



## Projektbericht

### Neue Anwendungsmöglichkeiten der Pulverbeschichtung

Teilprojekt  
Pulverbeschichtung von Wandbelägen

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

**Teilprojekträger:**  
Salubra tekko  
Salubra Tapeten GmbH  
D-79639 Grenzach Wyhlen  
Ansprechpartner: Herr Reinhold Müller

**Kooperationspartner:**  
Michael Huber München GmbH  
EPPING GmbH / PES-Laboratorium

**Projektbegleiter:**  
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik  
und Automatisierung, Stuttgart

Dipl.-Ing.(FH) M. Cudazzo

Oktober 1998

**projektbericht**

**Erarbeitung:**

Dipl.-Ing. (FH) M. Cudazzo

Fraunhofer-Institut Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart

Für die stets kooperative Mitwirkung an diesem Projekt bedankt sich das Fraunhofer IPA bei allen Beteiligten der Salubra Tapeten GmbH in Grenzach-Wyhlen und den beteiligten Kooperationspartnern, Michael Huber München GmbH; EPPING GmbH, PES-Laboratorium.

Einen besonderen herzlichen Dank spricht das Fraunhofer IPA gemeinsam mit der ABAG den Herren Epping, Klopfer, Küttner, Müller und Schulze-Hagenest 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

Oktober 1998

Gedruckt auf: weiß mattgestrichen Offset chlorfrei gebleicht (Umschlag)

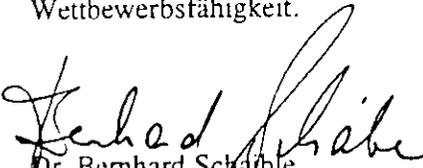
Alle Rechte der Verbreitung, auch durch Film, Funk und Fernsehen, fotomechanische Wiedergabe, Tonträger jeder Art, auszugsweisen Nachdruck oder Einspeicherung und Rückgewinnung in Datenverarbeitungsanlagen aller Art, sind vorbehalten.

## 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 Lackschlammankommens 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

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	Seite
<b>Abbildungs- und Abkürzungsverzeichnis</b>	6
<b>Kurzfassung</b>	7
<b>1 Stand der Technik</b>	9
1.1 Stand der Technik zur Beschichtung von Wandbelägen	9
1.2 Weiterentwicklung des Stands der Technik durch dieses Projekt -Zielsetzung	10
<b>2 Kurzbeschreibung des Anwenders (Teilprojektträger)</b>	12
<b>3 Zustand der Lackiererei</b>	13
3.1 IST-Zustand	13
3.2 Geplanter Soll-Zustand	13
<b>4 Durchgeführte Untersuchungen und Ergebnisse</b>	13
4.1 Funktionsweise der Magnetbürstenapplikation	13
4.2 Versuchsaufbau	16
4.2.1 Laborversuchsanlage	16
4.2.2 Großversuchsanlage	17
4.3 Eingesetzter Pulverlack und Carrier	19
4.4 Festlegung der Versuchsmatrix	20
4.5 Optimierung der Beschichtungsqualität	21
4.6 Auswertungen	22
4.6.1 Magnetbürstenapplikation	22
4.6.2 Schmelzen und Härten der applizierten Lackschicht	23
<b>5 Umweltrelevanter Vergleich der Pulverlackierung mit der in der Produktion aktuellen Naßlackierung</b>	26

<b>6</b>	<b>Kostenbetrachtungen</b>	<b>27</b>
<b>7</b>	<b>Ausblick - Weiteres Vorgehen</b>	<b>29</b>
<b>Anhang</b>		
<b>A1</b>	<b>Projekt-Arbeitsgemeinschaft</b>	<b>30</b>
<b>A2</b>	<b>Literatur</b>	<b>31</b>

•  
•  
•

## Abbildungs- und Abkürzungsverzeichnis

Abb.1:	Applikation des konventionellen, lösemittelhaltigen Klarlacksystems	10
Abb.2:	Schematische Darstellung der Funktionsweise der Magnetbürstenapplikation	15
Abb.3:	Magnetbürste Laborversuchsanlage	16
Abb.4:	Aufbau der Großversuchsanlage	17
Abb.5:	“Innenleben der Magnetbürstenentwicklungsstation“	18
Abb.6:	Schmelzen und Härten der geschmolzenen Lackschicht	18
Abb.7.:	Partikelgrößenverteilung der eingesetzten UV-härtenden Pulverklarlacke und der Trägerteilchen	19
Abb.8:	Funktionsprinzip des q/m-Meßgerätes	22
Abb.9:	Schichtdickenschwankungen auf den Tapetenmuster-Versuchsteilen bei optimierten Applikationsparametern	23
Abb. 10:	Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Tapetenoberfläche	25
Abb.11:	Vergleich der Umweltbelastung zwischen Pulver- und Naßlackierung	27
Abb.12:	Kostenvergleich UV-härtender Pulverklarlack/Naßklarlack	28
UV:	Ultraviolett	
NIR:	nahes (kurzwelliges) Infrarot	
Stabw.:	Standardabweichung (Streuung)	
D(v,0.1):	10% des Partikelgesamtvolumens sind kleiner als ... $\mu\text{m}$ (Feinanteil)	
D(v,0.5):	50% des Partikelgesamtvolumens sind kleiner als ... $\mu\text{m}$ (Medianwert)	
D(v,0.9):	90% des Partikelgesamtvolumens sind kleiner als ... $\mu\text{m}$ (Grobanteil)	

## Kurzfassung

Die Qualität und das optische Erscheinungsbild von Tapeten wird durch Beschichtungen (z.B. Mehrschichtaufbau, Effektlackierungen) verbessert. Bei der Herstellung von „tekko-Tapeten“, einem Produkt der Salubra Tapeten GmbH, erfolgt nach der Farbgebung eine Prägung oder partielle Kaschierung mit einer beheizten Kalandervalze. Die dreischichtige Beschichtung dieses Tapetenmaterials umfaßt den Auftrag wässriger Grund- und Basislacke sowie eine Schlußlackierung mit einem lösemittelhaltigen Klarlack. Bei der Klarlackapplikation im Walzenauftragsverfahren entstehen systembedingt durch das eingesetzte lufttrocknende Bindemittelsystem ca. 6t/a organische Lösemittellemissionen.

Eine Verfahrensalternative zu den Naßbeschichtungsverfahren stellt die elektrostatische Pulverbeschichtung dar, bei der keine Lösemittellemissionen anfallen. Ausserdem müssen bei der Pulverlackierung keine besonderen sicherheitstechnischen Maßnahmen zur Einhaltung der Explosionsschutzrichtlinien (z.B. Absaugung, explosionsgeschützte elektrische Vorrichtungen u.s.w.) bei der Verarbeitung und bei der Lagerung des Lackmaterials berücksichtigt werden. Ferner besteht keine Gefahr eventuell nachträglicher Lösemittelausdunstungen aus der Tapete.

Im Rahmen dieser Machbarkeitsuntersuchung der Pulverbeschichtung von Tapetenmaterial wurde die Magnetbürstentechnik - ein in der Kopiertechnik angewandtes Applikationsverfahren - weiterentwickelt und an die produktionsspezifischen Anforderungen (z.B. Fördergeschwindigkeiten bis zu 1 m/s, Trockenschichtdicke ca. 5µm) angepasst. Statt der im Kopierer- und Druckerbereich eingesetzten meist thermoplastischen Tonerpulver wird für das temperaturempfindliche Tapeten-Papierverbundmaterial als Bindemitteltyp ein UV-härtendes Polyesterklarpulver verwendet um die Temperaturbelastung am Substrat zu reduzieren. Anders als bei thermisch vernetzenden Pulverlacken stellen beim UV-härtenden Pulverlack das Schmelzen und das Vernetzen der applizierten Pulverschicht zwei getrennte Prozeßschritte dar. Im Rahmen des Projektes wurde der Pulverklarlack mit einem IR-

Strahler geschmolzen und mit einem mikrowellenangeregten UV-Strahler anschließend im geschmolzenen Zustand vernetzt.

Die funktionellen und dekorativen Anforderungen an die Qualität der beschichteten Tapeten, insbesondere hinsichtlich Kalandrierfähigkeit, Glanz, Scheuerfestigkeit, Schwerentflammbarkeit und Chemikalienbeständigkeit, konnten bei der Verarbeitung des Pulverklarlackes mit der Magnetbürstentechnik mit der Technikumsanlage auch bei hohen Fördergeschwindigkeiten und niedriger Schichtdicke erfüllt werden.

