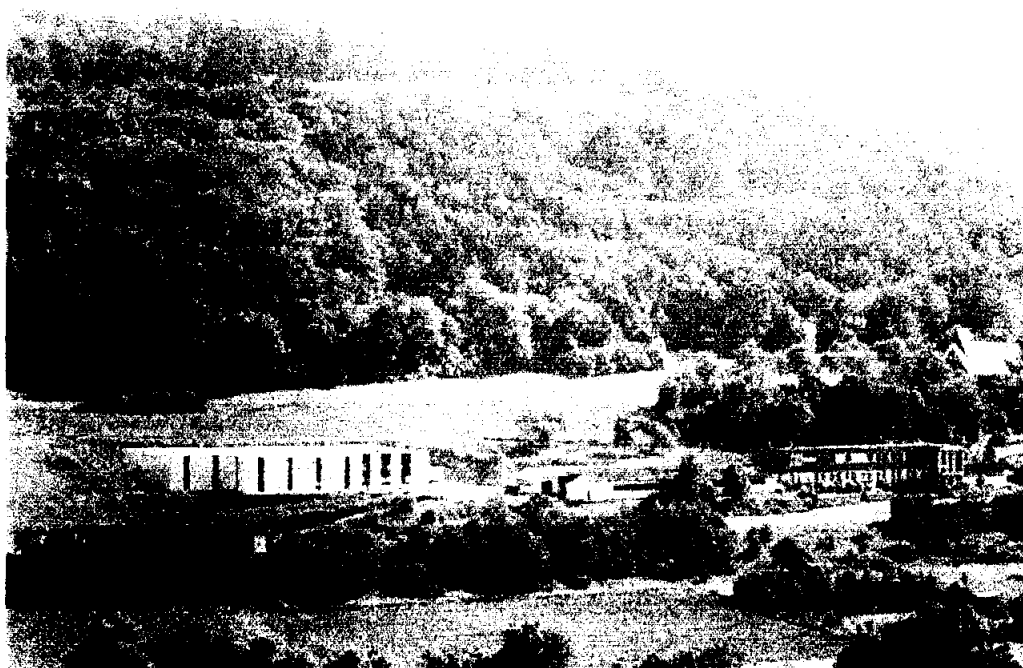


Abb. 1: Außenansicht der Fa. Henkel in Forchtenberg-Ernsbach

3 Zustand der Lackiererei

3.1 Ist-Zustand

Der Pulverbeschichtungsanlage wird 1,5-schichtig betrieben. Als Werkstücke kommen beim Anwender bisher nur temperaturunempfindliche Substrate, wie Stahl, Aluminium und Gußteile zum Einsatz. Nach der Beschichtung werden die Bauteile gemeinsam mit extern bezogenen Anbauteilen aus Hart-PVC endmontiert und die Möbel zum Versand bereitgestellt.

Verfahrensablauf in der vorhandenen Anlage:

- Teilverbereitung und Teileaufgabe,
- Vorbehandlung/Phosphatierung,
- Haftwassertrocknung,
- elektrostatische Pulverlackapplikation mit Korona- und Tribosprühaggregaten; manuelle und automatische Applikation (Hubautomaten) in einer Automatikkabine mit Bandfilterrückgewinnung und zwei Handkabinen,
- Pulverlackhärtung im Umluftofen,
- Teileabnahme.

Es kommen ca. 100 verschiedene Farbtöne zum Einsatz.

3.2 Geplanter Soll-Zustand

Der Anwender möchte die extern bezogenen PVC-Anbauteile durch MDF-Platten ersetzen. Aus umwelttechnischen Gründen kommt nur eine Beschichtung entweder auf der Basis von wasserverdünnbaren Lacksystemen oder auf Pulverlackbasis in Frage. Da metallische Bauteile vom Anwender bereits pulverbeschichtet werden, liegt der Einsatz von Pulverlackmaterialien nahe, mit dem Ziel, für das gesamte Produktteilespektrum im medizinischen Bereich eine Pulverlackierung zu realisieren.

4 Durchgeführte Untersuchungen und Ergebnisse

4.1 Charakterisierung des MDF-Materials

MDF-Material wird aus Holzrohstoffen hergestellt und hat daher auch zum Teil holzspezifische Eigenschaften. Im Möbelbereich werden MDF-Platten häufig profiliert. Für die Versuche im IPA-Technikum (Applikationsversuche) und bei Fa.Friz (Härtungsversuche mittels Thermopressing) werden unterschiedliche MDF-Varianten definierter Temperaturbeständigkeit und Bindemittelbasis (MDF-Verarbeiter: Fa. KLR; Hersteller: Fa. Hornitex) verwendet:

- profilierte/unprofilierte Teile,
- Stirnflächen mit/ohne Thermoreibglättung (Thermoreibglättung durchgeführt am Institut für Holztechnologie GmbH Dresden)
- einseitig laminierte/nicht laminierte Teile,
- unterschiedliche Teilegeometrien:
 - 300 * 200 * 18 mm
 - 350 * 120 * 16 mm
 - 400 * 200 * 18 mm,
- Kantenradien 0-10 mm.

Das MDF-Material wird mit einem Oberflächenwiderstand von ca. 3,5 - 4 T Ω angeliefert.

