ABAG-itm

Pulvereffekt-Decklackierung bei der Fahrzeugserienlackierung

Projektbericht

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

Projektträger
Karl Wörwag Lack- und Farbenfabrik GmbH & Co. KG
Strohgäustr. 28
D-70435 Stuttgart
Ansprechpartner: Dipl.-Ing. (FH) H.-G. Fritz
Tel. 0711/8296-0

Projektbegleiter
Dipl.-Ing. (FH) Anja Keller
DaimlerChrysler
Forschung und Technologie
Wilhelm-Runge-Str. 11
D-89081 Ulm

Januar 1999

Pulvereffekt-Decklackierung
bei der Fahrzeugserienlackierung

im Auftrag der
ABAG-itm GmbH
vormals ABAG-Abfallberatungsagentur
Baden-Württemberg
Stauferstr. 15
70736 Fellbach

Projektträger
Karl Wörwag Lack- und Farbenfabrik
GmbH & Co. KG
Strohgäustr. 28
70435 Stuttgart
Ansprechpartner: Dipl.-Ing. (FH) H.-G. Fritz
Tel. : 0711 / 8296 - 0

Projektbegleiter
Dipl.-Ing. (FH) Anja Keller
DaimlerChrysler
Forschung und Technologie
Wilhelm-Runge-Str. 11
89081 Ulm

Januar 1999

Erarbeitung:
Dipl.-Ing. (FH) Anja Keller
DaimlerChrysler Forschung und Technologie, Ulm

Für die kooperative und konstruktive Zusammenarbeit bedankt sich die ABAG gemeinsam mit der DaimlerChrysler Forschung und Technologie bei allen Projektbeteiligten im Hause der Firma Karl Wörwag Lack- und Farbenfabrik GmbH & Co. KG in Stuttgart, insbesondere bei den Herren Dr. Peter Wörwag und Hans-Georg Fritz. Einen besonderen Dank spricht die ABAG den mitwirkenden Kooperationspartnern dieses Projekts, den Unternehmen Eisenmann Maschinenbau KG in Holzgerlingen und MCC Entwicklungsgesellschaft für Automobile Systeme mbH in Renningen, aus.

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

Herausgeber:
ABAG-itm GmbH
Stauferstr. 15
70736 Fellbach
Tel. : 0711 / 95 19 11 - 0
Fax: 0711 / 95 19 11 - 20
e-mail: grupp@abag-itm.de

Projektleitung:
Dipl.-Ing. Thomas Grupp

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.

Inhaltsverzeichnis

Seite

Abbildungsverzeichnis

1	**Zusammenfassung**	5
2	**Stand der Technik**	7
2.1	Stand der Technik bei der Pkw-Serienlackierung	7
2.2	Weiterentwicklung der Verfahren zur Pkw-Serienlackierung	9
3	**Kurzbeschreibung des Projektträgers**	13
4	**Simulation und Untersuchung der Pulver-Decklackierung**	14
4.1	Pulverlackproduktion	14
4.1.1	Bondingverfahren	14
4.1.2	Vergleich ungebondete / gebondete Effektpulverlacke	15
4.2	Prozeß-Simulationsanlage	16
4.3	Pulverlackapplikation	17
4.4	Pulverlackoverspray-Recycling	20
5	**Untersuchungsergebnisse**	23
5.1	Pulverlack-Charakteristik	23
5.2	Qualitativer Vergleich der Beschichtungssysteme Pulver- und Flüssiglack	24
5.3	Anforderungen an die Serienlackierung	26
6	**Pulvereffekt-Decklackierung des Space-Frames**	27
7	**Erfahrungen aus der Praxiseinführung**	32
8	**Ausblick**	33
	Literatur	34
	Anhang	35

Abbildungsverzeichnis

		Seite
Abb. 1	Prinzipieller Ablauf der Pkw-Serienlackierung	8
Abb. 2	Prinzipieller Ablauf der 1-Schicht bzw. 2-Schicht Decklackierung des Space-Frames	10
Abb. 3	Lackierumfang für den Steinschlagschutz	11
Abb. 4	Lackierumfang für die Decklackierung	12
Abb. 5	Aufsicht auf die Prozeß-Simulationsanlage	16
Abb. 6	Ansicht der Prozeß-Simulationsanlage	16
Abb. 7	Ausstoßmengen-Messung Effektpulverlack, Luftmengensteuerung mit Steuergerät Typ 1	19
Abb. 8	Ausstoßmengen-Messung Effektpulverlack, Luftmengensteuerung mit Steuergerät Typ 2	19
Abb. 9	REM-Aufnahme Effektpulverlack Farbton Anthrazit, nicht gebondet, Frischpulver	21
Abb. 10	REM-Aufnahme Effektpulverlack Farbton Anthrazit, nicht gebondet, Recyclingpulver erste Generation	21
Abb. 11	REM-Aufnahme Effektpulverlack Farbton Anthrazit nicht gebondet, Recyclingpulver zweite Generation	22
Abb. 12	Qualitativer Vergleich 1-Schicht-Pulverdecklack-Aufbau mit 2K-Serienlack-Aufbau	25
Abb. 13	Lackierprozeßablauf für den Smart	28

1 Zusammenfassung

Die Entwicklungen der letzten Jahre in der Pulverlacktechnik haben dazu geführt, daß die Anwendung dieser Lackiertechnik nun auch bei der Realisierung neuer Pkw-Werke für den Bereich der qualitativ anspruchsvollen Karosserielackierung Einzug hält. Amerikanische Automobilhersteller setzen die Pulverbeschichtung schwerpunktmäßig im Primerbereich in einigen Werken ein. In europäischen Automobilwerken liegt der Schwerpunkt der Entwicklungen zur Pulverlackierung der Karosserien verstärkt im Decklackbereich.

Der Kompakt-Kleinwagen Smart der MCC, Micro Compact Car AG, wird seit Herbst 1998 serienmäßig mit einer Effektpulverbeschichtung der Karosserie-Sicherheitszelle (Space-Frame) ausgeliefert. Erstmalig in einer Pkw-Serienlackierung ist die Pulverbeschichtung der Karosserien zum Steinschlagschutz und zur Decklackierung realisiert. Zur Decklackierung kommen Effektpulverlacke auf Acrylatbasis zum Einsatz. Es wurde eine einschichtige (Farbton: Anthrazit) und zweischichtige Decklackierung (Basislackfarbton: Brillantsilber, anschließend Pulverklarlack) entwickelt.

Die im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Untersuchungen sollten die notwendigen Grunddaten und Erfahrungen liefern, um die Decklackierung des Space-Frames in der Serie realisieren zu können. Dazu wurde im Technikumsmaßstab die Prozeßkette der

- Pulverlackproduktion (Insbesondere das Bonding von Effektpigmenten)
- Pulverlackapplikation (Insbesondere bezüglich der Qualität und Konstanz)
- Pulveroverspray-Rückgewinnung und –Wiederverwendung (Insbesondere bezüglich der Materialausnutzung und Qualität)

simuliert und die einzelnen Verfahrensschritte mit ihren Einflußgrößen sukzessive optimiert. Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden für die Detailplanungen zur Einführung des Prozesses zur Effektpulver-Decklackierung des Space-Frames im MCC-Werk Hambach genutzt.

