

# Projektbericht

## Neue Anwendungsmöglichkeiten der Pulverbeschichtung

Teilprojekt

### Untersuchung der Pulverbe- schichtung von Kunststoffteilen

#### **im Auftrag der**

ABAG-itm GmbH  
vormals ABAG-Abfallberatungsagentur  
Baden-Württemberg  
Stauferstr. 15  
D-70736 Fellbach

#### **Projektträger**

KaVo Innovationsgesellschaft mbH  
Bismarckring 39  
D-88400 Biberach/Riß

#### **Kooperationspartner**

Fried Kunststofftechnik GmbH  
Herberts Pulverlack GmbH

#### **Projektbegleiter**

Dipl.-Ing. (FH) M. Cudazzo  
Fraunhofer Institut für Produktionstechnik  
und Automatisierung,  
Stuttgart

**Januar 1999**

# 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 KaVo Innovationsgesellschaft mbH in Biberach und den beteiligten Kooperationspartnern, Fried Kunststofftechnik GmbH und Herberts Pulverlack GmbH.

Einen besonderen herzlichen Dank spricht das Fraunhofer IPA gemeinsam mit der ABAG-itm den Herren Boeckh, Holzwarth, Tewald, Thiele, Wiest und Zimmermann aus.

Die Machbarkeitsuntersuchung wurde vom Arbeitskreis „Neue Anwendungen der Pulverbeschichtung“ begleitet. Beiträge und Erfahrungen fachlich qualifizierter Vertreter aus Industrie und öffentlichen Institutionen haben die Untersuchungen unterstützt.

**Projektleitung:**

Dipl.-Ing. Thomas Grupp

ABAG-itm, Fellbach

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

**Herausgeber:**

ABAG-itm GmbH

(vormals ABAG-Abfallberatungsagentur)

Stauferstr. 15

70736 Fellbach

Tel.: 0711 / 95 19 11 - 0

Fax: 0711 / 95 19 11 - 20

e-mail: [info@abag-itm.de](mailto:info@abag-itm.de)

Januar 1999

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.

<b>Inhaltsverzeichnis</b>		Seite
<b>Abbildungs- und Tabellenverzeichnis</b>		4
<b>Kurzfassung</b>		5
<b>1</b>	<b>Stand der Technik</b>	7
1.1	Stand der Technik zur Beschichtung von Kunststoffen	7
1.2	Mögliche Lösungswege zur elektrostatischen Pulverbeschichtung von Kunststoffteilen	7
1.3	Weiterentwicklung des Stands der Technik durch dieses Projekt und Zielsetzung	9
<b>2</b>	<b>Kurzbeschreibung des Anwenders (Teilprojekträger)</b>	11
<b>3</b>	<b>Zustand der Lackiererei</b>	12
3.1	IST-Zustand	12
3.2	Geplanter Soll-Zustand	13
<b>4</b>	<b>Durchgeführte Untersuchungen und Ergebnisse</b>	13
4.1	Auswahl geeigneter Kunststoffe	13
4.2	Kunststoffteilefertigung	13
4.3	Eingesetzte Pulverlackmaterialien und Härtungsmechanismen	14
4.4	Applikationstechnik	14
4.4.1	Festlegung der Versuchsmatrix	14
4.4.2	Versuchsaufbau	15
4.5	Qualität der beschichteten Kunststoffteile	15
4.6	Auswertung der Versuchsergebnisse	19

<b>5</b>	<b>Umweltrelevanter Vergleich der Pulverlackierung mit der alternativen Naßlackierung</b>	<b>20</b>
<b>6</b>	<b>Kostenbetrachtungen</b>	<b>22</b>
<b>7</b>	<b>Ausblick - Weiteres Vorgehen</b>	<b>23</b>
<b>Anhang</b>		
<b>A1</b>	<b>Projekt-Arbeitsgemeinschaft</b>	<b>24</b>
<b>A2</b>	<b>Literatur</b>	<b>25</b>

### **Abbildungs- und Tabellenverzeichnis**

Abb.1:	Produktbeispiel einer Zahnarztpraxiseinrichtung	12
Abb.2:	Mikroskopische Aufnahme der Filmbildungsstörungen durch Ausgasungserscheinungen beim Einbrennen der applizierten Pulverlackschicht	19
Tab.1:	Vergleich der Umweltbelastung zwischen Pulver- und Naßlackierung	21
Tab.2:	Kostenvergleich	22

## **Kurzfassung**

Die Fa. KaVo ist ein bedeutender Hersteller von zahnmedizinischen Instrumenten und Einrichtungen. Metallische Teile für die Praxiseinrichtungen werden elektrostatisch pulverbeschichtet, die Anbauteile aus unterschiedlichen Kunststoffmaterialien (z.B. Trittplatten aus PU-Kompaktschaum, Abdeckungen und Verkleidungen aus Polystyrol) werden in Standardfarbe eingefärbt oder mit lösemittelhaltigen Systemen mehrschichtig lackiert. Das Lackmaterial wird durch Druckluftzerstäubung appliziert, wobei erhebliche Mengen an Lösemittelmisierungen und Lackabfällen entstehen. Ziel der Untersuchungen ist die Ermittlung der Bedingungen für die elektrostatische Pulverlackapplikation auf Kunststoffteile bei Fa. KaVo. Erstmals soll dabei die Machbarkeit der großflächigen Pulverbeschichtung von Kunststoffteilen im hochdekorativen Bereich unter praxisähnlichen Bedingungen untersucht werden.