4.2 Pulverlackentwicklung und Herstellung

Die zunächst wichtigste Anforderung an die Werkstoffeigenschaften des Lackmaterials ist eine möglichst geringe Einbrenntemperatur / Einbrennzeit mit dem Ziel einer möglichst geringen thermischen Belastung des Substrates. Hierzu stehen folgende Lackmaterialien zur Verfügung:

- konventionelles Epoxidharzpulver
Einbrennbedingungen/ Temperaturhaltezeit: 130 °C / 12 min
Medianwert der Partikelgröße $d(v;0.5)$: 48,7 μm ;
verwendet vorwiegend für Vorversuche im IPA-Technikum,
- neuentwickeltes Niedertemperatur-2K- Thermopressingpulver, Epoxidharz mit speziellem Aminhärter
Einbrennbedingungen/ Thermopressing: 120 °C / 2 min
Medianwert der Partikelgröße $d(v;0.5)$: 34,7 μm ;
verwendet vorwiegend für Thermopressingversuche bei Fa. Friz,
- neuentwickeltes UV-härtendes Pulver, modifiziertes ungesättigtes Polyesterharz.

4.3 Applikationstechnik

4.3.1 Festlegung der Versuchsmatrix

Um eine geeignete Applikationsanordnung und Warenträgerkonstruktion entwickeln zu können, sowie als Basis für die endgültige Versuchsmatrix (konstante und variable Versuchsparameter, wesentliche Einflußgrößen, Bandbreite, Auswahl geeigneter Sprühaggregate und Düsengeometrien u.s.w.) werden Vorversuche durchgeführt. Folgende Parameter werden dabei berücksichtigt:

- die Maßnahmen zur Ermöglichung der elektrostatischen oder Tribo-Pulverlack-Applikation auf den MDF-Substraten für einseitige und beidseitige Beschichtung, insbesondere des "Problembereichs" Stirnseite mit unterschiedlichen Teilegeometrien und Kantenradien,
- geeignete Pulverdosier- und -sprühsysteme bzw. Auflademethoden (Tribo+/Korona+/Korona-/Korona ionenarm+/ Korona ionenarm-),
- die Applikationsparameter (Sprühdüsengeometrie, Sprühabstand, Sprühwinkel, Pulvermassenstrom, Luftvolumenströme, Hochspannung,
- der Einsatz geeigneter Warenträger (Geometrie, Material),
- die geeignete Werkstückanordnung (vertikal/horizontal),
- die Relativbewegung Sprühorgan-Werkstück (z.B. Oszillation/Hub),
- die Erdungsdynamik,
- der Oberflächenwiderstand des MDF-Substrates (Konditionierung z.B. durch Klimatisierung, definierte Feuchte und Temperatur),
- bei der Pulverlack-Trocknung aus dem MDF-Material austretende Holzfeuchte und verursachte Filmbildungsstörungen.

4.3.2 Versuchsaufbau

Auf der Basis der Ergebnisse aus den Vorversuchen wird eine Applikationsanordnung gewählt, die eine einseitige und beidseitige Beschichtung der MDF-Teile sowie der Stirnseite ermöglicht (Abb.2). Auf jeder Seite ist eine zur Rückseite synchrone Applikation mit zwei Sprühaggregaten möglich. Sprühwinkel und Sprühabstände sind beliebig variabel. Ein Hub von maximal 650 mm ist im Rahmen dieser Applikationsanordnung und der Kabinenabmessungen realisierbar. Damit ist eine praxisnahe Werkstückanordnung von 2 MDF-Teilen horizontal übereinander und drei Werkstücken nebeneinander (mit den MDF-Teilen 200*400*18 mm) möglich (Abb.3). Für die Auswertung der Versuchsergebnisse werden nur die repräsentativen mittleren Werkstücke herangezogen. Um einen besseren Auftragswirkungsgrad und eine geringere Verschmutzung des Warenträ-

gers zu gewährleisten, wird für die Warenträgerkonstruktion Kunststoff (Hart-PVC-Profil) als Ausgangsmaterial verwendet. Die MDF-Teile lassen sich wahlweise geerdet und ungeerdet am Warenträger befestigen.