Gegenüber der Schlußbeschichtung der untersuchten Tapeten mit Naßlackmaterial stellt die Magnetbürstentechnik mit IR/UV-Vernetzung des Pulverklarlackes eine wirtschaftlich vergleichbare Technik dar. Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen zu den beiden Verfahren zeigen, daß die spezifischen Beschichtungskosten in etwa gleich hoch sind. Dabei liegen die den Berechnungen zu Grunde liegenden Materialkosten für den Pulverklarlack geringfügig unterhalb den äquivalenten Naßklarlackkosten. Zukünftig wird durch die Senkung der Schichtdicke und der Verbrauchskosten für das Pulverklarlackmaterial eine weitere erhebliche Reduzierung der Produktionskosten erwartet.

Weitere Vorteile der Schlußbeschichtung mit Pulverklarlack sind der geringe Platzbedarf und die Reduzierung der physiologischen Arbeitsplatzbelastung. Die Salubra Tapeten GmbH plant daher die Neukonzeption der Beschichtungstechnik für die Wandbeläge mit der Realisierung einer Produktionsanlage mit Magnetbürstentechnik und IR/UV-Vernetzung des Pulverklarlackes.

## **1 Stand der Technik**

### **1.1 Stand der Technik zur Beschichtung von Wandbelägen**

Die funktionellen und insbesondere die dekorativen Eigenschaften hochwertiger Tapeten können durch Einschicht- bzw. Mehrschicht-Lackierung verbessert werden. Besonders hoch ist beispielsweise der verfahrenstechnische Aufwand bei der Beschichtung hochwertiger Tapeten (tekko-Produkte), einem Papierverbundmaterial, das vom Anwender derzeit im Walzenauftragsverfahren mehrschichtig (mit den zwischenliegenden Trocknungsgängen) lackiert wird. Abschließend erfolgt eine Prägung oder partielle Kaschierung mit einer beheizten Kalanderswalze.

Das Walzenauftragsverfahren ist ein an sich wirtschaftliches und rationelles Beschichtungsverfahren für flache Substrate. Bei der Applikation wird ein Auftragswirkungsgrad von nahezu 100% erreicht. Es fallen nur geringe Mengen an Lack- und Lösemittelabfällen, z.B. bei der Reinigung der Walze, an.

Während bei der Grundierung und bei der Basislackapplikation aus umwelttechnischen Gründen konventionelle lösemittelhaltige Systeme bereits durch wässrige Acrylat-Dispersionen ersetzt worden sind, erscheint die Substitution des lösemittelhaltigen Klarlacksystems durch einen wässrigen Klarlack weniger aussichtsreich. Funktionelle und dekorative Anforderungen an die Beschichtungsqualität können derzeit mit wässrigen Klarlacksystemen nicht erfüllt werden. Insbesondere bereiten Quellprozesse sowie damit verbundene Volumenveränderungen und Fleckenbildungen auf der Tapete bei der Trocknung der applizierten Naßlack-schicht Schwierigkeiten.

Gerade bei der Klarlackapplikation fallen aber aufgrund des geringen Festkörpergehaltes dieses lufttrocknenden Bindemittelsystems (16 Gewichts %), systembedingt ca. 6 t/a Lösemittellemissionen an; desweiteren fallen lösemittelhaltige Lackabfälle bei Wartungs- und Reinigungsarbeiten an (Abb.1).

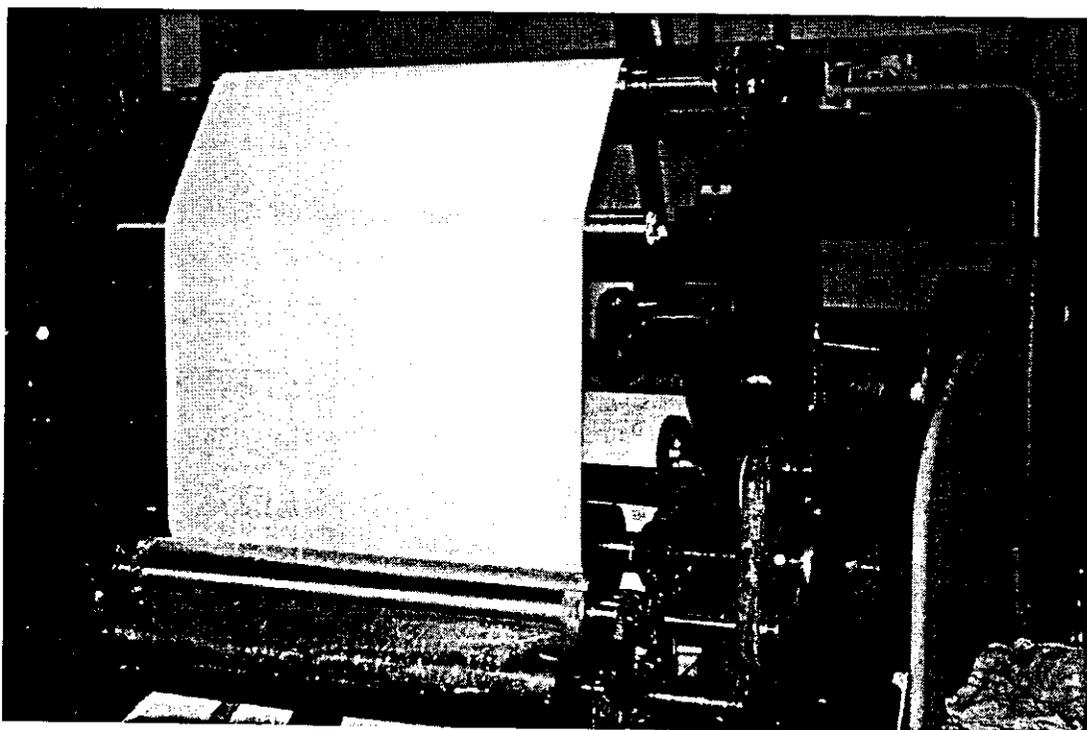


Abb.1: Applikation des konventionellen, lösemittelhaltigen Klarlacksystems (Stand der Technik: Einsatz eines Nitro-Kombilackes) im Walzenauftragsverfahren als Schlußlack nach dem Auftrag der Grundierung und der Basislacke

## 1.2 Weiterentwicklung des Stands der Technik durch dieses Projekt -Zielsetzung

In Hinsicht auf die Klarlackapplikation kommt als umweltfreundliche Alternative zu den herkömmlichen Naßbeschichtungsverfahren die lösemittelfreie elektrostatische Pulverbeschichtung in Frage. Über die Pulverlackierung von Tapeten-Papierverbundmaterialien liegen bisher noch keine produktionstechnischen Erfahrungen vor. Hemmnisse zur Anwendung der elektrostatischen Pulverlackiertechnik in diesem Bereich sind das Fehlen spezifisch geeigneter Applikationsverfahren, die geringe elektrische Leitfähigkeit des Tapeten-Papierverbundmaterials sowie die für dieses Substrat zu hohen Einbrenntemperaturen herkömmlicher Pulverlacksysteme (i.a.  $> 150^{\circ}\text{C}$ ).

Als Applikationsverfahren für flache, biegsame Substrate am aussichtsreichsten erscheint für die geforderten hohen Tapeten-Fördergeschwindigkeiten (derzeit bis

zu 1 m/s) und niedrigen Schichtdicken (derzeit ca. 5 µm Trockenschichtdicke) insbesondere die Magnetbürstentechnik, ein aus der Kopiertechnik stammendes Verfahren in Verbindung mit einem für diese Applikationstechnik geeigneten Pulverlackmaterial. Der Einsatz neuentwickelter UV-härtender Pulverlacke bietet die Aussicht, die Temperaturbelastung des Tapeten-Papierverbundmaterials stark abzusenken. Ein auf die Magnetbürstenapplikation "zugeschnittenes" Pulverlackmaterial bietet zudem die Möglichkeit, dünne Schichten aufzutragen. Hierzu liegen Erfahrungen aus dem Tonerbereich vor, bei dem in der Regel Schichtdicken < 10 µm aufgetragen werden.

Ziel der im Rahmen des ABAG-Projektarbeitsteams durchzuführenden Untersuchungen ist es, die Realisierbarkeitschancen des Magnetbürstenverfahrens in Verbindung mit geeigneten Pulverlackmaterialien und Härtungsverfahren hinsichtlich der Tapetenbeschichtung zu beurteilen und die erzielbare Qualität, Wirtschaftlichkeit und Umweltbelastung mit dem bisherigen Naßlackierprozeß zu vergleichen. Für die Pulverlackierung ausgewählter tekko-Produkte sind die materialspezifischen sowie die anlagen- und prozesstechnischen Voraussetzungen zu definieren, die bezüglich der funktionellen und dekorativen Beschichtungsergebnisse den Anforderungen des Anwenders entsprechen. Von den Teampartnern sind folgende Aufgaben durchzuführen:

#### **ABAG**

- Fachtechnische Beschreibung des Teilprojektes,
- Koordination und Erstellung des Pflichtenheftes.

#### **Anwender**

- Auswahl der Substratmaterialien,
- Definition der Qualitätsanforderungen,
- begleitende Personaltätigkeit während der Versuchsdurchführung,
- Qualitätsprüfung an den Versuchsmaterialien,
- Präge- und Kalandrierversuche sowie
- Qualitätsprüfung und Beurteilung.