Mit der konsequentesten Maßnahme zur Ermöglichung der elektrostatischen Pulverlackapplikation auf Kunststoffteile, der Einarbeitung von leitfähigen Zuschlagstoffen in das Kunststoffmaterial, werden im industriellen Bereich bereits an Kleinteilen und Funktionsteilen Pulverbeschichtungen durchgeführt. Für den Bereich der hochdekorativen Beschichtungen bestehen mit diesen Materialien keine Praxiserfahrungen; die Realisierungschancen der elektrostatischen Pulverlackapplikation werden aber grundsätzlich positiv eingeschätzt, da diese Materialien (beispielsweise auf der Basis von Polyamiden und Polyphenylenoxid) bereits in temperaturbeständiger Modifikation auf dem Markt erhältlich sind. Bei den im Rahmen dieses Projektes an verschiedenen Bauteilen bzw. Kompaktspritzgießteilen durchgeführten Versuchen werden die dekorativen und funktionellen Qualitätsanforderungen des Anwenders erfüllt. Für die überwiegend im Thermoplastschaumguß-Verfahren (TSG-Verfahren) gefertigten Werkstücke muß die dekorative Qualität der Pulverbeschichtung noch verbessert werden, da Ausgasungserscheinungen im Rahmen der bisher durchgeführten Versu-

che nicht mit ausreichender Prozeßsicherheit vermieden werden können. Weitere material- und verfahrenstechnischen Optimierungsmaßnahmen sowie der Einsatz alternativer Verfahrenstechniken zur Kunststoffteilefertigung müssen noch systematisch untersucht werden, um sowohl die Oberflächenqualität der zu beschichtenden Substrate bezüglich der Rauigkeit zu verbessern, als auch Ausgasungseffekte zu minimieren.

Die wirtschaftlichen und ökologischen Vorteile der elektrostatischen Pulverbeschichtung von Kunststoffteilen gegenüber der mehrschichtigen Naßlackierung liegen primär in den geringeren Energie- und Lackmaterialkosten sowie der Reduzierung der Anzahl der Verfahrensschritte (die Mehrschicht-Naßlackierung wird durch eine Einschicht-Pulverbeschichtung ersetzt) und damit einer insgesamt vergleichsweise kompakteren und kostengünstigeren Anlagentechnik. Pulverlacke weisen im Gegensatz zu Naßlacken keine Lösemittlemissionen auf; außerdem kann beim Pulverlackieren von einer weitgehenden Rückgewinnung des nicht auf dem Werkstück abgeschiedenen Pulvers ausgegangen werden, dadurch ist das Verfahren annähernd abfallfrei. Im Fallbeispiel (Lackierung von Abdeckhauben für die Stuhlbasis) entstehen bei der einschichtigen Pulverbeschichtung der Abdeckhauben nur ca. 5-10 g Pulverlackabfall/Bauteil, während bei einer vergleichbaren dreischichtigen Naßlackierung mit deutlich höheren Lackabfallmengen von ca. 560 g Lackschlamm / Bauteil ausgegangen werden kann.

Der Vergleich der Lackierbetriebskosten zeigt, daß der Anteil der Kosten für das Kunststoffsubstrat und die Lackmaterialien an den Produktionskosten signifikant sind. Berücksichtigt man die Investitionskosten für die Naßlackieranlage in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, dann zeigt sich, daß die Betriebskosten zur Beschichtung der Abdeckhaube mit der Pulverlacktechnik mit den Betriebskosten bei einer mehrschichtigen Naßlackierung in etwa vergleichbar sind.

## **1 Stand der Technik**

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

Kunststoffe werden ein- oder mehrschichtig mit lösemittelhaltigen Lacksystemen beschichtet, wobei ein Trend zum Einsatz wässriger Lacksysteme besteht. Überwiegend wird das Lackmaterial durch Druckluftzerstäubung im Hochdruckverfahren bzw. durch den Einsatz von Niederdruck (HVLP)-Systemen appliziert, wobei erhebliche Mengen an Lösemittlemissionen und Lackabfällen entstehen. Der Einsatz elektrostatischer Lackierverfahren zur Verminderung von Lackabfällen ist grundsätzlich möglich.

Die Anwendung der elektrostatischen Pulverlackapplikation auf Kunststoffteile 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 Temperaturbelastungen der Kunststoffteile beim Einbrennen der applizierten Pulverlackmaterialien (i.a.  $\geq 150^{\circ}\text{C}$ ) resultieren.

### **1.2 Mögliche Lösungswege zur elektrostatischen Pulverbeschichtung von Kunststoffteilen**

Bei Einschicht-Lackierungen kommen insbesondere folgende Maßnahmen zur Ermöglichung der elektrostatischen Pulverlack-Applikation in Betracht, wobei deren Eignung kunststoffmaterial- und prozeßspezifisch untersucht werden muß [1], [2], [3], [4]:

- Auftrag einer Antistatiklösung (in der Vorbehandlung integriert oder durch einen zusätzlichen Prozeßschritt, z.B. durch Sprühen, Tauchen, Wischen),
- Ladungsableitung über bipolar ionisierte Luft ,

- geerdete Hinterlegung der Kunststoffteile,
- Erwärmung der Kunststoffteile bzw. Nutzung der Restwärme aus dem Vorbehandlungsprozeß zur Erhöhung der elektrischen Oberflächenleitfähigkeit,
- Konditionieren der Kunststoffteile zur Erhöhung der elektrischen Oberflächenleitfähigkeit sowie
- Kombinationen der o.g. Maßnahmen.

Ebenfalls zu berücksichtigen ist der Einsatz optimal geeigneter Pulversprühsysteme. Bei hohem Oberflächenwiderstand  $R_o$  der Kunststoffteileoberfläche ( $> \text{ca. } 10^{10} \Omega$ ) sind Tribosysteme bzw. ionenarme Koronasysteme z.T. besser geeignet als konventionelle Koronasysteme, da sie keinen hohen Luftionenstrom erzeugen, der von der Teileoberfläche abgeführt werden muß.