Die Untersuchungen am Pulverlackmaterial zeigten, daß die Effektpulverlacke die Anforderungen an die Qualität und Verarbeitbarkeit erfüllen. Die für die Effektpulverherstellung untersuchten Verfahrensvarianten zur Anbindung der Effektpigmente an die Pulverpartikel (Bondingverfahren) lieferten vergleichbare Ergebnisse. Das zurückgewonnene Overspraypulver kann, vor allem bei gebondeten Systemen, problemlos bezüglich des Applikationsverhaltens und der Appearance der Beschichtung wiederverwendet werden. Bei ungebondeten Systemen kommt es teilweise zu einer Separierung von Pulver und Effektpigment, die jedoch bei der Verarbeitung des Anthrazitpulverlacks keine prozess- und qualitätsrelevanten Auswirkungen haben dürfte.

Bei der Optimierung der Applikationstechnik zeigte sich, daß es durch den Einsatz moderner Steuer- und Regelungssysteme möglich ist, die Pulverausstoßmenge pro Aggregat zeitlich konstant zu halten und zwar unabhängig von der eingesetzten Applikationsvorrichtung und den eingesetzten Pulversystemen. Der Overspray des Anti-Chip-Pulvers wird mit Frischpulver über einen gemeinsamen Förder- und Dosierbehälter den Pulversprüh-Pistolen zur Verarbeitung zugeführt. Dadurch wird eine hohe Materialausnutzung erreicht.

Die bei der Inbetriebnahme und während des Hochfahrens der Pulverlackieranlage aufgetretenen Schwachstellen bzw. Fehlerquellen konnten durch die in diesem Lackiersektor üblicherweise angewandten Analysemethoden identifiziert werden. Die einzelnen Schwachstellen werden sukzessive behoben. Der Produktionsprozeß kann seit Produktionsstart im Sommer 1998 als stabil bezeichnet werden. Die Pulverbeschichtung von Karosserien stellt somit eine Beschichtungsalternative zur Pkw-Naßlackierung dar.

Kostenabschätzungen zufolge können mit der 1-schichtigen Pulvereffekt-Decklackierung von Karosserien gegenüber einer vergleichbaren 2-Schicht-Decklackierung (Wasserbasislack plus High-Solid-Klarlack) je nach den betrieblichen Randbedingungen eines Betrachtungsfalls zwischen ca. 20 bis 50% der Betriebskosten pro Karosserie eingespart werden. Bei vergleichbar hohem Qualitätsniveau lassen sich somit bei Neuanlagen für den Bereich der Decklackierung von Karosserien mit der Pulverlacktechnik rationelle und gleichzeitig umweltschonende Produktionsprozesse realisieren, wenn die Anzahl der zu verarbeitenden Farbtöne begrenzt und die Farbwechselhäufigkeit minimiert ist.

2 Stand der Technik

2.1 Stand der Technik bei der Pkw-Serienlackierung

Heutige Automobil-Decklackierungen bestehen in der Regel aus mindestens zwei Lackschichten, der farbgebenden Basislackschicht (uni, metallic) und der darüberliegenden Klarlackschicht, die Schutz- und Glanzfunktion übernimmt. Die Decklackierung wird standardmäßig mit Flüssiglacksystemen durchgeführt. Flüssiglacke enthalten Lackfestkörper (Bindemittel, Pigmente) zur Ausbildung des Lackfilms sowie Lösemittel (Wasser, organische Lösemittel). Diese Lösemittel emittieren während des Lackierprozesses. Neuere Serienlackierungen setzen bereits Pulverklarlacke (BMW, Werk Dingolfing) bzw. Pulver-Slurry (DaimlerChrysler, Werk Rastatt) als Klarlackschicht auf einem konventionellen Wasserbasislack ein.

Schichtaufbau einer herkömmlichen Pkw-Beschichtung:

Schichtdicke (circa-Angabe)	
30 µm	Klarlack (Schutzschicht gegen Umwelteinflüsse, Glanz)
25 µm	Basislack (Farbschicht)
20 µm	Füller (Steinschlagschutz)
20 µm	Kathodische Tauchlackierung KTL (Korrosionsschutz)
3 µm	Phosphatierung (Haftvermittler)
	Metallsubstrat

Die Verarbeitung des Füllermaterials und der Decklacke erfolgt in der Regel in Automatikkabinen, einzelne Bereiche werden auch manuell beschichtet. Eine Automatenzone besteht im allgemeinen aus drei Hubautomaten (ein Decken- und zwei Seitenautomaten) mit insgesamt neun Zerstäubern. Die beiden Seitenautomaten sind mit jeweils drei an die Kontur der Karosserie angepaßten Lackzerstäubern ausgestattet, die im Abstand von etwa einem Meter angeordnet sind. Dadurch ist ein relativ großer Platz- und Luftvolumenstrombedarf erforderlich /1/.

Im Schnitt erreicht man bei einer elektrostatischen Naßlackierung mit automatisierten Hochrotationszerstäubern einen Lackauftragswirkungsgrad in Höhe von ca. 80 - 90%, im manuellen Spritzlackierbereich etwa 40%. Bei der Naßauswaschung des Lackoversprays aus der Spritzkabinenabluft entstehen Lackkoagulate, die entsorgt werden müssen.

Der prinzipielle Ablauf einer Pkw-Serienlackierung ist in Abbildung 1 dargestellt:

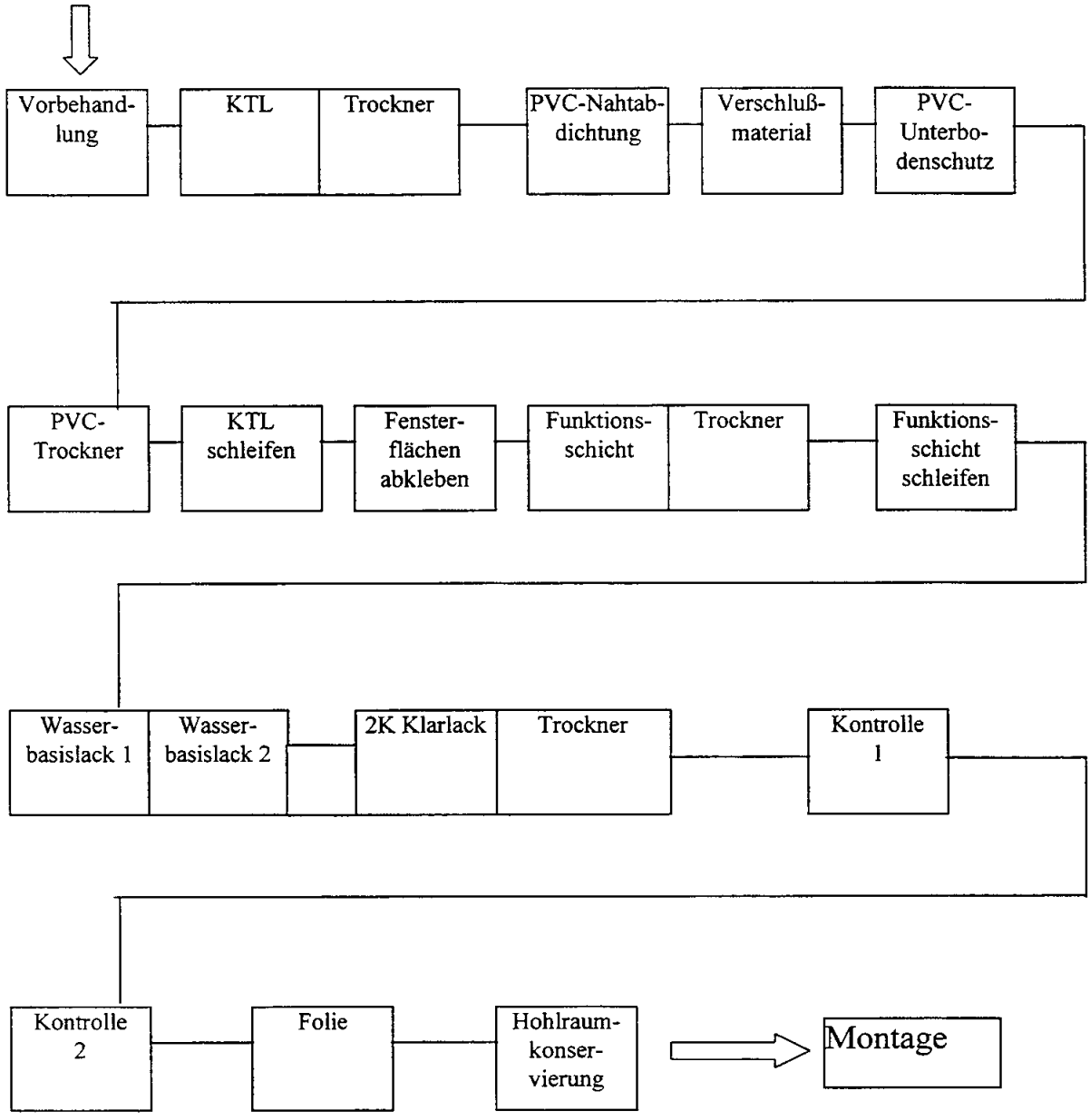


Abb. 1: Prinzipieller Ablauf der Pkw-Serienlackierung /2, 3/

2.2 Weiterentwicklung der Verfahren zur Pkw-Serienlackierung

Die einschichtige sowie zweischichtige Decklackierung mit Pulverlackmaterial stellt einen völlig neuen Weg der Karosserie-Serienlackierung dar.

Der Schichtaufbau der Space-Frame-Beschichtung stellt sich wie folgt dar:

1-Schicht-Decklackierung Schichtdicke in µm (circa Angaben)		**2-Schicht-Decklackierung** Schichtdicke in µm (circa Angaben)
-	Pulverklarlack (Schutzschicht, Glanz)	60
80	Effektpulverlack (Farbschicht, Schutzschicht, Glanz)	80
60	partielles Anti-Chip-Pulver in stein-schlaggefährdeten Bereichen	-
20	Kathodische Tauchlackierung KTL (Korrosionsschutz)	20
3	Phosphatierung (Haftvermittler)	3
	Metallsubstrat	

Der grundsätzliche Vorteil beim Einsatz von Pulverlacken besteht darin, daß Lackschlämme, Kabinenabwasser und Lösemittelemissionen praktisch vollständig vermieden werden, da keine emittierbaren Substanzen vorhanden sind. Der Pulveroverspray kann direkt zurückgewonnen, aufbereitet und wiederverwertet werden.

Durch die einschichtige Pulverdecklackierung wird zudem gegenüber der Naßlackierung der Anlagenplatzbedarf, der Luftvolumenstrom und die Anzahl der Lackierschritte reduziert und dadurch die gesamten Anlageninvestitionen niedrig gehalten. In Verbindung mit der reduzierten Anzahl von Fertigungsschritten verringert sich das Potential möglicher Fehlerquellen. Grundsätzlich stellt sich der konzipierte Produktionsablauf zur Beschichtung des Space-Frames wie folgt dar:

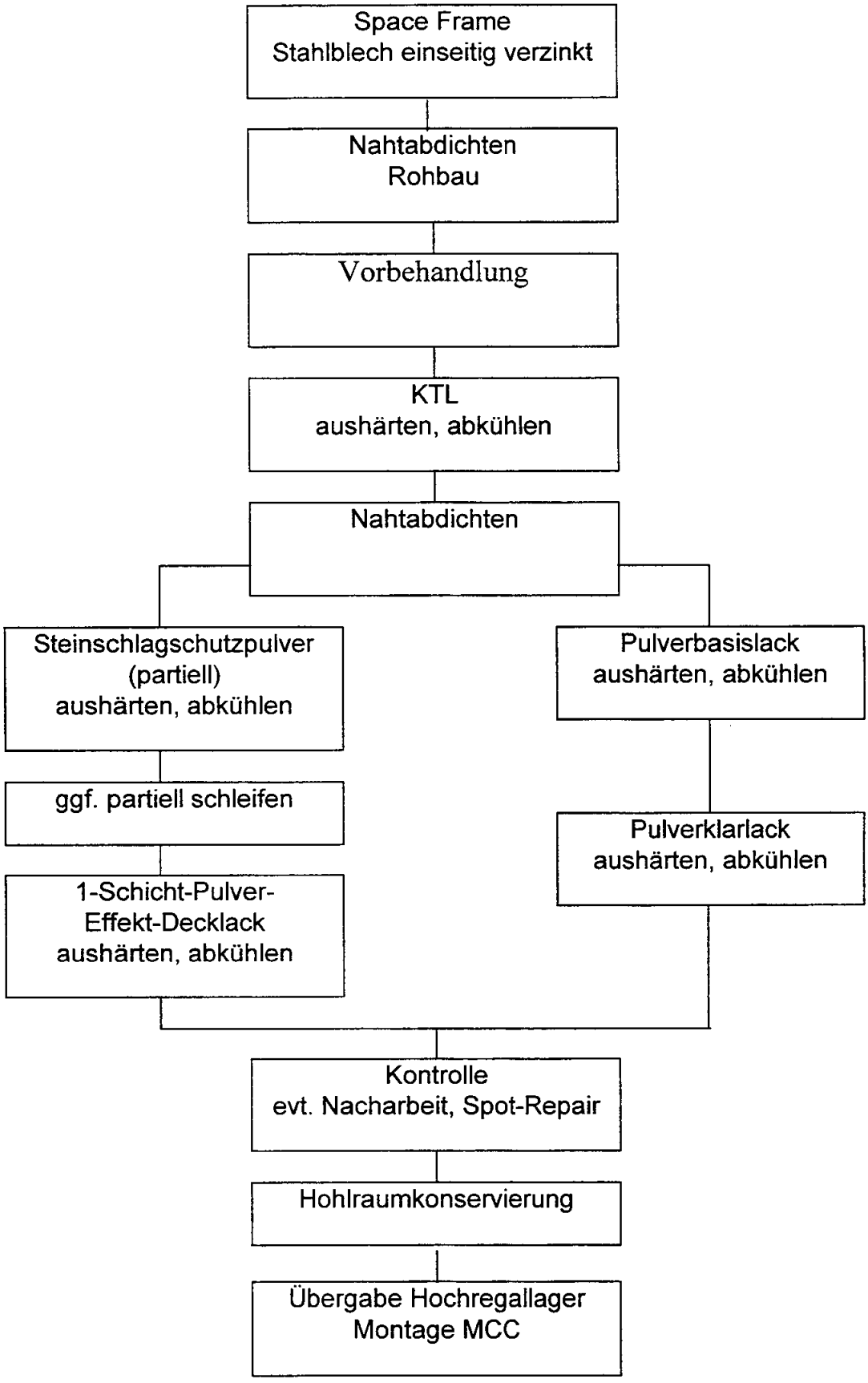


Abb. 2: Prinzipieller Ablauf der 1-Schicht bzw. 2-Schicht Decklackierung des Space-Frames

Es muß jedoch gewährleistet werden, daß der Prozeß eine gegenüber der Naßlackierung qualitativ vergleichbare Lackschicht mit gutem Filmverlauf erzeugen kann, d.h. die Wetter- und Chemikalienbeständigkeit, die Kratzbeständigkeit und die Steinschlagschutzeigenschaften müssen mit der konventionellen Lackierung mit Flüssiglacksystemen vergleichbar sein.

Im Rahmen dieser Untersuchungen soll zur Einführung der 1-Schicht-Decklackierung auf Pulverbasis der Prozeß im Vorfeld simuliert werden. Auch eine 2-Schicht-Decklackierung mit Pulvermaterial soll entwickelt und bezüglich der Prozeßabsicherung geprüft werden. Abb. 3 zeigt den Lackierumfang für den Steinschlagschutz mit Anti-Chip-Pulver und Abb. 4 den Lackierumfang für die Decklackierung des Space-Frames.

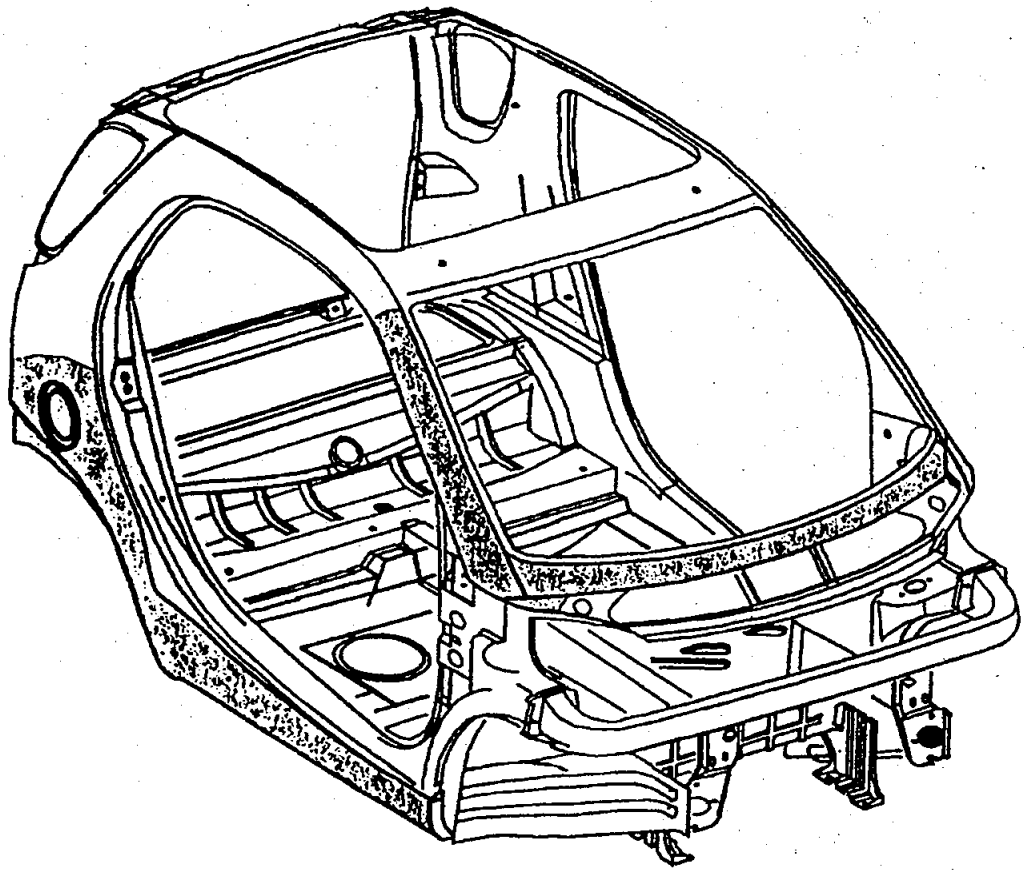


Abb. 3: Lackierumfang für den Steinschlagschutz
(dunkle Bereiche werden mit Anti-Chip-Pulver beschichtet)