### **Pulverlackhersteller**

- Pulverlackentwicklung entsprechend den Anforderungen der Salubra Tapeten GmbH (Elastizität, Lichteuchtigkeit, Scheuerfestigkeit, Kalandrierfähigkeit etc.),
- Rezeptoptimierung (Schmelz- und Reaktionsverhalten, Verlauf, etc.),
- Bereitstellung und ggf. Modifikation des Lackmaterials für Applikationsversuche mit dem Magnetbürstenverfahren und für Vernetzungsversuche (thermisch bzw. mittels UV-Strahlung) sowie
- Qualitätsprüfungen.

### **Gerätehersteller**

- Versuchsdurchführungen mit dem Magnetbürstenverfahren,
- Technische Weiterentwicklung des Magnetbürstenverfahrens sowie
- Optimierung der Applikations- und Härtingparameter.

### **Fraunhofer IPA**

- Planung der Versuchsdurchführung,
- begleitende Personaltätigkeit während der Versuchsdurchführung,
- prozeßtechnische Beurteilung der Versuchsergebnisse sowie die
- Dokumentation der Ergebnisse.

## **2 Kurzbeschreibung des Anwenders (Teilprojekträger)**

Die Salubra Tapeten GmbH besteht seit 1900. In ihrem Werk in Grenzach werden Papiertapeten, Vinyltapeten und Stiltapeten (tekko-Produkte) aus einem Papierverbundmaterial hergestellt. Jährlich werden 220.000 m<sup>2</sup> hochwertige tekko-Produkte mit einem hohen Exportanteil gefertigt. Die Designs bestehen z.T. bereits seit 1901. Die Salubra Tapeten GmbH möchte nach Einführung einer neuen Kollektion die Produktion auf 250.000 m<sup>2</sup>/Jahr - 350.000 m<sup>2</sup>/Jahr ausweiten.

Die Mitarbeiteranzahl der Salubra Tapeten GmbH beträgt derzeit 72 feste Mitarbeiter.

### **3 Zustand der Lackiererei**

#### **3.1 IST-Zustand**

Die Schlußlackierung bei der Beschichtung von hochwertigen tekko-Produkten erfolgt mit einem lufttrocknenden lösemittelhaltigen Nitro-Kombilack, der mit einer Tapeten-Fördergeschwindigkeit von 0,5 m/s-1 m/s im Walzenauftragsverfahren mit einer Trockenschichtdicke von ca. 5 µm appliziert wird. Bei einem Jahresverbrauch von 7 t Naßlack mit einem Festkörpergehalt von 16 Gewichts-% entstehen 5,9 t Lösemittlemissionen sowie zusätzlich geringe Mengen an Lack- und Lösemittelabfall beim Reinigen der Anlage.

Abschließend erfolgt eine Prägung oder partielle Kaschierung mit einer beheizten Kalandерwalze.

#### **3.1 Geplanter SOLL-Zustand**

Die Salubra Tapeten GmbH möchte zukünftig aus umwelt- und sicherheitstechnischen Gründen die konventionelle Naßklarlackbeschichtung durch eine lösemittelfreie elektrostatische Pulverlackierung ersetzen, mit dem Ziel, die hochwertigen tekko-Produkte mit einer neuartigen Beschichtung herzustellen und weltweit zu vertreiben.

Darüberhinaus besitzt das neue Beschichtungskonzept das Potential, qualitativ hochwertigere Produkte zu entwickeln und zukünftig produzieren zu können.

### **4 Durchgeführte Untersuchungen und Ergebnisse**

#### **4.1 Funktionsweise der Magnetbürstenapplikation**

Die beim speziellen Anwendungsfall geforderten hohen Prozessgeschwindigkeiten (bis zu 1 m/s) und geringen Schichtdicken (< 10 µm) lassen sich beim derzei-

tigen Stand der Technik mit den bekannten elektrostatischen Pulverbeschichtungsverfahren für Flachteile voraussichtlich kurz- bis mittelfristig nicht, bzw. nicht mit technisch vertretbarem Aufwand realisieren.

Als Applikationsverfahren am aussichtsreichsten erscheint die Magnetbürstentechnik, ein an die Kopiertechnik anlehndes Verfahren. Statt thermoplastischen Tonerpulvern kann damit beispielsweise ein thermisch härtendes bzw. UV-härtendes tonerähnliches Pulverlackmaterial (Medianwert der Partikelgröße im Bereich zwischen 10  $\mu\text{m}$  und 15  $\mu\text{m}$ ) appliziert werden.

Für die im Gegensatz zur Kopiertechnik vollflächige Komplettbeschichtung ergibt sich eine relativ einfache Funktionsweise der Magnetbürstenapplikation (Abb.2). Pulverlackteilchen werden durch intensives Mischen (in einer geeigneten Mischvorrichtung) mit Trägerteilchen (Carrier) triboelektrisch aufgeladen und in den Bereich feststehender Magneten transportiert. Im Bereich der Magneten ordnen sie sich entlang der Feldlinien an und bilden eine sogenannte Magnetbürste.

Die Länge der „Bürstenhaare“ wird durch einen Abstreifer definiert. Im Bereich der Magnetpole überlagert sich die lineare Bewegung der mit Pulverlack umhüllten Carrierteilchen mit einem beschleunigten Durchgang durch die Feldlinien, verbunden mit einem Umklappen der „Bürstenhaare“ und erzeugt so einen kräftigen Bürsteneffekt an der Oberfläche der Tapete. Sobald die mit Pulverlack umhüllten Carrierteilchen den Bereich der Magnetbürste verlassen, werden sie wieder zu einem frei fließenden Pulver. Die Carrierteilchen werden von der Magnetkraft gegen die Schwerkraft und die Zentrifugalkraft gehalten. Auf die Pulverlackteilchen wirken Kräfte in zwei Richtungen. Sie werden elektrostatisch von den Carrierteilchen festgehalten, solange nicht die elektrostatische Kraft in Richtung Werkstück (Abb.2; negativ aufgeladene Transportwalze) und die Zentrifugalkraft überwiegen. Je nach Größe der resultierenden Kraft wird ein größerer oder kleinerer Anteil der Pulverlackteilchen auf dem Substrat abgeschieden. Die elektrostatische Kraft in Richtung Werkstück darf aber nicht so groß sein, daß die Carrierteilchen mitabgeschieden werden.

Um eine Verringerung der Konzentration an Pulverlack im Pulverlack/Carrier-Gemisch zu vermeiden muß die abgeschiedene Pulverlackmenge durch Zudosierung frischen Pulverlackes konstant gehalten werden.