Ein besonders aussichtsreicher Ansatz zur Reduzierung der Temperaturbelastung bei der Pulverbeschichtung ist der Einsatz von UV-härtbaren Pulverlackmaterialien. [5], [6], [7].

Auch die Härtung durch Infrarotstrahlung (IR) könnte bei der Pulverbeschichtung von Kunststoffteilen zukünftig eine Rolle spielen, da mit diesem Verfahren eine schnelle Aufheizung der Substratoberfläche, d.h. eine kurze Wärmebelastung des Untergrundes realisierbar ist. Ein Entwicklungsansatz ist die intervallartige Bestrahlung der Substratoberfläche ohne deren Überhitzung. Dies erfordert neben geeigneten Pulverlacksystemen entsprechend reaktionsschnelle IR-Strahler, z.B. kurzwellige Systeme.

Eine weitere interessante Perspektive kann sich durch den Einsatz hochreaktiver Niedertemperaturpulver ergeben [8].



### **1.3 Weiterentwicklung des Stands der Technik durch dieses Projekt und Zielsetzung**

Die konsequenteste Maßnahme zur Ermöglichung der elektrostatischen Pulverlackapplikation auf Kunststoffteile, die im industriellen Bereich bereits eingesetzt wird, stellt die Einarbeitung von leitfähigen Zuschlagstoffen in das Kunststoffmaterial dar [9]. Damit ist eine permanente Leitfähigkeit einstellbar, die auch bei der Teilebehandlung (Reinigen, Schleifen, usw.) nicht beeinträchtigt wird. Ein aktuelles Beispiel ist ein mit Metallteilchen bzw. Kohlenstoff-Fasern gefülltes Polyamidmaterial, aus dem Kleinteile (z.B. Profilverbinder für Duschaabtrennungen, Griffleisten für Büromöbel und Wandhalterungen für Heizkörper ) sowie funktionelle Teile (z.B. Abdeckhauben) hergestellt werden. Für den Bereich der hochdekorativen Beschichtungen bestehen mit diesen Materialien einerseits keine Praxiserfahrungen, andererseits werden die Realisierungschancen der elektrostatischen Pulverlackapplikation positiv eingeschätzt, da diese Materialien bereits in temperaturbeständiger Modifikation auf dem Markt erhältlich und dadurch kaum Einschränkungen hinsichtlich der Applikation handelsüblicher Pulverlacktypen zu erwarten sind.

Ziel der vom Fraunhofer IPA durchgeführten Untersuchungen ist, in Zusammenarbeit mit dem Projektteam die material-, anlagen- und prozesstechnischen Voraussetzungen für eine Pulverlackierung ausgewählter Serien-Kunststoffteile zu definieren, die funktionell und dekorativ den Anforderungen der Fa. KaVo entsprechen. Die Realisierbarkeitschancen eines solchen Pulverlackierprozesses sind zu beurteilen und die erzielbare Qualität, Wirtschaftlichkeit und Umweltbelastung mit dem bisherigen Naßlackierprozeß zu vergleichen. Zu berücksichtigende Kriterien sind insbesondere:

- die Kunststoffmaterial-Eigenschaften (Wärmebelastbarkeit, Ausgasungsverhalten, elektrische Leitfähigkeit, Oberflächenspannung),

- die Maßnahmen zur Ermöglichung der elektrostatischen Pulverlackapplikation auf die Kunststoffteile,
- die geräte- und verfahrenstechnischen Pulverlackapplikations-Parameter,
- die anlagen- und verfahrenstechnischen Parameter der Pulverlack-Härtung,
- die Prozeßsicherheit des Pulverlackkreislaufes sowie
- die sich aus den gewonnenen Erkenntnissen ergebenden Modifikationen des bisherigen Pulverlackierprozesses.

Die Machbarkeitsstudie soll im Projektteam mit

- dem Anwender (KaVo),
- einem Pulverlackhersteller (Herberts) und
- einem Kunststoffteilehersteller (Fried)

bearbeitet werden.

Von den Teampartnern sind folgende Aufgaben durchzuführen:

#### **Anwender (KaVo)**

- Koordination und Erstellung des Pflichtenheftes,
- Auswahl der Werkstücke,
- Definition der Qualitätsanforderungen,
- begleitende Personaltätigkeit während der Versuchsdurchführung,
- Qualitätsprüfung an den Versuchsteilen (Labor-QS, Fertigungs-QS, Geometrie-Maßhaltigkeit) sowie
- evtl. Beschichtungsvorversuche mit der vorhandenen Pulverlackieranlage.

#### **Pulverlackhersteller (Herberts)**

- Pulverlackmaterialentwicklung entsprechend den Anforderungen von KaVo (Schmelz- und Reaktionsbedingungen, Haftung, Elastizität etc.),

- Rezeptoptimierung und Musterteilebeschichtung,
- Bereitstellung und ggf. Modifikation des Lackmaterials für Applikationstests im Technikum des Fraunhofer IPA und bei KaVo,
- Qualitätsprüfungen,
- Angaben zur elektrostatischen Beschichtung und ggf. zur Präparation der Werkstücke bez. der elektrischen Leitfähigkeit sowie zur Vernetzung und
- Lackmaterialherstellung unter Berücksichtigung der Lagerfähigkeit und der Rückgewinnung in der bestehenden Anlage.