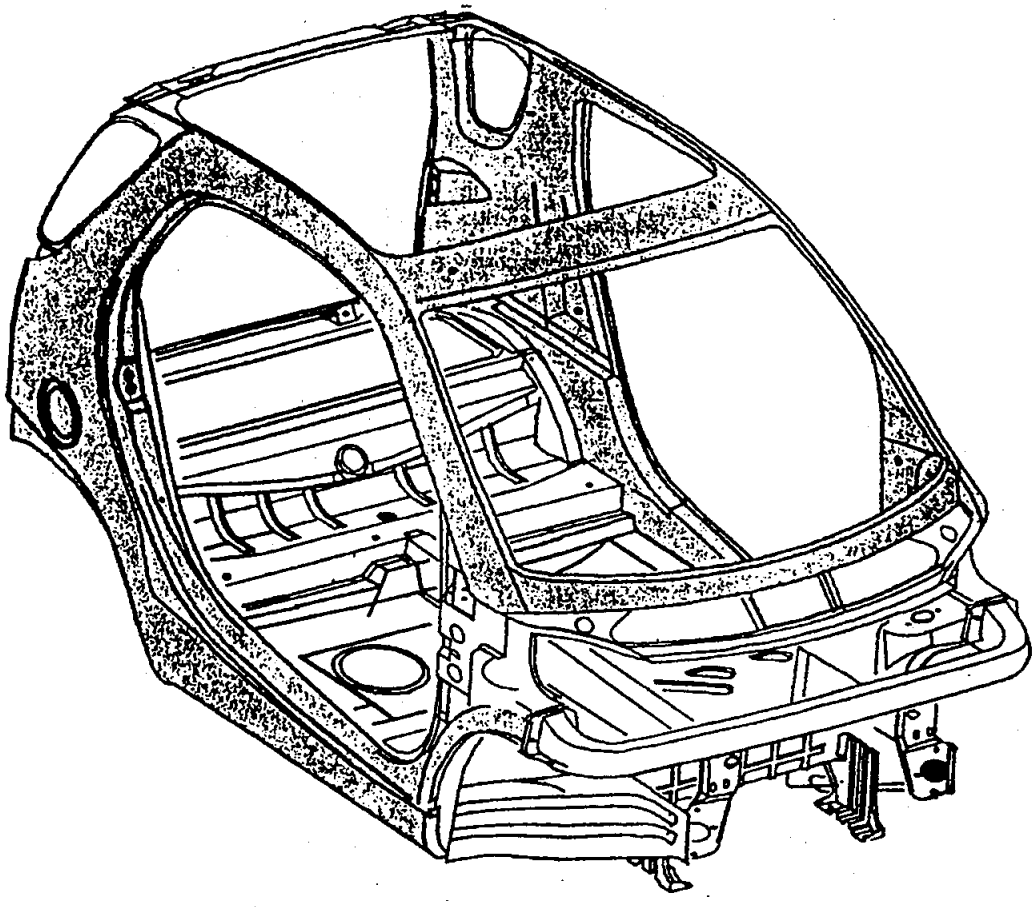


Abb. 4: Lackierumfang für die Decklackierung
(dunkle Bereiche werden mit Effektpulverdecklack beschichtet)

3 Kurzbeschreibung des Projektträgers

Die Firma Karl Wörwag Lack- und Farbenfabrik GmbH & Co. KG stellt Beschichtungsstoffe für die Kfz-Industrie, allgemeine Industrie, Zulieferindustrie sowie den Baubereich her /4/. Das Produktionsprogramm umfaßt dabei vier Gruppen:

- Pulverlacke
- Industrielacke
- Lacke für die Beschichtung von Kunststoffen
- Bautenfarben

Das Unternehmen beschäftigt derzeit etwa 500 Mitarbeiter.

Zu Wörwag mit Sitz in Stuttgart-Zuffenhausen gehören 3 Tochtergesellschaften, die All-Chemie AG in der Schweiz, die Peintures Wörwag in Frankreich und die Wörwag Coatings LLC in den USA. Der Umsatz des Unternehmens beträgt durchschnittlich etwa 140 Mio DM pro Jahr. 60% davon werden in der Automobilindustrie umgesetzt. In Renningen wurde 1997 eine Pulverlack-Produktionsstätte mit einer Jahreskapazität von 5000 t in Betrieb genommen.

Für den Smart ist die Firma Wörwag der Decklacklieferant. Sie liefert sowohl den 2K-Klarlack für die Kunststoffaußenbeplankung als auch den Anti-Chip-Pulverlack, den Pulverbasislack und den Pulverklarlack für den Space-Frame.

Der Smart-Produktion liegt ein Betreibermodell zugrunde:
Betreiber der Lackieranlage ist die Firma Surtema, eine Tochter der Eisenmann KG. Die Betreiberfirma übernimmt die Rohkarosserien in vereinbarter Qualität vom Betreiber der Karosseriefertigung (Fa. MAGNA) und liefert eine fertiglackierte Karosserie in die Montage ab (Betreiber: MCC).

4 Simulation und Untersuchung der Pulver-Decklackierung

4.1 Pulverlackproduktion

Die Herstellung von Pulverlacken läßt sich prinzipiell in folgende Produktionsschritte gliedern:

- mischen der pulverförmigen Komponenten
- extrudieren bei Temperaturen um 100°C
- abkühlen
- mahlen
- sieben
- verpacken

Effektpigmente werden dem Pulverlack normalerweise erst nach dem Mahlprozeß zugemischt (2-Phasen System), da sie sonst während des Mahlprozesses mechanisch zerkleinert werden. Nachteil des 2-Phasen Systems ist eine mögliche Separierung der beiden Phasen während der Lagerung, dem Transport und vor allem der Applikation und der anschließenden Wiedergewinnung des Effektpulvers. Um dies zu vermeiden, können die Effektpigmente an die Pulverpartikel gebunden, d.h. gebondet, werden. Das Bonding von Pulvermaterial kann derzeit in Europa nur von einigen spezialisierten Firmen durchgeführt werden.

Im Rahmen dieses Projektes wurden Effektpulverlacke, die nach verschiedenen Bondingverfahren hergestellt wurden, bezüglich ihrer erreichbaren Qualität und Eigenschaften miteinander verglichen.
Ermittelt wurde der Einfluß des Bondinggrades auf das Applikationsverhalten, die Verarbeitbarkeit, das Recyclingverhalten des Pulvers und die Appearance (Farbton, Effektausbildung und Glanz) der Beschichtung. Als Referenz dazu diente jeweils das Verhalten bzw. das Erscheinungsbild ungebondeter Pulverlacke.

4.1.1 Vergleich verschiedener Bondingverfahren

Beim Farbton Brillantsilber wurden die Effektpigmente mit 3 verschiedenen Verfahren an das Bindemittel gebondet. Zur Beurteilung und Charakterisierung der mit den unterschiedlichen Bondingverfahren hergestellten Effektpulver wurden die Korngröße, Kornform und Korngrößenverteilung herangezogen. Zusätzlich wurden die elektrostatisch applizierten und ausgehärteten Beschichtungen visuell auf Farbton, Glanz und Effektausbildung beurteilt.

Die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen für den Farbton Brillantsilber lassen sich wie folgt zusammenfassen:
Die mittlere Korngröße bewegt sich, in Abhängigkeit vom Bondingverfahren, in einem relativ engen Bereich von 26 – 32µm. Es ist kein großer Unterschied

zwischen den einzelnen Verfahren erkennbar. Der Anteil an kleinsten Partikeln (<5µm) liegt bei etwa 5%. Der Anteil an Partikeln größer 63µm streut zwischen 4% und 8%. Durch Variation der Bondingparameter kann die Korngrößenverteilung innerhalb eines Verfahrens modifiziert werden.
Die Untersuchungen der Pulverpartikel mittels Rasterelektronenmikroskopie zeigen, daß die Effektpigmente bei allen Verfahren auf den Pulverpartikeln gebondet vorliegen. Die Effektpigmente werden beim Bondingprozess zerkleinert und liegen relativ scharfkantig vor.
Die Effektpigmente sind sehr häufig in die Pulverpartikel eingebettet, bzw. kleine Pulverpartikel haften auf den Effektpigmenten. Dadurch ist eine gute Benetzung der Effektpigmente bei der Härtung gewährleistet.
Die Pulverpartikel besitzen eine unregelmäßige Struktur, sind jedoch relativ rund.
Die visuelle Beurteilung der Pulverlackbeschichtungen zeigen keine gravierenden Unterschiede zwischen den einzelnen Bondingverfahren, d.h. Farbton, Effektausbildung und Glanz sind vergleichbar.