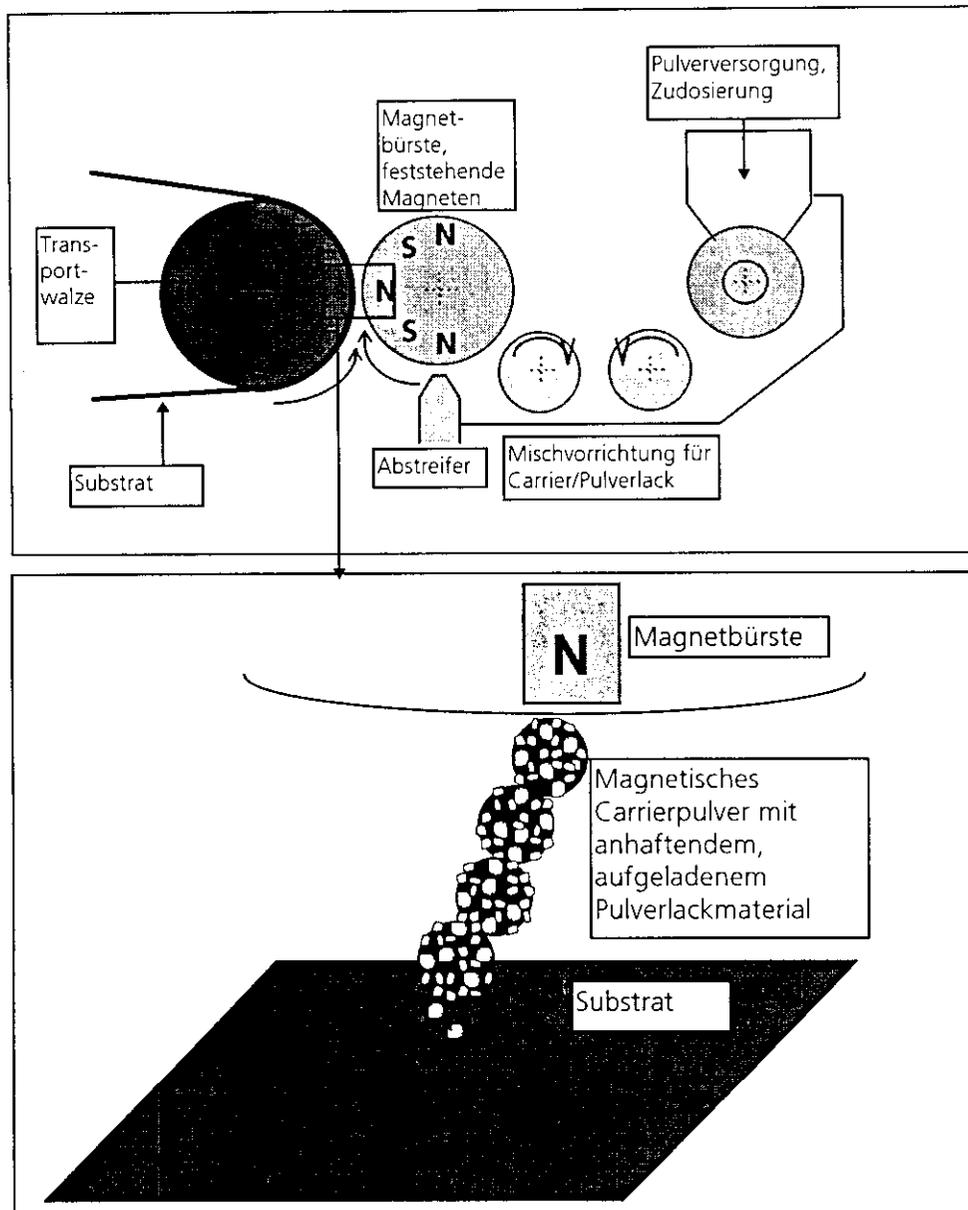


Abb.2: Prinzipskizze der Funktionsweise der Magnetbürstenapplikation  
(unten: vergrößerter Ausschnitt des Applikationsbereiches)

## 4.2 Versuchsaufbau

### 4.2.1 Laborversuchsanlage

Die Vorversuche der Applikationstests werden zunächst auf einer bestehenden Laborversuchsanlage, einer 80 mm-Magnetbürste, durchgeführt (Abb.3). Mit dieser Laborversuchsanlage lassen sich keine durchlaufenden Beschichtungen von Tapetenmusterteilen realisieren, sondern nur kleine Tapetenmusterteile (200 mm \* 70 mm) beschichten. Anschließend wird (off-line) in einer Laborversuchsanlage mit mittelwelliger Infrarotstrahlung die Lackschicht aufgeschmolzen und mit dem UV-Strahler die Härtingsreaktion eingeleitet.



Abb.3: Magnetbürste Laborversuchsanlage (Quelle: EPPING GmbH, PES-Laboratorium, Michael Huber München GmbH)

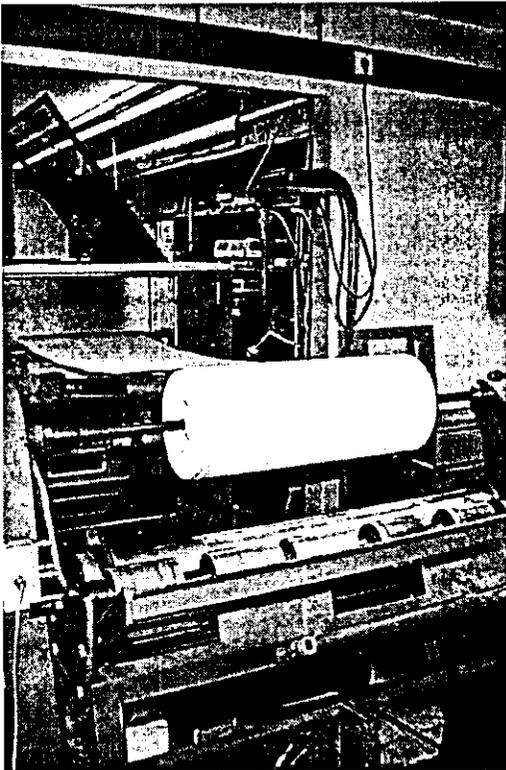
rechts: Magnetbürste aus magnetischem Carrierpulver und (durch triboelektrische Aufladung) anhaftendem Pulverklarlackmaterial, das sich um die Magnetwalze anordnet

links: auf ein negatives Potential gesetzte Aluminiumwalze; positiv geladene Pulverklarlackpartikel werden auf dem anliegenden Tapetenmusterteil abgeschieden

#### 4.2.2 Großversuchsanlage

Ein wesentlicher Inhalt des Projektes ist die Konstruktion einer produktionsähnlich ausgelegten Magnetbürstenapplikationsanlage (Abb.4; Abb.5) in Verbindung mit einer entsprechend darauf ausgelegten und angepaßten Schmelz- und Här- tungsstation (Abb.6).

Für die Magnetbürstenapplikation wird ein handelsüblich zum Bedrucken von Endlos-Papier verwendeter, elektrofotografisch applizierender Hochgeschwindig- keitsdrucker umgebaut und den verfahrenstechnischen Besonderheiten der vollflä- chigen Magnetbürstenapplikation angepaßt. Die Steuerung der Anlage wird für den Handbetrieb umgestaltet.



Mit der neuentwickelten Magnetbürste werden Applikationsversuche mit Tape- tenbahnen von 500 mm Breite durchge- führt die durchlaufend beschichtet wer- den. Der Transport der Tapete geschieht über eine Aufwickleinheit (Abb.4). Es werden beschichtete Tapetenmusterteile (1500 \* 500 [mm]) erzeugt, die anschlie- ßend in einer hierfür geeigneten Ver- suchsanlage (Schmelzen der Pulverlack- schicht mit NIR, Vernetzen mit mikro- wellenangeregten UV-Strahlern, Abb.6) ausgehärtet werden.

Abb.4: Aufbau der Großversuchsanlage; die Tapete wird mit der Aufroll- und Abwickelvorrichtung mit hoher Prozessgeschwindigkeit (bis 0,8 m/s) durch die Magnetbürstenentwicklungsstation gefördert, wo der Auftrag des Pulverklarlackes erfolgt

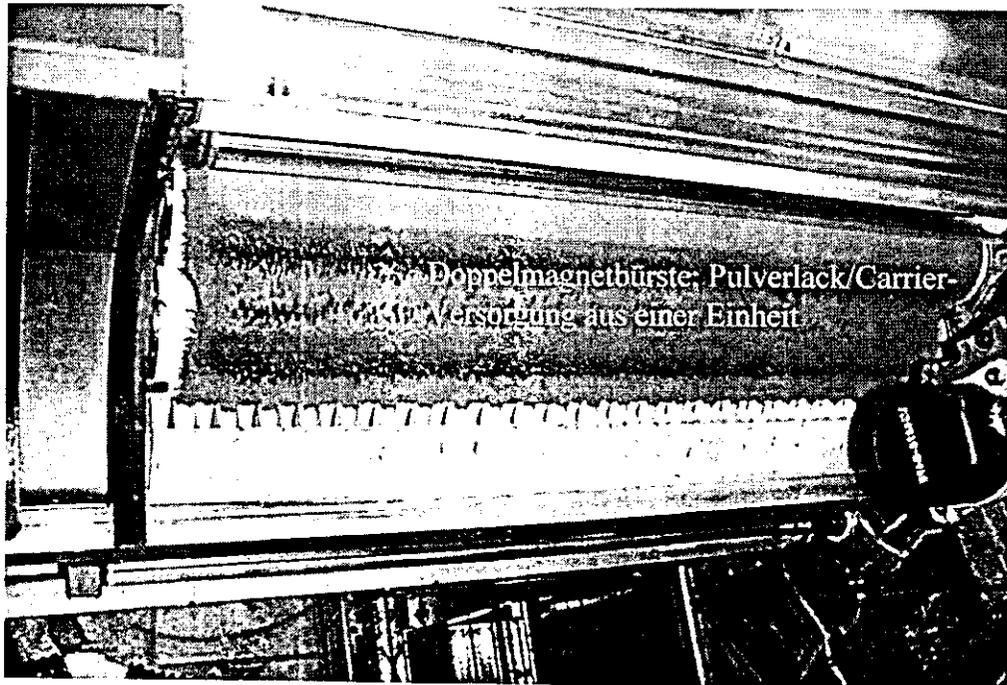


Abb.5: „Innenleben der Magnetbürstenentwicklungsstation“ der 500 mm-Walze; die Applikation erfolgt über eine Doppelmagnetbürste (2 gleichlaufende Magnetbürsten, dazu Tapetentransport in gegenläufiger Richtung) mit hoher Schichtdickenkonstanz