**Kunststoffteilehersteller (Fried):**

- Herstellung definierter Musterteile entsprechend den Anforderungen von KaVo und
- Angabe technologischer Daten zu den Musterteilen sowie der
- Prozeßdaten bei deren Herstellung.

## **2 Kurzbeschreibung des Anwenders**

Die Fa. KaVo ist ein bedeutender Hersteller von zahnmedizinischen Instrumenten, Zahnarztpraxiseinrichtungen sowie zahntechnischen Einrichtungen. Es werden jährlich etwa 4000 bis 5000 Behandlungseinheiten hergestellt. Die metallischen Teile für die Praxiseinrichtungen werden im Werk Warthausen manuell bzw. automatisch elektrostatisch pulverbeschichtet. Die Anbauteile aus unterschiedlichen Kunststoffmaterialien (z.B. Trittplatten aus PU-Kompaktschaum, Abdeckungen und Verkleidungen aus Polystyrol) werden teilweise in Standardfarbe eingefärbt bzw. bei KaVo mit lösemittelhaltigen Naßlacksystemen beschichtet.

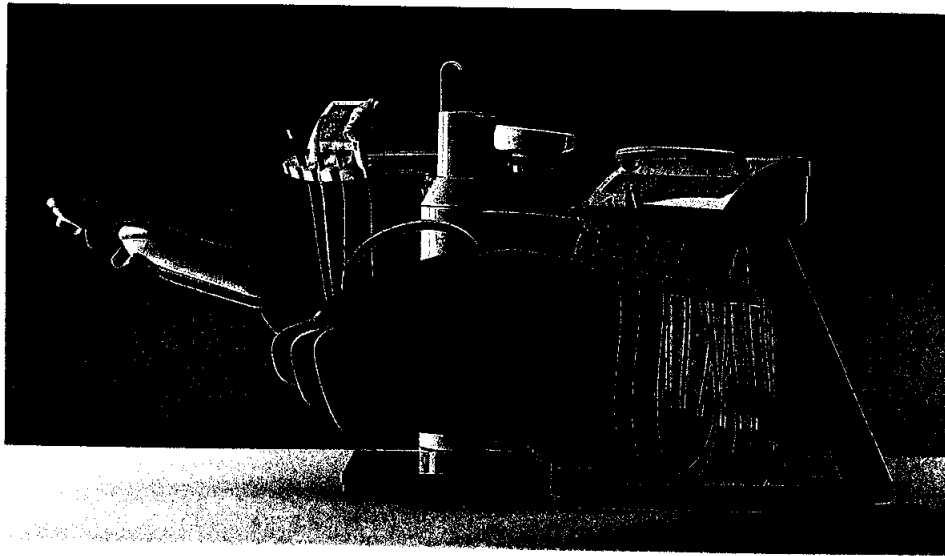


Abb.1: Produktbeispiel einer Zahnarztpraxiseinrichtung

### **3 Zustand der Lackiererei**

#### **3.1 Ist-Zustand**

Die Pulverbeschichtungsanlage im Werk Warthausen wird 1-schichtig betrieben. Als Werkstücke für die Pulverbeschichtung kommen bisher nur temperaturunempfindliche Substrate wie Stahl, Aluminium und Gußteile zum Einsatz. Temperaturempfindliche Anbauteile aus Kunststoff werden meist im Mehrschichtaufbau naßlackiert. Wegen der verwendeten Naßlackmaterialien und niedrigen Trocknungstemperaturen (50°C) muß z.T. mit erheblichen Trocknungszeiten und der damit verbundenen Gefahr von Schmutzeinschlüssen in den trocknenden Lackfilm gerechnet werden.

Nach der Beschichtung werden die lackierten Bauteile der Behandlungsstühle endmontiert und zum Versand bereitgestellt. Anbauteile für diese zahnärztlichen Praxiseinrichtungen können beispielsweise Tischplatten, Ablageplatten, Abdeckungen und Verkleidungen aus Kunststoffen sein.

### **3.2 Geplanter Soll-Zustand**

KaVo möchte die bisher naßlackierten Kunststoffteile zukünftig teilweise durch pulverbeschichtete Kunststoffteile ersetzen, wobei die vorhandene Pulverbeschichtungsanlage genutzt werden soll. Ziel ist, die Produktteile für den Behandlungsbereich weitgehend mit Pulverlack zu beschichten und entsprechend zu vermarkten.

## **4 Durchgeführte Untersuchungen und Ergebnisse**

### **4.1 Auswahl geeigneter Kunststoffe**

Die derzeit in der Produktion beim Anwender eingesetzten Kunststoffmaterialien sind nicht ausreichend wärmebeständig und können mit den Einbrenntemperaturen der derzeit beim Anwender eingesetzten Pulverlacke (Polyesterpulver: 180°C) nicht belastet werden. Für die Applikationsversuche werden elektrisch leitfähig und/oder temperaturbeständig eingestellte bzw. modifizierte Kunststoffe aus Polyamidmaterialien und Polyphenylenoxid eingesetzt.

Die Musterteile werden vom Kunststoffteilehersteller Fa. Fried gefertigt.

### **4.2 Kunststoffteilefertigung**

Die verschiedenen Kunststoffmaterialien und Modifikationen werden im Spritzgießverfahren verarbeitet, wobei durch Variation der Verfahrensparameter ein Optimum hinsichtlich der funktionellen und optischen Qualität des Kunststoffteils erzeugt wird. Für die Applikationsversuche werden Bauteile des Anwenders,

d.h. Kompaktspritzgußteile und Thermoplastschaumgußteile, gefertigt und für Applikationstests bereitgestellt [10].