4.1.2 Vergleich ungebondete / gebondete Effektpulverlacke

Die Untersuchungen wurden an den zwei Farbtönen Anthrazit und Silber medium im Vergleich zum Standardfarbton grau uni durchgeführt.
Beurteilungskriterien waren das visuelle Erscheinungsbild der ausgehärteten Beschichtungen, die Korngröße, Korngrößenverteilung und die Kornform der Pulverpartikel.

Die visuelle Beurteilung zeigt, daß der Farbton ungebondeter Effektpulverlacke dunkler und „gröber" ist als der gebondeter Systeme. Die Effektausbildung ist bei ungebondeten Systemen inhomogener, wodurch eine höhere Brillanz entsteht. Bei gebondeten Systemen ist die Effektausbildung dagegen homogener und somit die Brillanz geringer. Die gebondeten Systeme sind außerdem matter als die ungebondeten. Betrachtet man nur das Erscheinungsbild der Beschichtung, sind ungebondete Systeme den gebondeten gegenüber zu bevorzugen.
Beim Farbton Silber medium lagen für die Untersuchungen der Kornform keine ungebondeten Proben vor, so daß ein Vergleich zum gebondeten System nicht durchgeführt werden konnte.
Beim Farbton Anthrazit sind die gebondeten Partikel deutlich runder als die ungebondeten. Außerdem ist beim gebondeten Material der Anteil an Effektpigmentbruchstücken, die auf Pulverpartikeln haften bzw. eingebettet sind, deutlich höher als beim ungebondeten Pulverlack.
Durch das Bondingverfahren steigt der Anteil kleinster Partikel (<5µm) gegenüber den ungebondeten Systemen bei beiden Farbtönen von <1% auf 2-3% an.
Die mittlere Teilchengröße gebondeter und nicht gebondeter Effektpulver ändert sich beim Farbton Anthrazit nicht. Da sich beim Farbton Silber medium der Anteil an großen Partikeln > 80µm bei gebondeten Systemen reduziert, nimmt die mittlere Teilchengröße ab. Sie sinkt von etwa 23µm auf 19µm ab.
Die gebondeten Systeme besitzen generell einen höheren Anteil kleinster Partikel als das Standardsystem uni grau.

4.2 Prozeß-Simulationsanlage

Die für die Versuche entwickelte Prozeßanlage wurde in einem mobilen Container untergebracht. Die Versuchsanordnung wird in den Abbildungen 5 und 6 schematisch dargestellt.

Abb. 5 : Aufsicht auf die Prozeß-Simulationsanlage

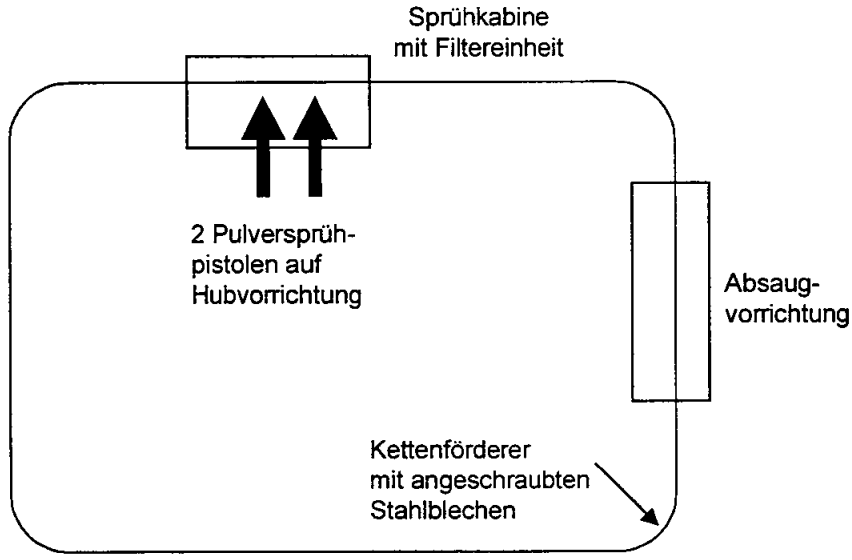
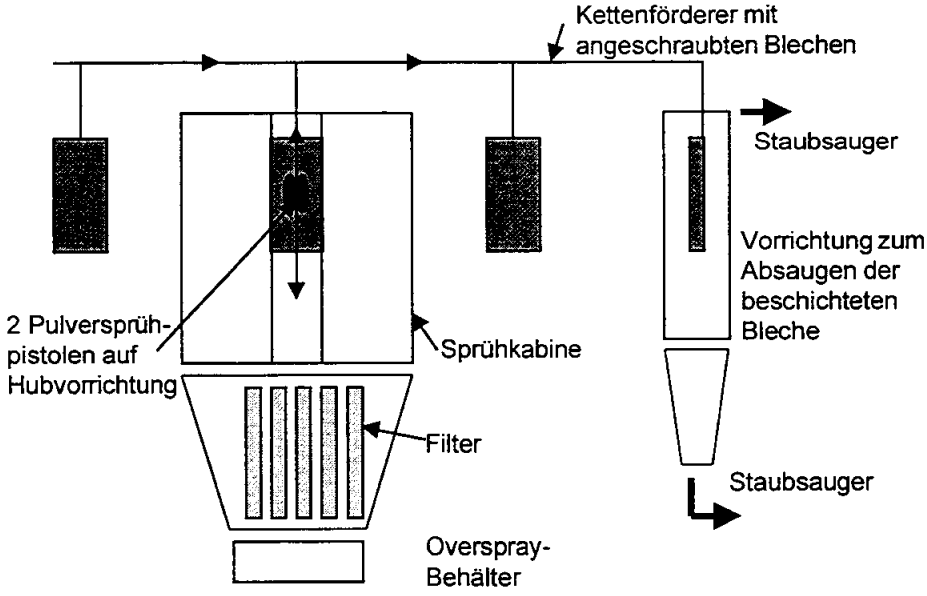


Abb.6 : Ansicht der Prozeß-Simulationsanlage



Effektpulverlacke auf Basis von Acrylat mit folgenden Farbtönen wurden darin verarbeitet:

- Grau uni (Referenzmaterial)
- Anthrazit
- Silber medium
- Brillantsilber

Es wurden sowohl ungebondete als auch gebondete Modifikationen von Effektpulverlacken untersucht.