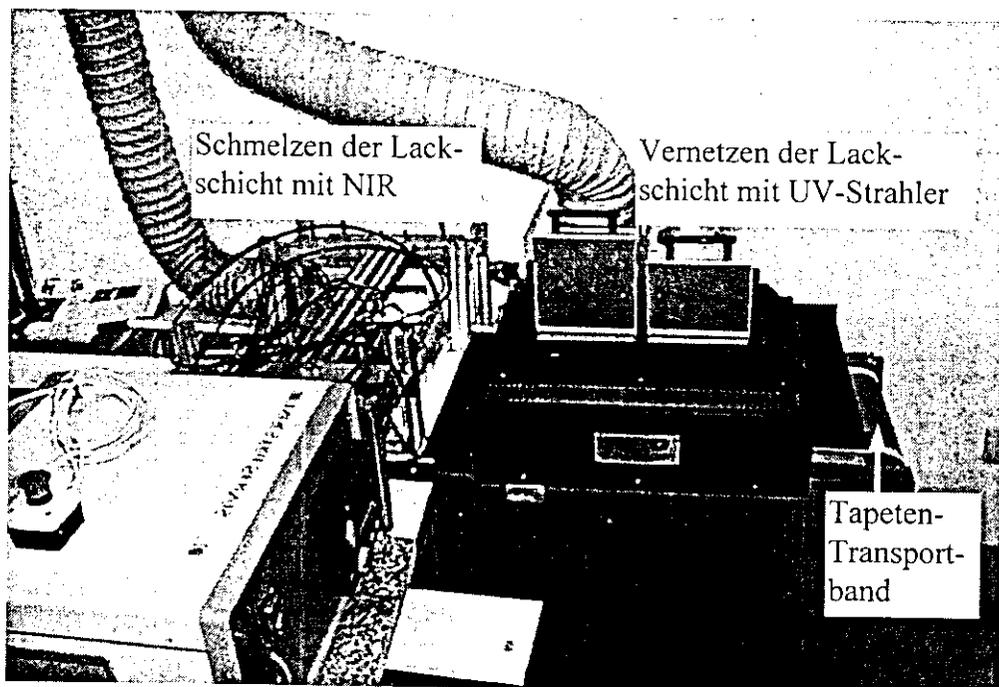


Abb.6: Schmelzen der Lackschicht mit nahem Infrarot (Fa. Industrieservis) und Härten der geschmolzenen Lackschicht mit mikrowellenangeregtem UV-Strahler (Fa. Fusion).

### 4.3 Eingesetzter Pulverlack und Carrier

Das eingesetzte Pulverlackmaterial wird mit einer aus dem Tonerbereich üblichen Partikelgrößenverteilung gemahlen und den spezifischen Anforderungen an die Beschichtungsqualität angepaßt (Abb. 7).

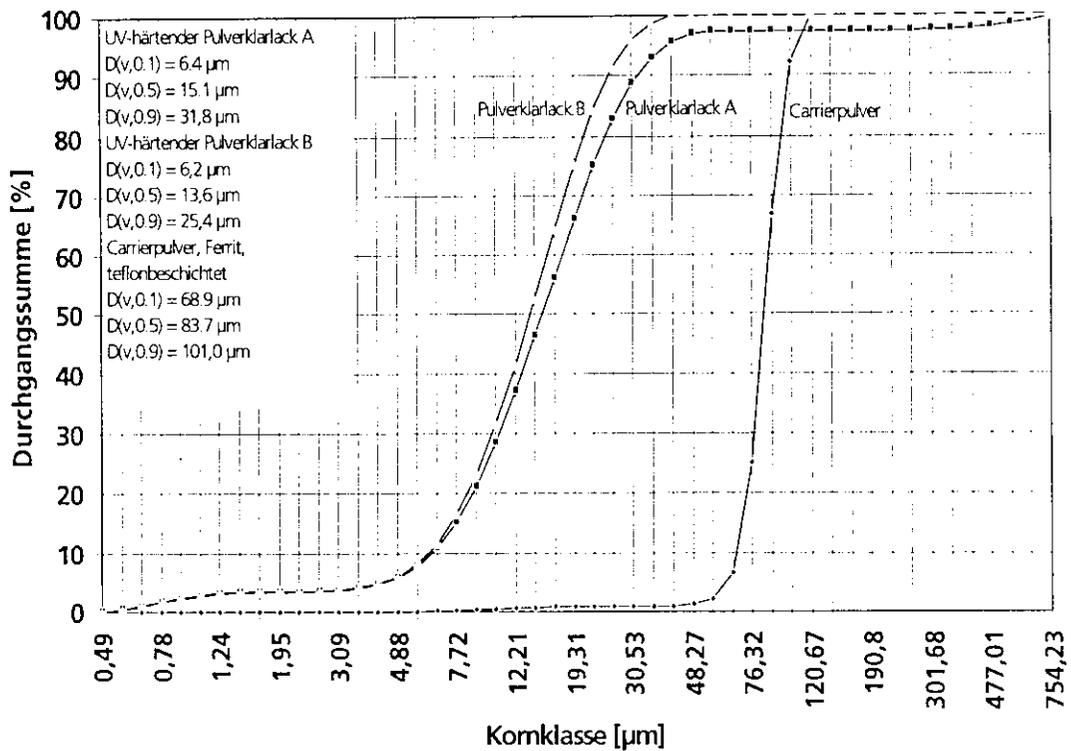


Abb.7.: Partikelgrößenverteilung der eingesetzten UV-härtenden Pulverlacke und der Trägerteilchen (Carrier Ferrit, teflonbeschichtet)

Als Pulverlackmaterial wird ein UV-härtendes Polyesterpulver (Bindemittelhersteller: DSM Resins) eingesetzt. Der Einsatz des neuentwickelten Bindemittelsystems bietet die Aussicht, die Temperaturbelastung des temperaturempfindlichen Tapeten-Papierverbundmaterials stark abzusenken. Anders als bei handelsüblichen thermisch vernetzenden Pulverlacken stellen beim UV-härtenden Pulverlack Schmelzen und Vernetzen zwei getrennte Prozeßschritte dar; die Schmelztemperatur kann daher niedrig gehalten werden. Aus den kurzen Prozesszeiten sowohl beim Schmelzen (NIR) als auch beim Vernetzen (UV) des Pulverlackes resultiert eine "kompakte" Anlagentechnik mit geringem Platzbedarf.

Da in Vorversuchen festgestellt wurde, daß mit Pulverklarlack A (Abb. 7) eine geschlossene Schicht im Bereich unterhalb 10  $\mu\text{m}$  nicht erreichbar ist, wird für weitere Versuchsdurchführungen mit einem Pulverklarlackmaterial feinerer Mahlung (Pulverklarlack B) gearbeitet.

Als Trägerteilchen (Carrier) wird Ferrit (teflonbeschichtet,  $D(v,0.5)=83,7 \mu\text{m}$ ) für die positive Aufladung des Pulverklarlackmaterials verwendet.

Die Partikelgrößenverteilung wird mit einem laseroptischen Meßverfahren (Laserbeugung an naßdispergierten Pulverpartikeln) bestimmt und im Laufe der Versuchsreihen ständig überprüft (Abb.7).

#### 4.4 Festlegung der Versuchsmatrix

Anhand einiger Vorversuche wird die Versuchsmatrix (konstante und variable Versuchsparameter, wesentliche Einflußgrößen, Bandbreite) festgelegt. Wesentliche Einflußgrößen wie

- der Abstand der Magnetbürste zum Substrat,
- die Geschwindigkeit der Magnetwalze,
- der Rakelabstand,
- der Magnetbürstenwinkel,
- die Tapetendurchlaufgeschwindigkeit (0,5 m/s -1 m/s),
- das Entwicklungspotential (-500 V bis -1000 V),
- pulverklarlackspezifische Kenndaten wie
  - die Partikelgrößenverteilung ( $D(v,0.5)=13,6 \mu\text{m}$  und  $15,1 \mu\text{m}$ ),
  - die Pulverklarlackkonzentration im Pulverlack/Carrier-Gemisch (3-12 [Gew.%]) sowie die damit verbundene
  - spezifische Ladung des Pulverklarlackes ( $2 \mu\text{C/g}$ - $11 \mu\text{C/g}$ ),
- die Schmelz- und Härtingsbedingungen (Temperatur, Strahlerleistung, Wellenlängenspektrum)

werden in den Versuchsdurchführungen für die Applikation des Tapeten-Papierverbundmaterials berücksichtigt.

#### **4.5 Optimierung der Beschichtungsqualität**

Durch Parametervariation der wesentlichen Einflußgrößen (s. Kap. 4.4) wird die Applikation hinsichtlich der geforderten Schichtdicke sowie der Schichtdickenverteilung optimiert. Gefordert ist eine mit der heutigen Produktion vergleichbare geringe Schichtdicke (ca. 5  $\mu\text{m}$ ) und möglichst geringe Schichtdickenschwankungen sowie eine vergleichbare hohe Prozeßgeschwindigkeit (bis zu 1 m/s).