### **4.3 Eingesetzte Pulverlackmaterialien und Härtungsmechanismen**

Für die Versuche mit den temperaturbeständigen Musterteilen wird TGIC-freies Polyesterpulver für Außenanwendungen (Einbrenntemperatur: 165°C) eingesetzt. Für weitere Versuche wird ein neuentwickeltes UV-härtendes Pulver (modifiziertes ungesättigtes Polyesterharz) eingesetzt.

#### 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.

### **4.4 Applikationstechnik**

#### **4.4.1 Festlegung der Versuchsmatrix**

Anhand einiger Vorversuche wird die Versuchsmatrix (konstante und variable Versuchsparameter, wesentliche Einflußgrößen, Bandbreite) festgelegt. Folgende wesentliche Einflußgrößen werden in der Versuchsdurchführung berücksichtigt:

- der eingesetzte Kunststofftyp (z.B. Polyurethan-Hartschaum, Polyamid, Polyphenylenoxid, Modifikationen der Materialien),
- der Oberflächenwiderstand des zu beschichtenden Kunststoffteils,
- die Temperatur des Kunststoffteils während der Applikation (z.B. Heißbeschichtung),

- die Vorbehandlung des Kunststoffteils vor der Applikation (Tempern, Glätten der Oberflächenstruktur),
- die Oberflächenspannung des Kunststoffsubstrates,
- der Härtungsmechanismus des eingesetzten Pulverlackmaterials (thermische Härtung; UV-Härtung),
- die Klimatisierung der Kunststoffteile zur Beeinflussung des Oberflächenwiderstandes und der Wasseranlagerungen an der Oberfläche sowie die
- Auflademethode (Korona, Korona ionenarm, Tribo).

#### **4.4.2 Versuchsaufbau**

Die Versuchsdurchführung erfolgt in der gekapselten und klimatisierbaren Pulverbeschichtungs-Versuchsanlage des Fraunhofer IPA. Zur Aushärtung der Pulverlackmaterialien stehen Umluft- und IR-Systeme sowie die im Oberflächentechnikum des Fraunhofer IPA neuinstallierte UV-Großversuchsanlage für dreidimensionale Teile zur Verfügung.

Als Auflademethode für das Pulverlackmaterial werden die Korona-Aufladung, die ionenarme Koronaaufladung und die Triboaufladung eingesetzt. Die Versuche werden überwiegend mit manuellen Sprühaggregaten durchgeführt.

Zur Förderung und Dosierung des Pulverlackmaterials kommt die lokale Fluidisierung (Metri-System) sowie die Fluidisierung mit dem Fluidbehälter zum Einsatz.

#### **4.5 Qualität der beschichteten Kunststoffteile**

Die Qualität der Beschichtungsergebnisse wird durch folgende Kenngrößen bewertet:

### **Optische Verlaufsqualität**

Eine Gesamtnote der optischen Verlaufsqualität wird aus der visuellen Einzelbenotung durch mehrere unabhängige Personen und anschließende Mittelwertbildung ermittelt. Die Benotungsskala umfasst den Bereich von +, +/- und - (gut-mittel-schlecht).

### **Haftung**

Zur Beurteilung der Haftfestigkeit des Pulverlacksystems dient die Gitterschnittprüfung (DIN 53151/ISO EN 2409) mit anschließendem Klebebandabriß. Bewertungskriterium sind Lack-Abplatzungen an den Schnittträgern des Gitterschnittes. Die Gitterschnittkennwerte reichen von Gt0 (sehr gute Haftfestigkeit) bis Gt5 (schlechte Haftfestigkeit).

### **Ausgasungen aus dem Untergrund**

Eine Gesamtbewertung der Ausgasungen aus dem Untergrund wird visuell durch Benotung von mehreren unabhängigen Personen durch anschließende Mittelwertbildung erteilt. Die Benotungsskala umfasst den Bereich von +, +/- und - (gut-mittel-schlecht). Zusätzlich werden von einigen repräsentativen Versuchsteilen mikroskopische Aufnahmen zur Bewertung und Dokumentation der Ausgasungserscheinungen durchgeführt.

Folgende wesentliche Einflußgrößen auf die Qualität der Beschichtungsergebnisse werden untersucht:

### **Oberflächenwiderstand des unbeschichteten Kunststoffteils**

Der Oberflächenwiderstand wird 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. Bei einem Oberflächenwiderstand von  $< 10^9 \Omega$  ist eine elektrostatische Pulverlackapplikation ohne zusätzliche Maßnahmen möglich. Bei hohen



Oberflächenwiderständen bietet die Triboaufladung sowie die ionenarme Koronaaufladung Vorteile hinsichtlich der elektrostatischen Applizierbarkeit.

### **Oberflächenspannung des unbeschichteten Kunststoffteils**

Für die Haftfestigkeit von Lacken auf Kunststoffsubstraten ist die Oberflächenspannung auf der Kunststoffoberfläche ein wesentliches Kriterium. Für die ausreichende Haftung ist i.a. eine Oberflächenspannung im Bereich ab ca. 40 mN/m erforderlich. Zur Bestimmung der Oberflächenspannung werden Testtinten mit dem Pinsel auf das Kunststoffsubstrat aufgebracht und das Zusammenziehen des Aufstrichs bewertet. Die Oberflächenspannung wird durch materialspezifische und verarbeitungstechnische Kenngrößen beeinflusst. Durch geeignete Vorbehandlungsverfahren kann die Oberflächenspannung erhöht und damit die Haftung der applizierten Pulverschicht verbessert werden.