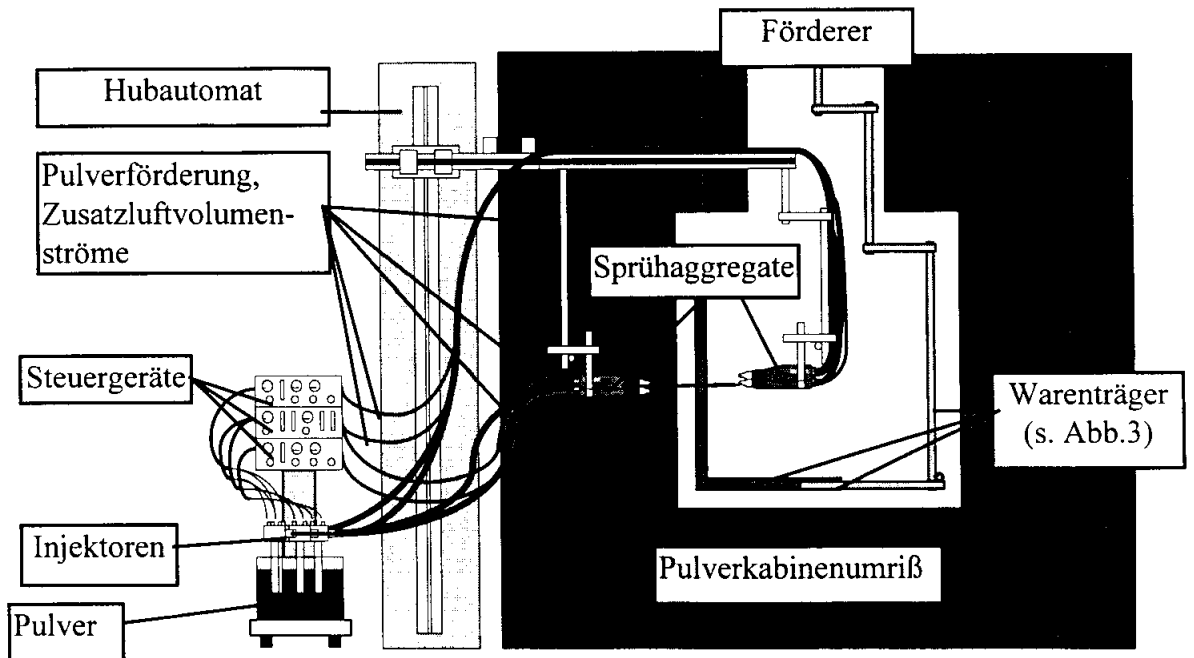


Abb.2: Applikationsanordnung der IPA-Technikumsversuche

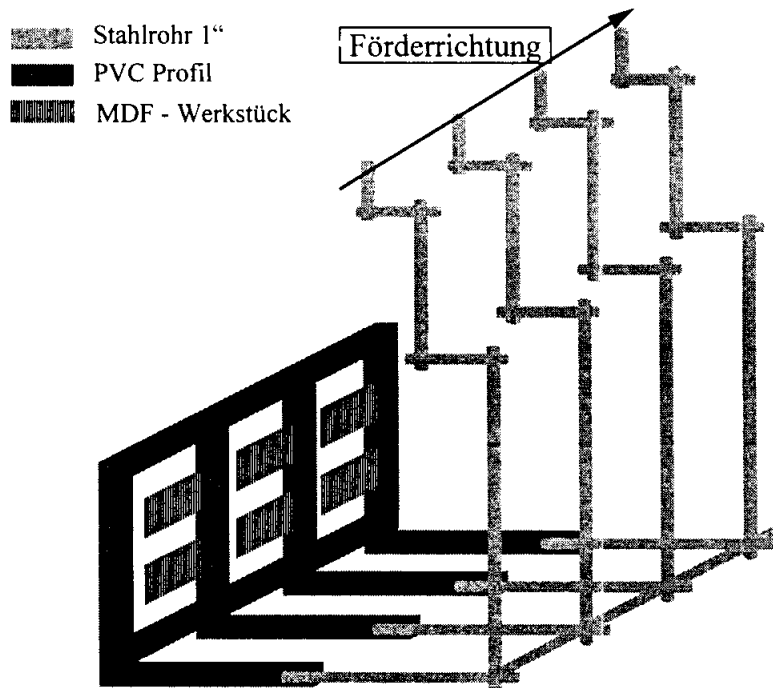


Abb.3: Warentränergestaltung für die IPA-Technikumsversuche

4.3.3 Auswertungen

Oberflächenwiderstand

Der Oberflächenwiderstand wird auf der nicht laminierten Seite nach DIN 53482 bestimmt. Er ist ein wichtiges Maß für die elektrostatische Lackierbarkeit der Teile und läßt sich unter anderem durch die Umgebungsklimabedingungen (Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit) beeinflussen.

MDF-Konditionierung

Im Anlieferungszustand sind die MDF-Teile nicht elektrostatisch pulverapplizierbar, d.h. es läßt sich keine geschlossene Pulverschicht erzeugen, der Auftragswirkungsgrad ist sehr niedrig. Der Oberflächenwiderstand der MDF-Teile beträgt im Anlieferungszustand 3,5-4 T Ω . Durch Klimatisierung läßt sich gezielt der Holzfeuchtegehalt und damit der Oberflächenwiderstand der MDF-Teile einstellen (s. Abb.4), der eine elektrostatische Applikation, insbesondere durch das am IPA entwickelte Verfahren mittels Kompensationsladungen (Kompstat), möglich macht. Ein hoher Holzfeuchtegehalt erleichtert zwar einerseits eine elektrostatische Applikation durch den relativ geringen Oberflächenwiderstand, kann aber andererseits durch austretenden Wasserdampf beim Einbrennen zu Filmbildungsstörungen sowie, noch Wochen nach dem Aushärten der Lackschicht, durch Dehn- und Schrumpfspannungen zu Mikrorissen im Lackfilm führen.

Hinsichtlich der o.g. Aspekte erweist sich ein Oberflächenwiderstand der MDF-Teile von ca. $10^{10} \Omega$ als optimal. Um den Wert des Oberflächenwiderstandes im Bereich von $10^{10} \Omega$ zu halten, wird für die Versuchsreihen ein Klima von 20°C / 55 % relative Feuchte (r.F.) eingestellt. Der Wert wird über sämtliche Versuchsreihen im IPA-Pulvertechnikum konstant gehalten.