Schichtdicke und Schichtdickenverteilung der applizierten Pulverklarlackschicht werden durch Differenzwägung von definierten Tapetenteilstücken vom gesamten Bereich der Tapetenbahn vor und nach der Applikation über die Dichte des Lackmaterials bestimmt. Mit der Labor-Magnetwalze wird auf Tapetenstücke von 200 mm\* 70 mm appliziert, mit der Technikumswalze werden 500 mm breite Tapetenmusterrollen durchlaufend beschichtet und Tapetenbahnen von 1500 mm\* 500 mm für Schmelz- und Härtingsversuche vorbereitet.

Anschließend werden (off-line) die Schmelz- und Härtingsbedingungen hinsichtlich Glanz, Scheuerfestigkeit, Chemikalienbeständigkeit und Kalandrierbarkeit optimiert. Die Schichtgeschlossenheit wird während der Applikationsversuche vor und nach dem Aushärten der applizierten Pulverklarlackschicht visuell überprüft.

Regelmäßig wird die Konzentration an Pulverklarlack im Pulverlack/Carrier-Gemisch sowie die spezifische Ladung des Pulverklarlacks mit dem q/m-Meßgerät überwacht (siehe Abb.8).

Hierzu wird in die elektrisch isolierte Meßzelle eine Probe an Pulverlack/Carrier-Gemisch eingewogen. Durch das untere Sieb am Boden kann weder der feinere Pulverlack noch das gröbere Carrierpulver entweichen. Beim Absaugen durch das

obere grobmaschigere Sieb wird das Carrierpulver zurückgehalten und der Pulverlack entfernt.

Mit dem Elektrometer wird das Potential gemessen. Anschließend wird die in der Meßzelle verbleibende Carriermenge abgewogen und die Konzentration an Pulverlack im Pulverlack/Carrier-Gemisch sowie die spezifische Ladung [ $\mu\text{C/g}$ ] berechnet.

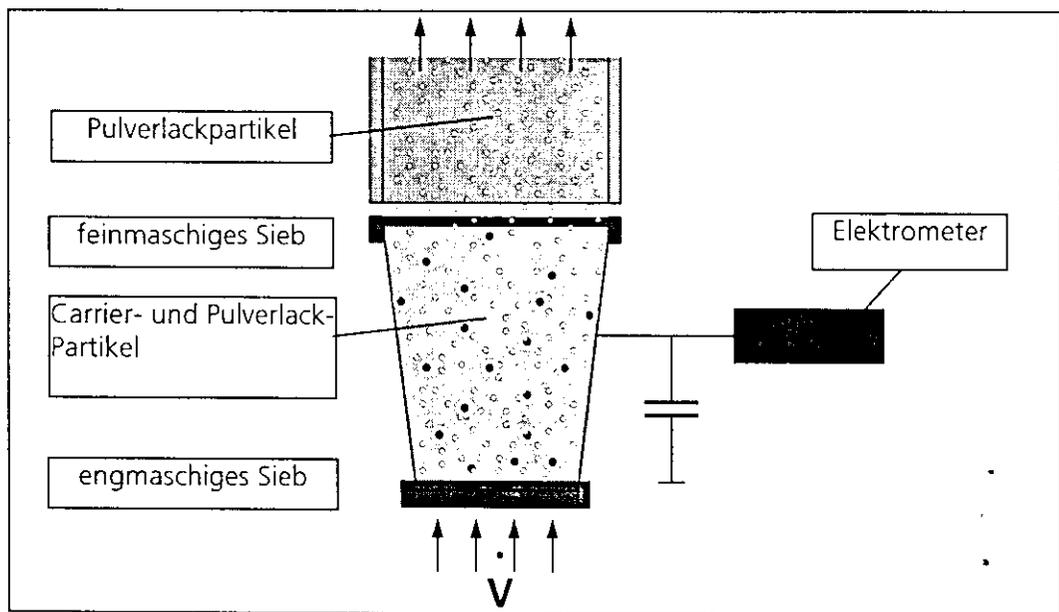


Abb.8: Funktionsprinzip des q/m-Meßgerätes zur Bestimmung der spezifischen Aufladung des eingesetzten Pulverlackmaterials [ $\mu\text{C/g}$ ] sowie zur Bestimmung der Konzentration an Pulverlack im Pulverlack/Carrier-Gemisch

## 4.6 Auswertungen

### 4.6.1 Magnetbürstenapplikation

Reproduzierbare, geringe Schichtdicken und geringe Schichtdickenschwankungen werden im wesentlichen durch die Optimierung der elektrischen Aufladung der Tapeten-Trägerwalze sowie durch optimale Konzentration an Pulverlack im Pulverlack/Carrier-Gemisch erzielt. Bei optimierten Applikationsparametern werden mittlere Schichtdicken von 7-8  $\mu\text{m}$  bzw. mittlere Schichtdicken von ca. 5  $\mu\text{m}$  mit sehr geringen Schichtdickenschwankungen im wesentlichen bei zwei produk-

tionsähnlichen Prozeßgeschwindigkeiten (0,5 und 0,8 [m/s]) erreicht. Mit der neu aufgebauten Magnetbürstenentwicklungsstation wird die Schichtdickengleichmäßigkeit bei produktionsähnlichen Bedingungen (im Vergleich zu den Versuchen mit der kleinen Laborwalze) über größere Tapetenmustersuchsteile (1500 \* 500 statt bisher 200 \* 70 [mm]) erheblich verbessert (Abb.9).

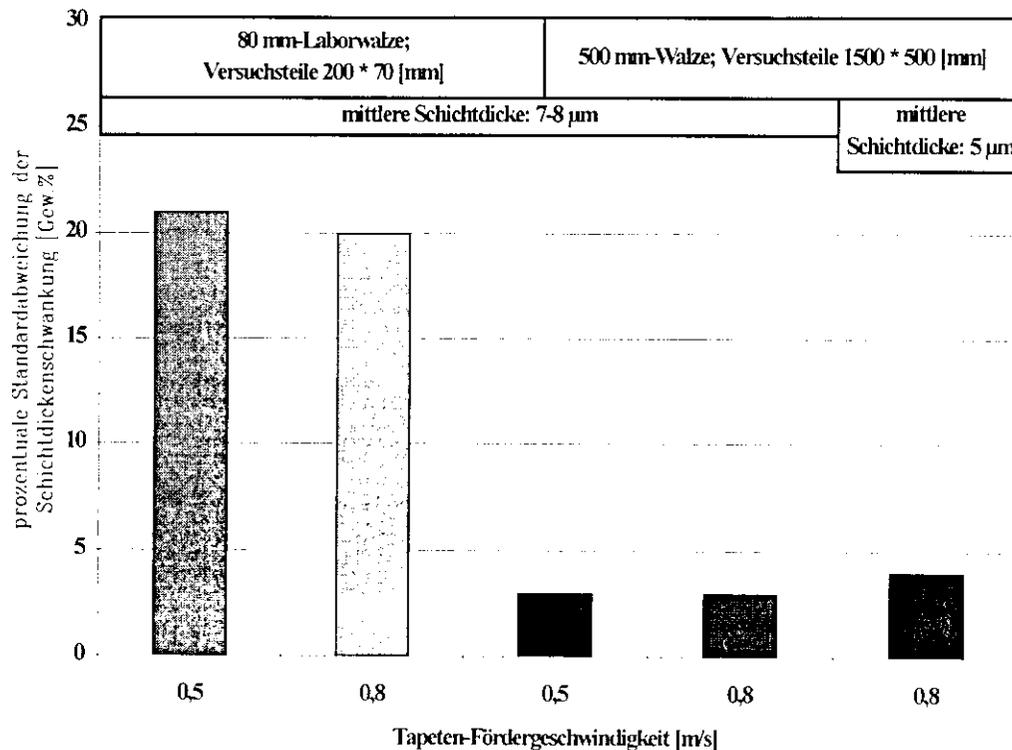


Abb.9: Schichtdickenschwankungen auf den Tapetenmuster-Versuchsteilen bei optimierten Applikationsparametern, die mit der 80-mm-Laborwalze sowie mit der Großversuchsanlage (500 mm-Walze) appliziert wurden

#### 4.6.2 Schmelzen und Härten der applizierten Lackschicht

Nach der Optimierung der Schmelz- und Härtingsbedingungen, insbesondere hinsichtlich

- der Dimensionierungen,
- der Leistungen und der
- Positionierung

der IR- und UV-Strahler werden die Anforderungen des Anwenders an die Kalandrierfähigkeit und an die Scheuerfestigkeit (bei der Schichtdicke von 7-8  $\mu\text{m}$ ) sowie an die Lichtechtheit und Schwerentflammbarkeit B1 bei ausreichendem Glanzgrad (bei einer Tapeten-Fördergeschwindigkeit von 0,25 m/s) erfüllt.

Hinsichtlich der Chemikalienbeständigkeit (nach DIN 53 122) werden mit der applizierten Pulverklarlackschicht praktisch identische Werte wie mit dem konventionellen lösemittelhaltigen System erzielt.