### **Verarbeitungstechnik der Kunststoffteilefertigung**

Zusätzlich zu den durch Kompaktspritzgießen hergestellten Kunststoffteilen werden für die Versuche Kunststoffteile eingesetzt, die im TSG-Verfahren hergestellt werden. Bei diesen Teilen erzeugt ein definierter Treibmittelanteil im Kunststoffgranulat beim Einspritzen in das Werkzeug insbesondere im Kernbereich des Formteils eine geschäumte Struktur. Kunststoffteile mit großen Wandstärken können auf diese Weise gefertigt werden. Die verfahrensbedingt unruhige Oberflächenstruktur führt beim anschließenden Pulverlackierprozess zu relativ guten Werten im Bereich der Lackhaftung, aber auch zu schlechter optischer Beschichtungsqualität sowie Schwierigkeiten durch Ausgasungserscheinungen beim Einbrennen der applizierten Pulverlackschicht, auch bei vorherigem Tempern des Kunststoffteils.

### **Untergrundrauigkeit des unbeschichteten Kunststoffteils**

Für die Bewertung der Untergrundrauigkeit des eingesetzten Kunststoffsubstrates wird das Tastschnittverfahren mit einem Bezugsebenentaster (Freiarmtaster) ver-

wendet. Aus den Profildaten werden die mittlere quadratische Rauhtiefe  $R_q$  [ $\mu\text{m}$ ], die Standardabweichung der Profilsteigungen  $\Delta q$  [ $\mu\text{m}/\text{mm}$ ] und die mittlere Wellenlänge  $\lambda_q$  [ $\text{mm}$ ] des Lackfilmprofils bestimmt. Kleine Werte der Rauhtiefe sowie der Profilsteigung bedeuten einerseits eine vergleichsweise gute optische Verlaufsqualität und geringe Ausgasungsneigung aus dem Kunststoff-Untergrund; andererseits besteht die Gefahr der geringen Haftung der applizierten Pulverlackschicht.

### **Tempern des Kunststoffteils vor der elektrostatischen Pulverbeschichtung**

Um Ausgasungen aus dem Untergrund zu vermeiden, müssen die Kunststoffteile vor der Beschichtung z.B. im Umluftofen getempert werden. Temperatur und Dauer der Temperung müssen an den eingesetzten Kunststofftyp, das Verarbeitungsverfahren und die Oberflächenbeschaffenheit angepaßt werden.

### **Temperatur des Kunststoffteils während der elektrostatischen Pulverbeschichtung**

Die Temperatur des Kunststoffteils während der elektrostatischen Pulverbeschichtung beeinflusst die Verlaufeigenschaften, die Haftung der applizierten Lackschicht sowie die Neigung zu Ausgasungserscheinungen (Abb. 1).

### **Schmelz- und Härtingsbedingungen der applizierten Pulverlackschicht**

Durch die Wahl geeigneter Schmelz- und Härtingsbedingungen kann die Beschichtungsqualität hinsichtlich Verlauf, Haftung und Neigung zu Ausgasungserscheinungen verbessert werden. Durch den Einsatz von Infrarot (kurzwelliges Infrarot bzw. NIR) kann die applizierte Pulverlackschicht bei geringer Wärmebelastung des Untergrundes aufgeschmolzen bzw. vernetzt werden. Besonders gering kann die Wärmebelastung des Untergrundes beim Einsatz von UV-härtendem Pulverlack gehalten werden.

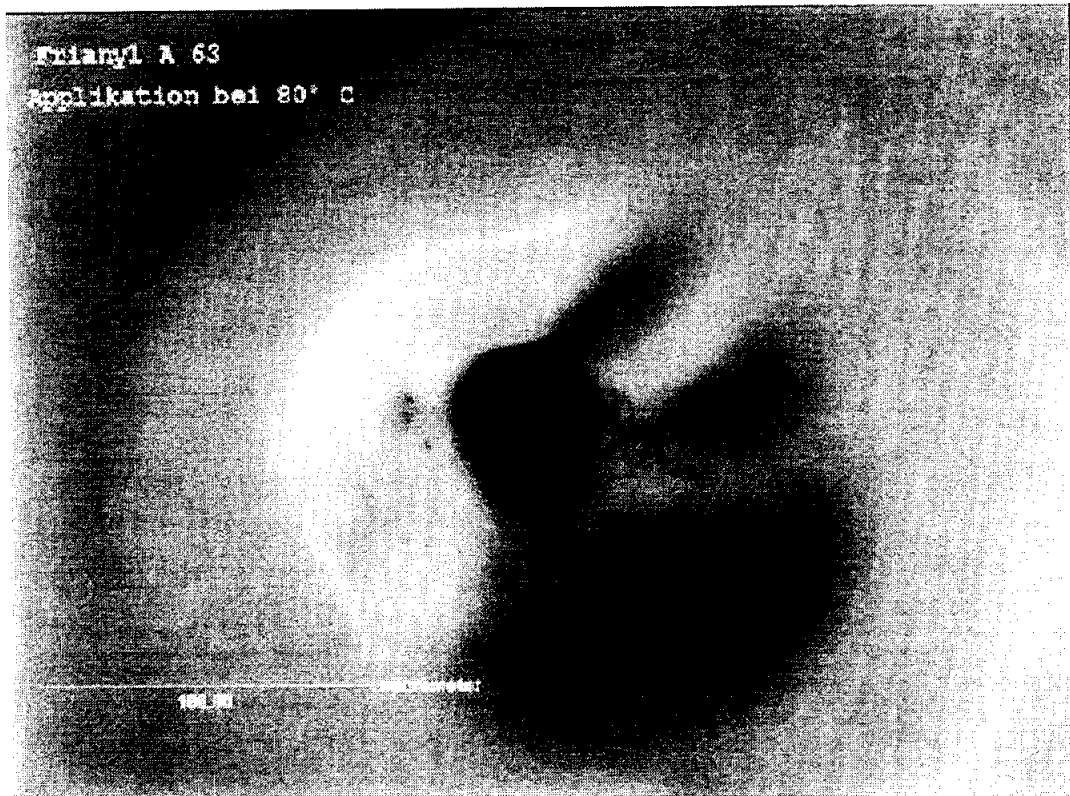


Abb.1: Mikroskopische Aufnahme der Filmbildungsstörungen durch Ausgasungserscheinungen beim Einbrennen der applizierten Pulverlackschicht.