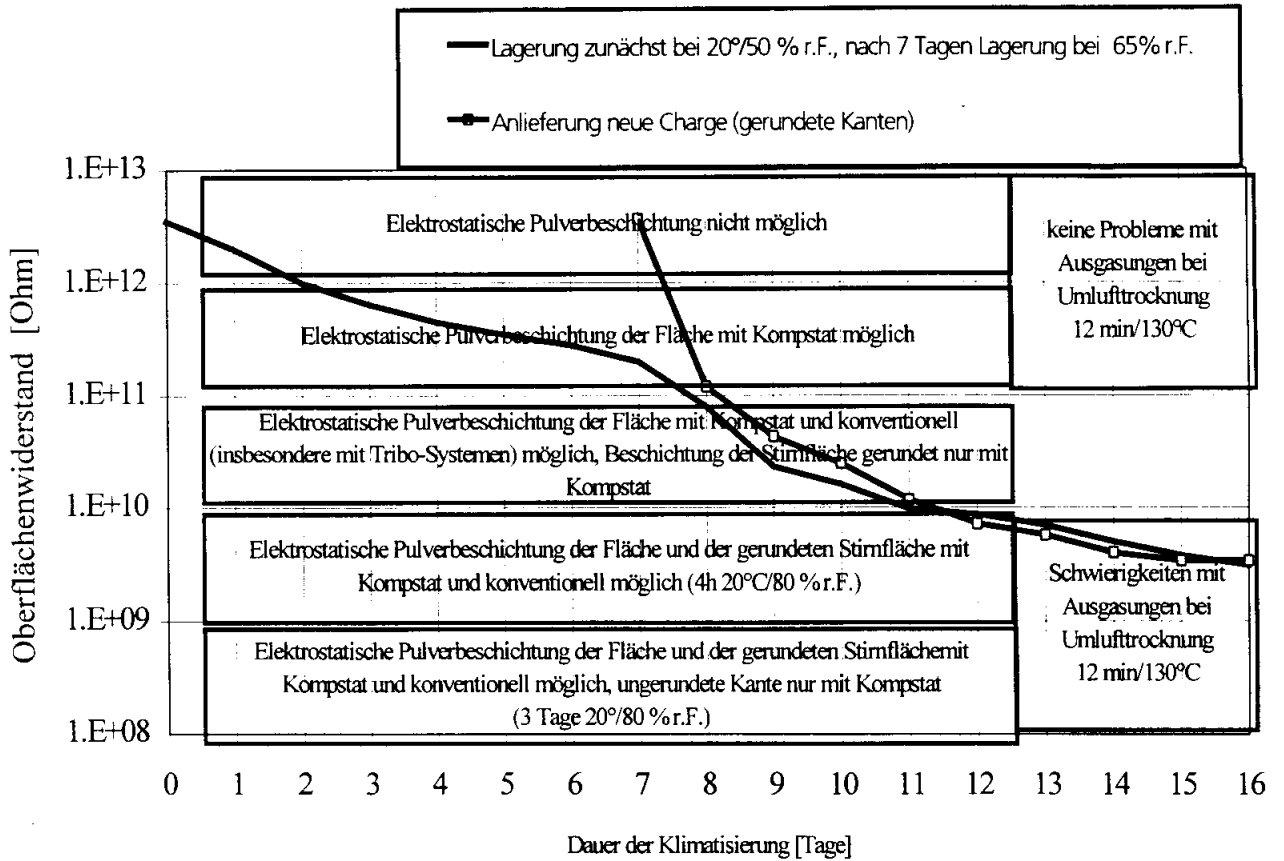


Abb.4: Oberflächenwiderstände von MDF-Platten bei Klimatisierung

Auftragswirkungsgrad

Die auf den beiden mittleren MDF-Teilen applizierte Pulvermasse wird durch Differenzwägung der Teile vor und nach der Beschichtung bestimmt. Durch Wägung des Pulverbehälters vor und nach der Applikation über die Applikationsdauer wird der Pulvermassenstrom eingestellt und überprüft.

Der Auftragswirkungsgrad (AWG) ist durch folgende Beziehung definiert:

$$\text{AWG [\%]} = \frac{\text{Gesamte auf den mittleren MDF-Teilen applizierte Pulvermasse}}{\text{Versprühte Pulvermasse von Werkstückkante bis Werkstückkante}} \cdot 100 \%$$

Schichtdickenverteilung

Nach der Auftragswirkungsgradbestimmung wird auf dem MDF-Teil appliziertes, uneingebranntes Pulver von einer definierten Fläche mit dem Pinsel entfernt. Jeweils nach dem Entfernen des Pulvers auf der Vorderseite, der Rückseite und der Stirnfläche wird das MDF-Teil gewogen. Über die Dichte des Pulvers und die beschichtete Fläche lässt sich die mittlere Schichtdicke nach dem Einbrennen auf der Vorderseite, der Rückseite und der Stirnseite berechnen.

$$\text{Berechnete Schichtdicke } [\mu\text{m}] = \frac{\text{entfernte Pulvermasse}[\text{g}]}{\text{beschichtete Fläche } [\text{m}^2] * \text{Dichte Pulver } [\text{g}/\text{cm}^3]}$$

Qualitätsnote

Eine Gesamtnote aus der Beschichtungsqualität der Vorder- und Rückseite sowie der Stirnfläche wird visuell durch Benotung von mehreren unabhängigen Personen durch anschließende Mittelwertbildung erteilt. Die Benotungsskala umfasst den Bereich von 1 - 6 (sehr gut - schlecht).