Daß bei optimierten Applikations-, Schmelz- und Härtingsbedingungen eine geschlossene Pulverklarlackschicht auf dem Substrat erzeugt wird, kann durch das Erfüllen der Anforderungen an die funktionellen Eigenschaften der Lackschicht (Chemikalienbeständigkeit, Kalandrierfähigkeit, Scheuerfestigkeit) angenommen werden. Zusätzlich läßt sich die Oberflächenqualität der Beschichtung durch eine Aufnahme mit dem Rasterelektronenmikroskop visuell bewerten (Abb.10.1 bis 10.3). Bei einer Trockenschichtdicke von 7-8  $\mu\text{m}$  sind keine offenen Stellen oder Poren in der Lackschicht zu erkennen.

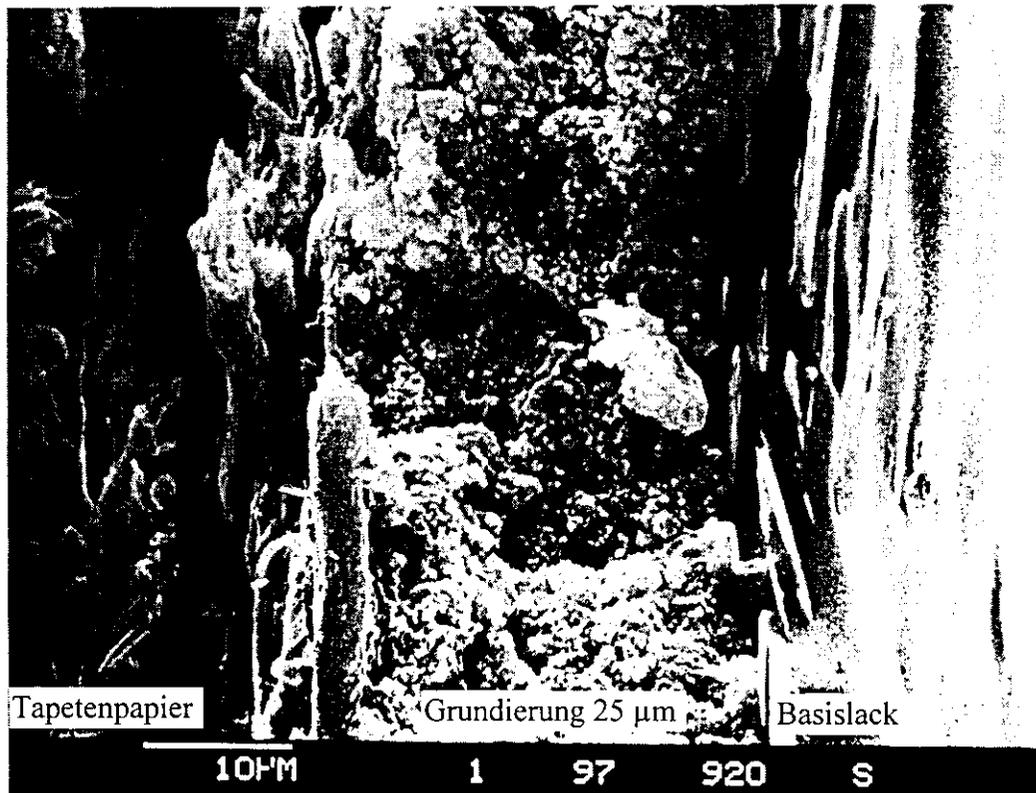


Abb. 10.1: ohne Schlußlack (Klarlack) 2000-fache Vergrößerung

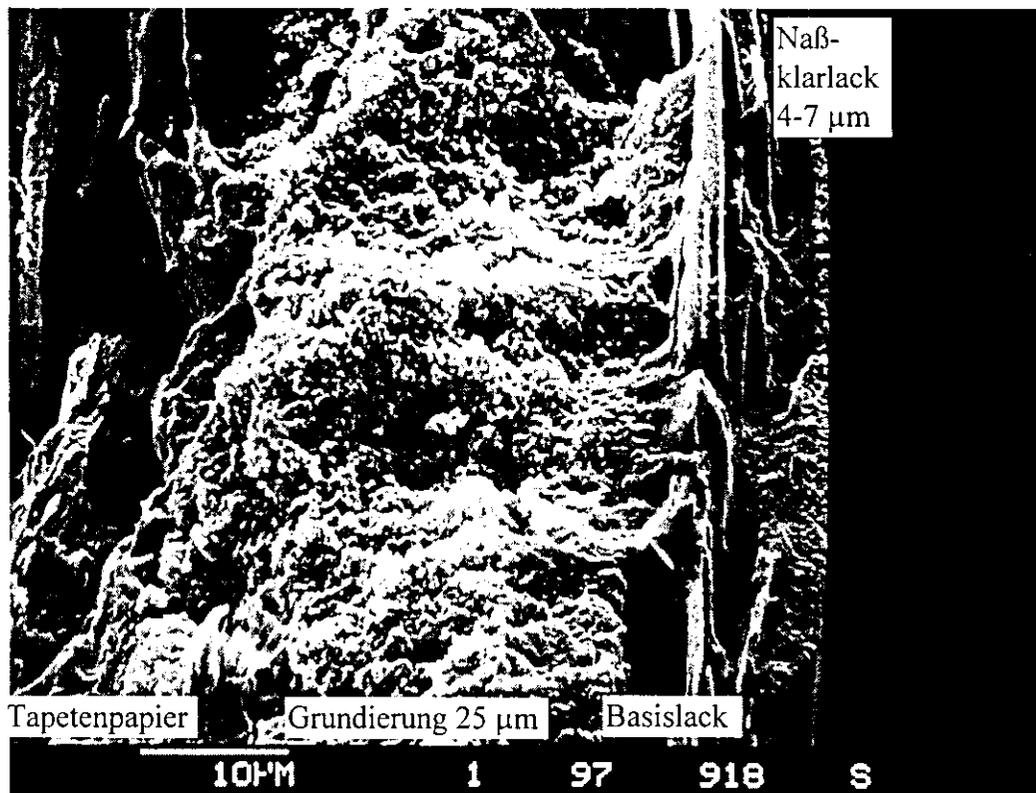


Abb. 10.2: mit Schlußlack (Naßklarlack, Produktion) 2000-fache Vergrößerung

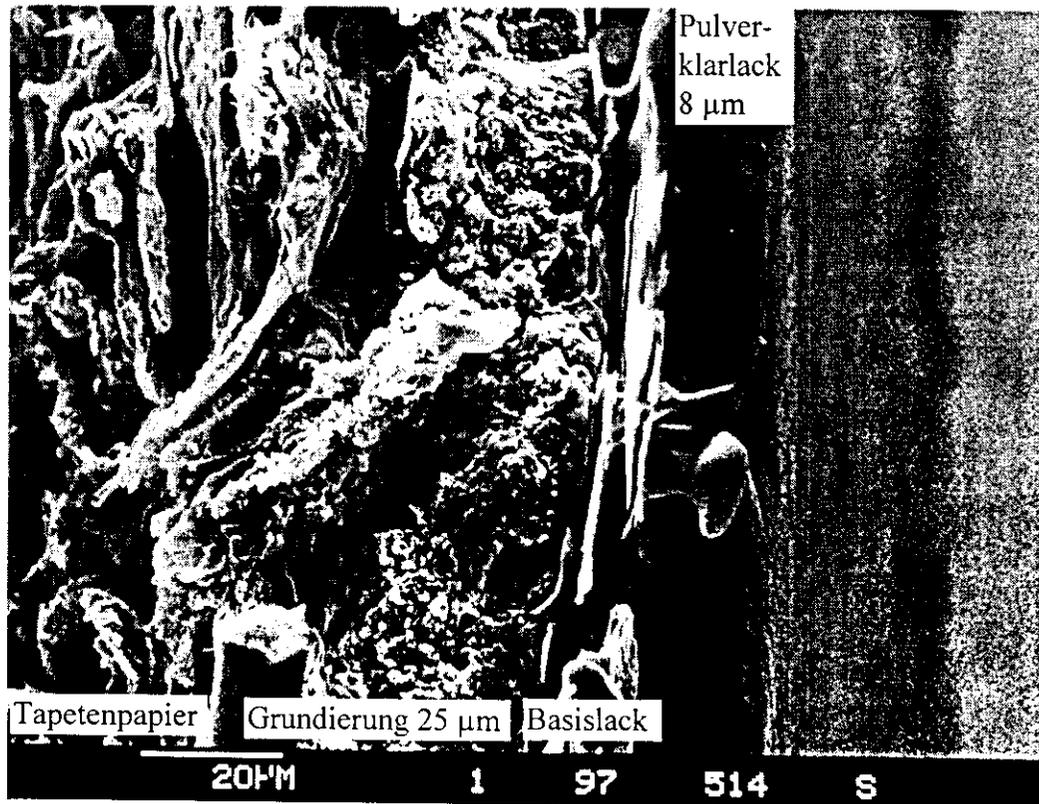


Abb. 10.3: mit Schlußlack (Pulverklarlack, Laborversuch) 1000-fache Vergrößerung

## 5 Umweltrelevanter Vergleich der Pulverlackierung mit der heutigen Naßlackierung

Lösemittlemissionen entfallen bei einer Pulverbeschichtung gänzlich, während bei einer Beschichtung mit dem derzeit eingesetzten Nitro/Kombilack beim Jahresverbrauch von 7 t Naßlack (Festkörpergehalt 16 Gewichts-%) 5,9 t Lösemittlemissionen bei diesem Anwendungsfall anfallen. Zusätzlich fallen noch geringe Mengen Lösemittel- bzw. Lackabfälle beim Reinigen der Walze an, während bei der Pulverlackierung mit der Magnetbürstenbeschichtungsanlage kein Pulverlackabfall anfällt (Abb.11).