#### **4.6 Auswertung der Versuchsergebnisse**

Thermoplastschaumgußteile, die im klassischen TSG-Verfahren hergestellt wurden, lassen sich prozeßsicher beim derzeitigen Stand der Untersuchungen nicht mit ausreichender Qualität elektrostatisch pulverbeschichten, da Ausgasungen aus dem Kunststoffteil beim Einbrennen der applizierten Pulverlackschicht nicht ausgeschlossen werden können.

Kompaktspritzgießteile aus modifiziertem Polyamid können durch folgenden Verfahrensablauf mit ausreichender Haftung und ausreichender optischer Beschichtungsqualität mit einem herkömmlichen Polyesterpulver elektrostatisch pulverbeschichtet werden:

- Tempern des Kunststoffteils über 35 min; 180°C
- Abkühlen der Kunststoffteile auf 20-60°C
- elektrostatische Pulverbeschichtung mittels Triboaufladung oder ionenarmer Koronaaufladung
- Einbrennen der Kunststoffteile bei 165°C; 10 min

## **5 Umweltrelevanter Vergleich der Pulverlackierung mit der alternativen Naßlackierung**

Bei der Pulverlackierung wird für den umweltrelevanten Vergleich von einem Einschichtaufbau ausgegangen. Bei der Naßlackierung wird von einem Mehrschichtaufbau (IST-Zustand des Anwenders: Grundierung, Füller und Decklack bzw. Basislack und Klarlack als lösemittelhaltiges System) für den nachfolgenden umweltrelevanten Vergleich (Tab. 1) sowie für die Kostenbetrachtung (Kap. 6) ausgegangen. Im nachfolgenden Fallbeispiel wird exemplarisch die Lackierung der im IST-Zustand aus Polystyrol gefertigten *“Abdeckhaube Stuhlbasis“* näher betrachtet.

Lösemittlemissionen entfallen bei einer Pulverbeschichtung gänzlich, während bei einer Beschichtung mit lösemittelhaltigen Lacksystemen je nach Lackschicht mit hohen Lösemittelanteilen zu rechnen ist. Pulverlackabfälle sind auf ein Minimum reduziert, da davon ausgegangen werden kann, daß Overspraypulver rückgewonnen wird. Bei der Applikation von Naßlacksystemen ist hingegen mit erheblichen Mengen an Lackabfällen zu rechnen.

**Verfahrensablauf IST**

- Schleifen
- Auftrag der 2K-Grundierung  
ca. 30 µm, FK: 50%
- Trocknung 45 min bei 50°C
- Auftrag von 2K-Füller ca. 80  
µm, FK: 60%
- Trocknung 45 min bei 50°C
- Schleifen
- Auftrag von 2K-Decklack ca.  
50 µm, FK: 60 %; bzw.
- Auftrag von Basislack ca. 30  
µm, FK: 20%, anschließend  
nach dem Ablüften Naß in  
Naß Klarlackauftrag ca. 50  
µm, FK: 50%
- Trocknung 45 min bei 50°C
- Polieren

**Verfahrensablauf SOLL**

- Tempern der Kunststoffteile  
zum Entfernen der Wasser-  
anlagerungen an der Oberflä-  
che der Kunststoffteile bei  
180°C, 35 min
- elektrostatische Pulverlack-  
applikation von TGIC-freiem  
Polyesterpulver
- Einbrennen der Teile im  
Umluftofen bei 165°C,  
15 min

<b>Umweltbelastung</b> am Beispiel der zu lackierenden Ab- deckhaube für die Stuhlbasis	<b>Pulverbeschichtung</b> Einschichtaufbau auf temperaturbeständigen, elektrisch leitfähigen Kunststoffteilen aus mo- difiziertem Polyamid	<b>Naßlackierung</b> Mehrschichtaufbau (lösemit- telhaltige Grundierung, Fül- ler und Decklack) auf Kunst- stoffteilen aus Polystyrol:
Lösemittelemissionen	-	ca. 490 g/Bauteil
Lackschlammanfall (angenommen: 50% Festkörper)	-	ca. 560 g/Bauteil
Pulverlackabfälle (Rückgewinnung an- genommen)	ca. 5-10 g/ Bauteil	-

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

## 6 Kostenbetrachtungen

In Anlehnung an Kap.5 wird der Beschichtungsprozess des IST-Zustandes mit dem geplanten Prozess im Soll-Zustand bezgl. der Lackierkosten verglichen am Beispiel der Abdeckhaube für die Stuhlbasis. Aufgrund des noch unausgereiften verfahrenstechnischen Konzeptes des SOLL-Zustandes ist eine Kostenbetrachtung nur als grobe Schätzung (Werte aus Praxiserfahrungen, Schätzwerte) möglich.