Optimierte Applikation

Bei optimierten Applikationsparametern wird bei der einseitigen Beschichtung ein Auftragswirkungsgrad von 60% erreicht. Dieser Wert ist identisch mit dem Auftragswirkungsgrad eines geerdeten Metallteils bei sonst gleichen Applikationsparametern. Bei der beidseitigen Beschichtung wird ein Auftragswirkungsgrad von 49% erzielt, dieser Wert liegt geringfügig unterhalb des Wertes am Metallteil (54%). Die visuelle Verlaufsqualität ist bei diesen Applikationsparametern bei der einseitigen und beidseitigen Beschichtung relativ gut. Die vergleichsweise geringe Schichtdicke im Bereich der Stirnseite macht allerdings in der Praxis einen zusätzlichen Beschichtungsgang z.B. mit einem Tribo-Sprühaggregat (manuelle Applikation bzw. Lackierroboter) notwendig (Abb.5).

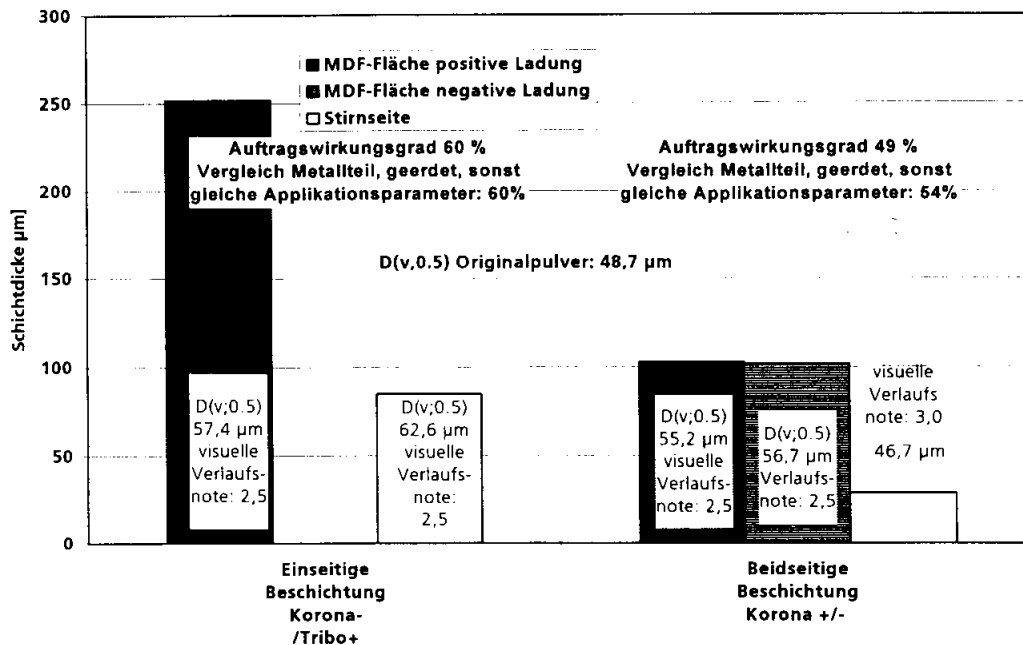


Abb.5: Versuchsergebnisse mit optimierten Applikationsparametern für einseitige und beidseitige Beschichtungen der MDF-Teile

Partikelgrößenspezifisches Applikationsverhalten

Mit dem Laserbeugungsmeßverfahren (Malvern Mastersizer X, Naßdispergierung der Pulverproben) wird die Partikelgrößenverteilung der Originalpulver und der von den MDF-Teilen entnommenen Pulverproben bestimmt (Vorderseite / Rückseite / Stirnseite). Über eine Simulationsmethode läßt sich das partikelgrößenspezifische Applikationsverhalten bei der Kreislaufführung berechnen.

Betrachtungen zur Kreislaufführung

Die Kreislaufführung des Pulverlackmaterials führt zu einer Verfeinerung des Pulverpartikelgrößenspektrums und damit zu einer Verschlechterung des Auftragswirkungsgrades. Dieser Effekt wirkt sich bei der einseitigen Beschichtung (u.a. wegen des höheren Erstauftragswirkungsgrades) stärker aus als bei der beidseitigen Beschichtung (Abb.6).