Ausserdem müssen bei der Pulverlackierung keine besonderen sicherheitstechnischen Maßnahmen zur Einhaltung der Explosionsschutzrichtlinien (z.B. Absaugung, explosionsgeschützte elektrische Vorrichtungen u.s.w.) bei der Verarbeitung und Lagerung des Lackmaterials berücksichtigt werden. Die Gefahr von nachträg-

lichen Lösemittelausdunstungen (z.B. durch Lösemittelleinschlüsse beim Trocknen des Lacksystems) aus der Tapete (beim Endverbraucher) besteht nicht.

<b>Umweltbelastung</b>	<b>IST-Zustand: Naßlackierung</b> Walzenauftragsverfahren, anschließend Lufttrocknung der Naßlackschicht	<b>SOLL-Zustand: Pulverlackierung</b> Magnetbürstenapplikation, anschließend Schmelzen und UV-Härten der Pulverlackschicht
Lösemittlemissionen beim Anwender	gesamte Lösemittelanteile des verarbeiteten Nitro-Kombilackes (84 Gew.%)	-
Emissionen beim Endverbraucher	evtl. Geruchsproblematik	-
Lack- und Lösemittelabfall	ca. 5% der eingesetzten Lacke und Lösemittel	-
Pulverklarlackabfälle, Carrierabfälle	-	evtl. geringe Mengen bei Reinigungs- und Wartungsarbeiten möglich

Abb.11: Vergleich der Umweltbelastung zwischen Pulver- und Naßlackierung

## 6 Kostenbetrachtungen

Anhand der im Technikumsmaßstab unter produktionsähnlichen Bedingungen getesteten Betrieb der Magnetbürstenapplikation wurden die Produktionskosten für die Beschichtung der Wandbeläge unter Berücksichtigung der Materialverbrauchs-kosten, Investitions- und Energiekosten, Personal- und Instandhaltungskosten in einer ersten Näherung abgeschätzt. Um die Naß- und Pulverbeschichtungstechnik für Wandbeläge bezüglich der Kosten objektiv miteinander vergleichen zu können, wird beim IST-Zustand von einer modernen Walzenauftrags-Beschichtungsanlage ausgegangen. Als Tapeten-Fördergeschwindigkeit wird 1m/s für die Kostenkalkulation zugrundegelegt. Die erforderlichen Investitionskosten für die Realisierung der neuen Klarlack-Beschichtungsstation mit Naßlack

(Referenzverfahren) bzw. mit der Magnetbürstentechnik (SOLL-Zusatand) sind den Abschätzungen zufolge in etwa gleich hoch. Der Vergleich der Lackierkosten weist keinen signifikanten Unterschied auf (s. Abb. 12).

<b>Kosten/Jahr</b>	<b>Referenzverfahren: Naßlackierung</b> Moderne Walzenauftragstechnik incl. Trocknung der Naßlackschicht mit beheizten Walzen	<b>SOLL-Zustand: Pulverlackierung</b> Magnetbürstenapplikation incl. Schmelzen und UV-Härten der Pulverlackschicht
Materialkosten [TDM/a]	115	111
Personalkosten [TDM/a]	10	10
Energiekosten [TDM/a]	3	6
Instandhaltungskosten [TDM/a]	15	14
Betriebskosten [TDM/a]	143	141
Lackierkosten [DM/m <sup>2</sup> Tapete]	0,64	0,62

Abb.12: Kostenvergleich des Referenz-Zustandes (Nitrokombi-Naßklarlackapplikation im Walzenauftragsverfahren) mit dem SOLL-Zustand (Applikation von UV-härtendem Pulverklarlack im Magnetbürsten-Beschichtungsverfahren)

Bei der Beschichtung mit dem Magnetbürstenprinzip können noch Potentiale zur Reduzierung der Lackierkosten erschlossen werden. Dies betrifft beispielsweise folgende Aspekte:

Die Untersuchungsergebnisse lassen eine in technischer Sicht erreichbare Senkung der derzeit bei der Pulverlackierung erforderlichen Mindestschichtdicke zur Erreichung der dekorativen und funktionellen Anforderungen an die Lackschicht von 7 µm auf 5 µm erwarten. Die Schichtdicke von 5 µm würde damit der Trockenschichtdicke des eingesetzten Naßlackmaterials entsprechen und zu erheblicher Kostenreduzierung beim Materialverbrauch führen. Weitere Lackmaterialkosteneinsparungen sind zukünftig prinzipiell denkbar, wenn die zur Anwendung kommenden Pulverlacktypen weiter verbreitet sind und damit die Produktions-

mengen steigen und die Produktionskosten sowie Verkaufspreise sinken. Ferner kann die Reduzierung der maximalen Tapeten-Fördergeschwindigkeit in Verbindung mit einem entsprechend getakteten Fertigungsablauf zu einer Verringerung der Investitionskosten für die Magnetbürsten-Beschichtungsstation führen.

## **7 Ausblick - Weiteres Vorgehen**

Für die kurz- bis mittelfristig geplante Umsetzung der Untersuchungs- und Versuchsergebnisse der Magnetbürstenapplikation in den Produktionsmaßstab müssen noch einige Fragen im Bereich der Produktionstechnik geklärt werden wie z.B.:

- Projektierung und Auslegung / Dimensionierung der Anlage (abhängig von der maximalen Tapeten-Fördergeschwindigkeit)
- Integration der Produktionsanlage in den Fertigungsprozess,
- Erstellung des Lastenhefts, Einholung und Bewertung der Angebote in Verbindung mit der Kalkulation der Kosten für den Aufbau und den Betrieb der geplanten Produktionsanlage in Abhängigkeit von der Anlagendimensionierung,
- Systemabstimmung der Anlagenkomponenten, bestehend aus
  - Magnetbürstenapplikationstechnik,
  - Fördertechnik,
  - IR-Schmelzstation und
  - UV-Härtungsstation
- Optimierung der Lackfilmqualität unter Produktionsverhältnissen sowie
- Bewertung der Prozeßsicherheit im Produktionsbetrieb.

Des weiteren werden Untersuchungen über die Einsatzmöglichkeiten und Grenzen farbiger 1- und 2-schichtiger Schichtaufbauten mit der Magnetbürstenapplikation vorgeschlagen.

## Anhang

### A1 Projekt-Arbeitsgemeinschaft

Beteiligte Unternehmen	Ansprechpartner
ABAG Stauferstraße 15 70736 Fellbach	Herr Grupp
Fraunhofer Institut IPA Nobelstraße 12 70569 Stuttgart	Herr Cudazzo
Michael Huber München GmbH Feldkirchener Straße 15 D-85551 Kirchheim	Herr Dr. Schulze-Hagenest
Epping GmbH / PES-Laboratorium Carl-Orff-Weg 7 D-85375 Neufahrn	Herr Dr. Epping Herr Küttner
Salubra Tapeten GmbH Rheinallee 25 79639 Grenzach-Wyhlen	Herr Klopfer Herr Müller

## A2 Literatur

Cudazzo, Markus: Pulverbeschichtung bei der Tapetenherstellung; Jahrbuch für Lackierbetriebe 1999 Kap. 13, Neue Anwendungen der Pulverbeschichtung

International Patent Applikations PCT WO96/15199 (1996) and PCT WO97/36049 (1997) to DSM and Michael Huber München

F.M. Witte, G. Kieft, H.J. Stuiver, F. Twigt, R. Van der Linde, Proc. Conf. Radtech Europa 1995, Maastricht, 437;

F.M. Witte, Eur. Coat. J. 1996, 262;

• European Patent Applikation 636669 (1995) to DSM

• Schulze-Hagenest, Detlef und Binda, Paul H.G.: Coating 4-1998, 142

Schulze-Hagenest, Detlef, Udding-Louwrier, Saskia und Binda, Paul H.G.: Proc. IS&T's NIP 13; Intern. Conf. On Digital Printing Technologies 1997, Seattle, 168

•  
•  
•