<b>Kosten/ Abdeckhaube für die Stuhlbasis</b>  zu lackierende Fläche: 0,75 m <sup>2</sup>	<b>IST-Zustand: Naßlackierung</b> Mehrschichtaufbau auf Kunststoffteilen aus Polystyrol	<b>SOLL-Zustand: Pulverbeschichtung</b> Einschichtaufbau auf temperaturbeständigen elektrisch leitfähigen Kunststoffteilen aus modifiziertem Poly- amid
Lackmaterialkosten [DM]	19	1,5
Personalkosten [DM]	17	6
Energiekosten [DM]	4,0	5,5
Entsorgungskosten [DM]	1,5	0
Lackierkosten ohne Kapital- und Instandhaltungskosten [DM]	41,5	13,0
unlackiertes Kunststoff- substrat [DM/Stück]	20,7	65,3
Kosten lackiertes Bauteil ohne Kapital- und Instand- haltungskosten [DM]	62,2	78,3

Tab.2.: Kostenvergleich

Der Vergleich der Lackierbetriebskosten zeigt, daß der Anteil der Kosten für das Kunststoffsubstrat und der Lackmaterialien an den Produktionskosten signifikant sind. Berücksichtigt man die Investitionskosten für die Naßlackieranlage in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung dann zeigt sich, daß die Betriebskosten zur Beschichtung der Abdeckhaube mit der Pulverlacktechnik mit den Betriebskosten bei einer mehrschichtigen Naßlackierung in etwa vergleichbar sind.

## **7 Ausblick-Weiteres Vorgehen**

Bei der elektrostatischen Pulverbeschichtung von Kunststoffteilen besteht im Bereich der hochdekorativen Beschichtungen noch Entwicklungsbedarf. Die elektrostatische Pulverlackapplikation ist zwar prinzipiell mit den leitfähig eingestellten, temperaturbeständigen Kunststoffen möglich. Während aber die Beschichtungsergebnisse der Pulverbeschichtungen an Kompaktkunststoffteilen bereits beim derzeitigen Stand der Untersuchungen die Anforderungen des Anwenders hinsichtlich der dekorativen und funktionellen Eigenschaften erfüllen, müssen mit den Thermoplastschaumguß-Teilen noch weitere Optimierungen durchgeführt werden. Insbesondere die dekorative Beschichtungsqualität muß optimiert werden, um die Qualitätsanforderungen des Anwenders prozeßsicher zu erfüllen. Ausgasungserscheinungen aus den Thermoplastschaumguß-Teilen müssen durch materialtechnische und verfahrenstechnische Optimierungsmaßnahmen sowie evtl. durch den Einsatz einer für diesen Anwendungsfall geeigneteren Verfahrenstechnik verhindert werden. Dies betrifft v.a. die Auswahl geeigneterer Kunststoffmaterialien und Verarbeitungsverfahren, z.B. die Herstellung von TSG-Teilen unterschiedlicher Materialqualitäten im Gasgedrucktverfahren, sowie die Anpassung der Pulverlackmaterialeigenschaften an die verfahrenstechnischen Besonderheiten der Kunststoffteilefertigung.

## Anhang

### A1 Projekt-Arbeitsgemeinschaft

Beteiligte Unternehmen	Ansprechpartner
ABAG Abfallberatungsagentur Staufenerstraße 15 70736 Fellbach	Herr Grupp
Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA Nobelstraße 12 70569 Stuttgart	Herr Cudazzo
Fried Kunststofftechnik GmbH Wasenstraße 90; D-73660 Urbach Postfach 1240; D-73657 Urbach	Herr Holzwarth Herr Dr. Tewald
Herberts Pulverlack GmbH Siemensstraße 4 84051 Essenbach-Altheim	Herr Thiele Herr Zimmermann
KaVo Innovationsgesellschaft mbH Bismarckring 39 D-88396 Biberach/Riß	Herr Boeckh Herr Wiest



A2 Literatur

- [1] Muster, G.: Die Pulverlackierung von Formpreßstoffen für elektrische Haushaltsgeräte; Schriftenreihe PRAXIS-FORUM: "Die EPS-Praxis 1990"; Technik+Kommunikation Verlags GmbH, Berlin
- [2] Bauch, H.: Möglichkeiten und Grenzen der Pulverlackierung; HK 6/95, S. 848-855
- [3] Bauch, H.: Erfolgversprechende Lösungsansätze für die Pulverbeschichtung von Holzwerkstoffen; Schriftenreihe PRAXIS-FORUM: "Die EPS-Praxis 1995"; Technik+Kommunikation Verlags GmbH, Berlin
- [4] Scheuermann, W.: Das elektrostatische Kunststoffbeschichten von Duroplastteilen; Schriftenreihe PRAXIS-FORUM: "Die EPS-Praxis 1989"; Technik+Kommunikation Verlags GmbH, Berlin
- [5] Fink, D., Brindöpke, G.: UV curing powder coatings for heatsensitive substrates; 3 rd Nürnberg Congress "New technologies for coatings and inks"; 1995
- [6] Hardeman, G.: Photochemisch härtende Bindemittel; Pulverlack-Kongress 1996, Hamburg (Veranstalter: Verband der Lackindustrie/Deutsche Forschungsgesellschaft für Oberflächenbehandlung)
- [7] Valet, A.: Wetterbeständige UV-härtbare Pulverlacke eröffnen neue Anwendungsgebiete; Schriftenreihe PRAXIS-FORUM: "Die EPS-Praxis 1995"; Technik+Kommunikation Verlags GmbH, Berlin
- [8] Koop, P.M.: VAMP puts pressure on traditional powder coatings production process; Powder Coating, März 1996, S. 58-63
- [9] Baqué, Th.: Pulverbeschichten von Kunststoff vor dem Durchbruch; JOT 1995/3, S. 46-50
- [10] Tewald, A.: Multifunktionale TSG-Teile substituieren Metallteile; Sonderdruck aus der Zeitschrift Kunststoffe plast europe 88. Jahrgang 7/98; Carl Hanser Verlag, München