Die Korngröße bzw. Korngrößenverteilung der Effektpulver wurde über ein Partikelmeßgerät nach dem Laserprinzip ermittelt. Die Kornform wurde mittels Rasterelektronenmikroskop (REM) mit Rückstreudetektor bestimmt.
Die gehärteten Beschichtungen wurden visuell und spektrometrisch beurteilt.
Zur Beurteilung des Verarbeitungs- bzw. Recyclingverhaltens wurde das Fluidisierverhalten, die Pulverausstoßmenge und der Auftragswirkungsgrad herangezogen.

4.3 Pulverlackapplikation

Die Untersuchungen wurden an den drei Farbtönen Anthrazit, Silber medium und Brillantsilber im Vergleich zum Standardfarbton grau uni durchgeführt.

In der Simulationsanlage wurde das Verarbeitungsverhalten der ungebondeten und gebondeten Effektpulverlacke ermittelt.
Dazu wurde die Fluidisierung des Materials, die Gesamtausstoßmenge des Pulverlacks, die Fließfähigkeit des Pulvers und der Auftragswirkungsgrad η bei der Beschichtung untersucht.
Im folgenden ist die Untersuchungsmethodik zusammengefasst dargestellt:

- Fluidisierung

In einen transparenten Behälter wurden 0,5 - 1kg Pulverlack eingewogen. Der Behälter wurde dann auf einen Rüttler montiert. Unter Vibration wurde mit der notwendigen Menge Luft fluidisiert, um eine optimale Fluidhöhe des Pulverlakkes zu erzielen. Die notwendige Luftmenge wurde für einen Standardpulverlack ermittelt. Reichte der für den Standard festgelegte Fluidluftdruck nicht aus, um mit den Effektpulverlacken eine vergleichbare Fluidisierung zu erzielen, wurde die Luftmenge angepaßt.
Geprüft wurde außerdem die Art der Fluidisierung, d.h. die Gleichmäßigkeit des Fluids oder z.B. die Neigung zur Fontänenbildung. Die Bewertung erfolgte frühestens nach einer Fluidisierungsdauer von 30 Minuten.

- Ausstoßmenge (g/min) / Fließfähigkeit

Die Ausstoßmenge und damit die Fließfähigkeit des Effektpulverlackes wurde über Wiegen des Pulverlackes im Behälter vor und nach der Applikation erfaßt.

Die Prüfung erfolgte jeweils nach einer 10-minütigen Pulverapplikation. Zum Einsatz kamen eine bzw. zwei Pistolen. Die Pistolenparameter wurden während der Messung nicht geändert.
Die Ausstoßmenge wurde auf 125 ± 5g/min eingestellt. Die Summe aus Förderluft und Dosierluft mußte 5 - 6m^3/h ergeben.

- Auftragswirkungsgrad η

Die Ausstoßmenge sollte etwa 125 ± 5g/min betragen. Die Fördergeschwindigkeit der zu beschichtenden Bleche sollte so gewählt werden, daß die Schichtdicke der Pulverlackschicht 70 - 80µm betrug. Es wurden 2 Bleche (500mm x 500mm) an die Aufhängevorrichtung der Versuchsanlage gehängt. Der Abstand zwischen den Blechen betrug 50mm. Der Hubautomat wurde so eingestellt, daß der Wendepunkt der Pistole genau an der oberen und unteren Blechkante war. Der Abstand zwischen Prallteller und Objekt betrug 185mm. Die Materialzufuhr wurde 200mm vor und 300mm nach dem Blech ein- bzw. ausgeschaltet. Die Probebleche wurden vor und nach Pulverauftrag gewogen. Die Gewichtsdifferenz wurde als „Pulvermenge am Objekt" angegeben.

Der Wirkungsgrad η berechnet sich folgendermaßen:

$$\eta = \frac{Pulvermenge\ am\ Objekt\ (g)}{Pulverausstoß\ (g/\min)} \times \frac{Fördergeschwindigkeit\ (m/\min)}{Breite\ des\ Bleches\ (m)} \times 100[\%]$$

Die Ergebnisse zu den Untersuchungen des Applikationsverhaltens lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Die Ausstoßmenge ist starken Schwankungen unterworfen, unabhängig davon, ob das System gebondet oder nicht gebondet vorliegt bzw. nach welchem Verfahren gebondet wurde.

Eine Aussage über eine unterschiedliche Fließfähigkeit der Systeme läßt sich nicht treffen.

Es kommt zu keinen Anbackungen innerhalb der Rohrleitung und dadurch zu keiner Verstopfung der Leitung.

Die eingestellte Ausstoßmenge wird innerhalb der ersten ein bis zwei Minuten erreicht. Während der restlichen Meßdauer kann die Ausstoßmenge relativ stark um diese vorgegebene Menge streuen (Abb. 7). Durch Einsatz des Steuergerätes Typ 2 schwankt die Ausstoßmenge kaum mehr (Abb. 8). Sie nimmt jedoch über die Dauer der Messung kontinuierlich leicht ab.

Abb. 7: Ausstoßmengen-Messung Effektpulverlack, Luftmengensteuerung mit Steuergerät Typ 1 /5/