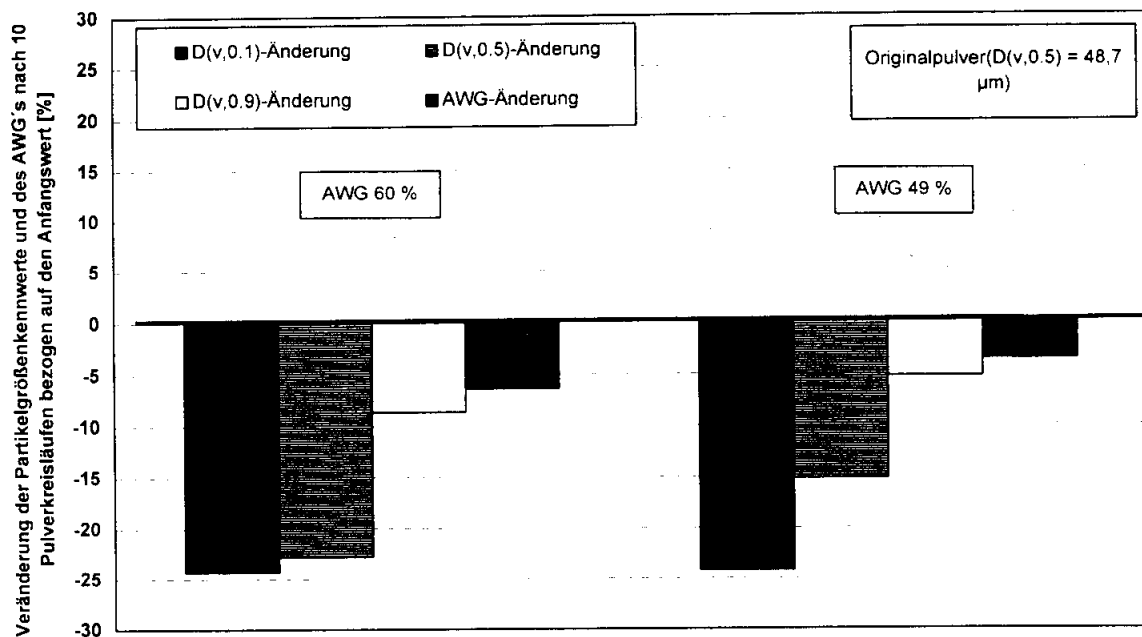


Abb.6: Verhalten des Pulverlackmaterials bei der Kreislaufführung bei der einseitigen und beidseitigen Beschichtung der MDF-Teile

4.4 Pulverlackhärtung

4.4.1 Charakterisierung der Härtungsmethoden

Zwei Härtungsverfahren werden näher in Betracht gezogen:

Die UV-Härtung

Schmelzen und Härten des Lackfilms sind bei den UV-härtenden Pulverlacksystemen voneinander unabhängige Prozesse, das applizierte Pulver wird i.a. zunächst durch IR-Bestrahlung bei verhältnismäßig niedrigen Temperaturen ($\cong 120^{\circ}\text{C}$) aufgeschmolzen und anschließend durch UV-Bestrahlung ausgehärtet.

Das Thermopressingverfahren

Beim Thermopressingverfahren wird mit einer Membranformenpresse im Vakuumverfahren gearbeitet. Die erwärmte Membran legt sich im Vakuum um das pulverbeschichtete Werkstück, paßt sich der jeweiligen Werkstückgeometrie an und führt zu einem schnellen Aufschmelzen und Aushärten des Pulverlackfilms.

An einer für das Versuchsprogramm von einem Hersteller von Membranformenpressen zur Verfügung gestellten Thermopresse werden systematisch Tests durchgeführt. Dabei stellt sich heraus, daß für eine gleichmäßige Beschichtung des Problembereichs Stirnseite ein definiertes Vorgelieren erforderlich ist.

Das Thermopressingverfahren wird aus folgenden Gründen für eine einseitige Beschichtung einseitig laminiertes MDF-Platten bevorzugt untersucht:

- größere Anzahl an lieferbaren Farbtönen,
- sofortige Verfügbarkeit des Pulverlackmaterials,
- besonders glatte Verlaufsstruktur des Lackfilms sowie
- geringere Energiekosten als bei der UV-IR-Trocknung.

Das Thermopressing von beidseitig beschichteten MDF-Platten ist beim momentanen Stand noch nicht möglich. Beidseitig pulverbeschichtete MDF-Platten müssen konventionell im Umluftofen bei 130°C ausgehärtet werden.

4.4.2 Qualität der beschichteten MDF-Muster

Durch Variation einzelner verfahrenstechnischer Faktoren beim Thermopressing wird der Einfluß dieses Verfahrens auf die Beschichtungsqualität und Schichtdickengleichmäßigkeit der pulverbeschichteten MDF-Muster grundsätzlich ermittelt. Die Beurteilung der beschichteten MDF-Flachteile erfolgte visuell auf der Fläche und Stirnseite der Teile. Das Ergebnis ist als vorläufiger Trend anzusehen. Es wird erwartet, daß sich vorhandene Probleme (z.B. im Bereich der Stirnseite) zukünftig anhand einer umfangreicheren Variation der Einflußparameter lösen und beherrschen lassen. Das Thermopressingverfahren stellt allerdings aufgrund des sehr glatten Lackfilmverlaufs und der niedrigen Einbrenntemperatur und Einbrennzeit eine interessante Möglichkeit zur Pulverbeschichtung von temperatursensitiven Substraten dar.

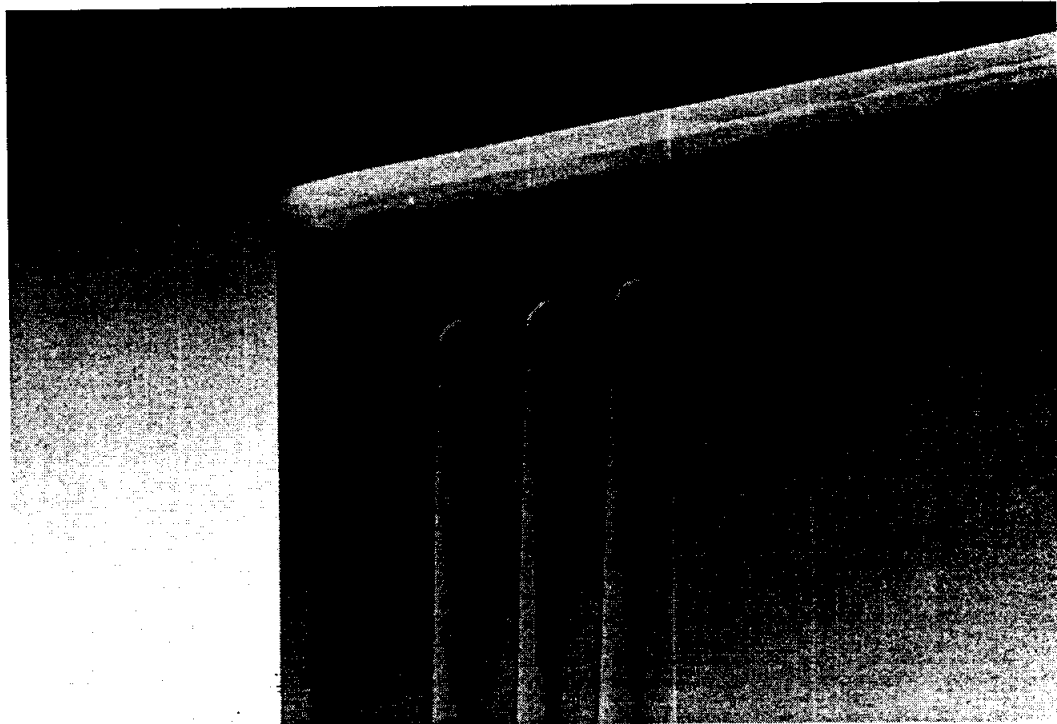


Abb.7: Beispiel eines MDF-Musters hinsichtlich Beschichtungsqualität und Schichtdickengleichmäßigkeit beim Thermopressing

5 Umweltsrelevanter Vergleich der Pulverlackierung mit der alternativen Naßlackierung auf Wasserlackbasis

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse wird bei der Pulverlackierung für den umweltrelevanten Vergleich von einem Einschichtaufbau ausgegangen. Bei der Naßlackierung wird allerdings von einem Mehrschichtaufbau (Füller und Decklack auf Wasserbasis, Isolierung als konventionelles lösemittelhaltiges System) als Referenzverfahren für den nachfolgenden umweltrelevanten Vergleich sowie anschließend für die Kostenbetrachtung (Kap.6) ausgegangen.

Verfahrensablauf Referenzverfahren

- Teile auflegen,
- Flachlackieranlage Isoliergrund
2K-konventionell FK 30 %,
Schichtdicke 20 µm,
- Trocknung bei 70°C,
- Schleifen,
- Flachlackieranlage UV-Füller
FK 70 %; Schichtdicke 30 µm,
Recycling (Wasserbasis),
- Trocknung 60°C,
- Flachlackieranlage UV-Füller
FK 70 %; Schichtdicke 30 µm,
Recycling (Wasserbasis),
- Trocknung bei 60°C,
- UV-Härtung,
- Schleifen,
- Flachlackieranlage; 2K-Decklack,
FK 45%, Schichtdicke 35 µm (Wasserbasis)
- Teileabnahme.

Verfahrensablauf Soll-Zustand

- Teile auflegen,
- Flachlackieranlage Thermopressing-
pulver, 2K-EP, Schichtdicke 175 µm,
- Vorgelieren des Stirnseitenbereichs
mit IR,
- Aushärtung durch Thermopressing,
- Teileabnahme.

Lösemittlemissionen entfallen bei einer Pulverbeschichtung gänzlich, während bei einer Beschichtung mit wässrigen Systemen je nach Lackschicht mit 4-12 % Lösemittelanteil zu rechnen ist. Pulverlackabfälle sind auf ein Minimum reduziert, da davon ausgegangen werden kann, daß Overspraypulver rückgewonnen wird. Bei der Applikation mit wässrigen Lacksystemen ist mit einem erheblichen Lack-schlammanfall zu rechnen, von einer Oversprayrückgewinnung, z.B. durch Ultrafiltration ist bei der geforderten Farbtonvielfalt nur im Füllerbereich auszugehen.

Umweltbelastung	Pulverlackierung einseitige Beschichtung inkl. Stirnseite; Einschichtaufbau	Naßlackierung einseitige Beschichtung inkl. Stirnseite; Mehrschichtaufbau: -Isoliergrund (konventionell) -Füller (Wasserbasis) -Decklack (Wasserbasis)
Lösemittlemissionen	-	ca. 120 g/m ² MDF
Lackschlammanfall (angenommen: 50% Festkörper)	-	ca. 150 g/m ² MDF
Pulverabfälle (Rückgewinnung an- genommen)	ca. 10 g/m ² MDF	-

Tab.1: Vergleich der Umweltbelastung zwischen Pulver- und Naßlackierung

6 Kostenbetrachtung

In Anlehnung an Kap.5 wird der Beschichtungsprozess des Referenz-Zustandes mit dem geplanten Prozess im Soll-Zustand bezgl. der Lackierkosten verglichen. Aufgrund des angenommenen Referenz-Zustandes und des noch unausgereiften verfahrenstechnischen Konzeptes des SOLL-Zustandes (insbesondere in Hinsicht auf das Härungsverfahren) ist eine Kostenbetrachtung nur als grobe Schätzung (Werte aus Praxiserfahrungen, Schätzwerte) möglich, wobei der o.g. Verfahrensablauf (Kap.5) für die teilempirische Berechnung zugrundegelegt wird. Mit der Werkstückgeometrie 200 * 400 * 18 mm werden zwei Fallbeispiele angenommen:

Als niedrige Stückzahl wird mit 1250 MDF-Teilen/d (100m²/d bei 2 Betriebschichten), als hohe Stückzahl mit 10.000 MDF-Teilen/d (800m²/d bei 2 Betriebschichten) gerechnet. Gemeinkosten werden in der Betrachtung nicht berücksichtigt.

Fallbeispiel	Referenzverfahren		SOLL-Zustand		Einsparung [%]	
	niedrige Stückz.	hohe Stückz.	niedrige Stückz.	hohe Stückz.	niedrige Stückz.	hohe Stückz.
Lackmaterial [t/a]	13,1	104,8	6,6	52	50	50
Lösemittel [t/a]	6,9	55,2	0	0	100	100
Sonderabfall [t/a]	4,2	33,7	0,2	1,56	95	95
Energie [KWh/a]	55	250,0	39	203	30	19
Lackierkosten [TDM/a]	667	2218	558	1624	16	27
Lackierkosten/m ² MDF [DM/m ²]	27,75	11,5	23,25	8,4	16	27
Investitionskosten [MioDM]	1,9	2,7	1,85	2,10	3	22

Tab.2.: Kostenvergleich

Demnach wird in dem Fallbeispiel bei der niedrigen Stückzahl durch den Einsatz der elektrostatischen Pulverlackierung in Verbindung mit dem Thermopressingverfahren eine Senkung der Lackierkosten um ca. 16%, bei der hohen Stückzahl eine Senkung der Lackierkosten um ca. 27% im Vergleich zum Referenzzustand (Naßlackierung) erzielt.

Zusätzlich zu den in Abb. 8 aufgeführten Einsparungen durch den Einsatz der Pulverlackapplikation ist noch der erheblich geringere Platzbedarf einer Pulverlackieranlage (geschätzt: weniger als 50 % des Platzbedarfs einer Naßlackieranlage) in einer ersten Abschätzung zu berücksichtigen.

7 Ausblick-Weiteres Vorgehen

Grundsätzlich zu unterscheiden sind die Versuchsergebnisse der einseitigen und beidseitigen Applikation. In Verbindung mit dem Thermopressingverfahren wird sich eine einseitige Beschichtung der einseitig laminierten MDF-Teile einfacher und damit kurzfristiger realisieren lassen. Bezüglich des erarbeiteten Verfahrens zur einseitigen Beschichtung von MDF-Platten besteht noch Entwicklungsbedarf. Dies betrifft insbesondere die Applikationstechnik, die Härtung des Pulverlackes (Thermopressing/UV-IR-Trocknung), sowie die Pulverlackweiterentwicklung und Qualitätsprüfung:

Applikationstechnik

- Detaillierte Ausarbeitung des Anlagenkonzeptes, insbesondere der einseitigen Beschichtung einseitig laminiertes MDF-Platten zur Realisierung einer Flachbeschichtung sowie des Anlagenkonzeptes für eine beidseitige Beschichtung der MDF-Platten,
- Untersuchung des Kreislaufverhaltens des Pulverlackmaterials hinsichtlich Partikelgrößenverteilung und Verschmutzung des Rückgewinnungspulvers,
- Meßtechnische Erfassung der dekorativen Lackfilmqualität über Tastschnittverfahren oder laseroptisches Meßverfahren sowie mikroskopische Aufnahmen des Problembereichs Stirnseite,
- Qualitätssicherung und Fertigungssicherheit.

Härtungsverfahren

- Insbesondere das Thermopressingverfahren für die Lackhärtung ist zu optimieren, da die Aushärtung besonders im Bereich der Stirnseite noch Schwierigkeiten hinsichtlich der Schichtdickenkonstanz und optischen Qualität bereitet. Die

Applikation vor dem Thermopressing muß unter konstanten, definierten Bedingungen stattfinden,

- Die Möglichkeiten des Einsatzes von UV-härtbaren Pulvern ist alternativ zu untersuchen. Hierfür steht am IPA eine neuartige UV/IR-Einbrennzone für Versuchszwecke zur Verfügung.

Pulverlackentwicklung und Qualitätsprüfung

- Definition der Qualitätsanforderungen der Beschichtung,
- Lack-Werkstoffprüfungen an beschichteten MDF-Teilen,
- Optimierung der Lackrezeptur in Hinsicht auf Thermopressing und auf eine IR/UV-Aushärtung,
- in Hinsicht auf eine Pulverrückgewinnung optimiertes Pulver (Mahlung/Sichtung).

Die Untersuchungen sollen im Rahmen eines Fortsetzungsprojektes durchgeführt werden.

9 Anhang

A1 Projekt-Arbeitsgemeinschaft

Beteiligte Unternehmen	Ansprechpartner
ABAG Abfallberatungsagentur Staufenerstraße 15 70736 Fellbach	Herr Grupp
Richard Henkel GmbH Forchtenbergerstraße 46 74670 Forchtenberg-Ernsbach	Frau Henkel, Herr Schaal
KLR Möbelfronten GmbH Am Mantelgraben 20 74746 Höpfigen	Herr Dr. Roßmeißl
Herberts Pulverlack GmbH Siemensstraße 4 84051 Essenbach-Altheim	Herr Zimmermann, Herr Niggemann
Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA Nobelstraße 12 70569 Stuttgart	Herr Cudazzo, Herr Stroheck