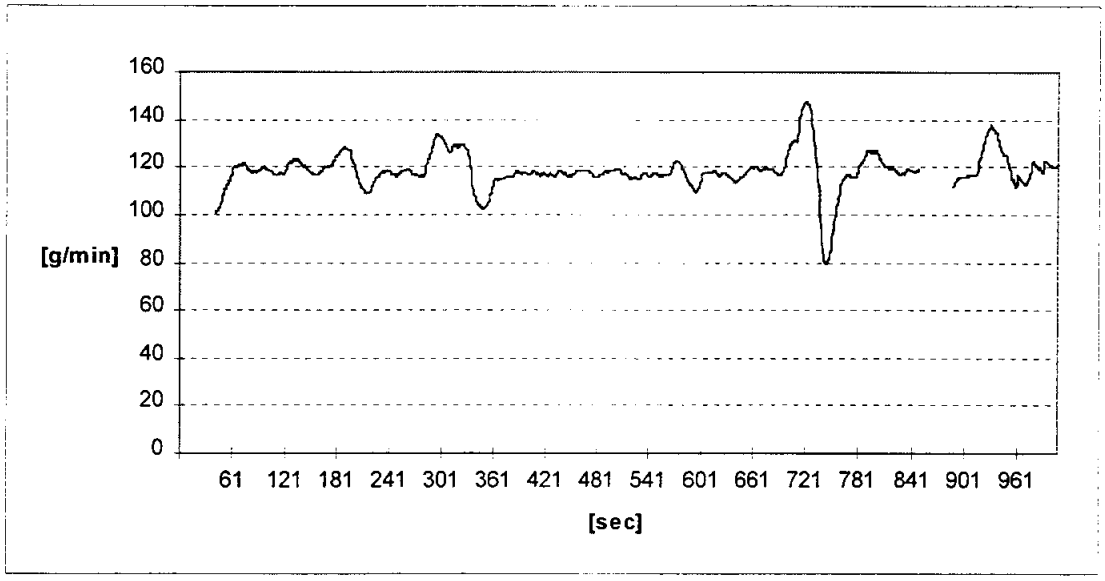
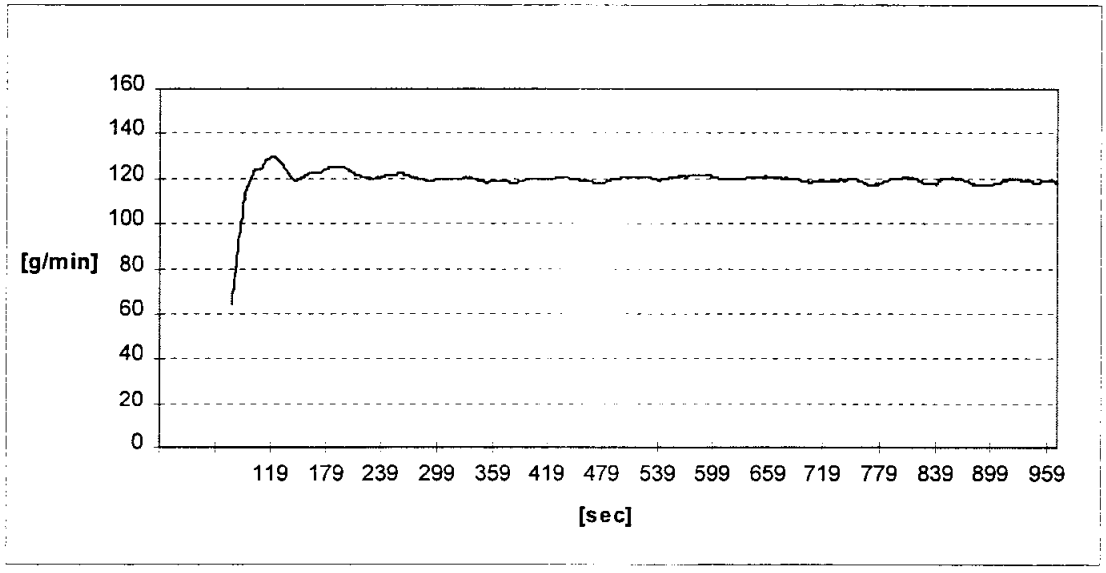


Abb. 8: Ausstoßmengen-Messung Effektpulverlack Luftmengensteuerung mit Steuergerät Typ 2 /5/



Die Auftragswirkungsgrade schwanken sehr stark, abhängig von den verarbeiteten Pulversystemen. Es zeigt sich, daß der Auftragswirkungsgrad bei der Applikation der gebondeten Effektlacke über dem der ungebondeten Systeme liegt. Der Auftragswirkungsgrad liegt beim Farbton Silber medium gebondet zwischen 72 % und 87%, während er beim ungebondeten System bei etwa <60% liegt. Beim Farbton Anthrazit liegt der Auftragswirkungsgrad beim gebondeten System zwischen 68 und 85%, beim ungebondeten System zwischen

69 und 73%. Der Grund für die hohen Auftragswirkungsgrade der gebondeten Systeme liegt darin, daß nur eine geringe Separierung von Pulverpartikeln und Effektpigmenten stattfindet und dadurch ein größerer Anteil der applizierten Pulverpartikel auch auf dem Bauteil auftrifft.

Gebondete Systeme sind etwas schlechter fluidisierbar als ungebondete. Das ungebondete Standardsystem (Farbton grau uni) läßt sich noch einfacher fluidisieren als die ungebondeten Effektpulverlacke. Dies könnte mit den fehlenden Effektpigmenten zusammenhängen, die durch ihre Plättchenform eine gute Fluidisierung behindern dürften.

4.4 Pulverlackoverspray-Recycling

Die Untersuchungen wurden an den drei Farbtönen Anthrazit, Silber medium sowie Brillantsilber durchgeführt.
Die Recyclingversuche wurden in der Prozeß-Simulationsanlage durchgeführt. Dazu wurden Stahlbleche durch den Kettenförderer in die Pulverkabine transportiert, dort automatisch beschichtet und anschließend wieder gereinigt. An der Reinigungsvorrichtung waren jeweils am Ein- und Ausgang Bürsten befestigt, die das auf dem Blech befindliche Pulver mit Druckluftunterstützung entfernten. Das Pulver, das über die Bleche hinaus gesprüht wurde (Overspray), wurde über Filter in einen Auffangbehälter geleitet. Der Vorgang wurde so lange wiederholt, bis man ca. 10kg Overspray erhalten hatte. Das Overspraypulver wurde abgeprüft und im Kreislauf wiederverwendet, so daß auch ein mehrfach wiederverwendetes Overspraypulver untersucht werden konnte.
Die Applikationsspannung wurde auf 70kV festgelegt. Dosierluft und Förderluft wurden so eingestellt, daß ein Pulverausstoß von 120 – 130g/min erreicht wurde.

Beurteilungskriterien waren wiederum das visuelle Erscheinungsbild der ausgehärteten Beschichtung, die Korngröße, die Korngrößenverteilung und die Kornform der Pulverpartikel. Für die Beurteilung des Applikationsverhaltens wurde der Auftragswirkungsgrad, das Fluidisierverhalten und die Gesamtausstoßmenge untersucht.

Die Korngrößen bzw. die Korngrößenverteilung zeigen, daß der Feinkornanteil <5µm beim Overspraypulver geringfügig zunimmt. Der Anteil an großen Partikeln > 80µm sinkt dagegen leicht ab, so daß die mittlere Korngröße der Rückgewinnungspulver insgesamt leicht abnimmt. Beim Farbton Anthrazit nimmt die mittlere Teilchengröße von etwa 21 - 23µm auf etwa 19 – 20µm nach der zweiten Rückgewinnung ab. Dieses Verhalten ist unabhängig davon, ob das System gebondet oder ungebondet vorliegt.
Beim Farbton Silber medium nimmt die mittlere Teilchengröße von etwa 20 – 22µm auf 17 – 20µm nach der zweiten Rückgewinnung ab. Dieses Verhalten ist ebenfalls unabhängig vom Bondingzustand.
Beim Farbton Brillantsilber nimmt die mittlere Teilchengröße von etwa 28µm auf 25µm ab.

Untersuchungen der Kornform zeigen, daß die Pulverpartikel durch das Rückgewinnen runder werden (siehe Abb. 9 - 11). Der Feinkornanteil nimmt gegenüber dem Frischpulver zu und ist beim gebondeten Material höher als beim ungebondeten Material.

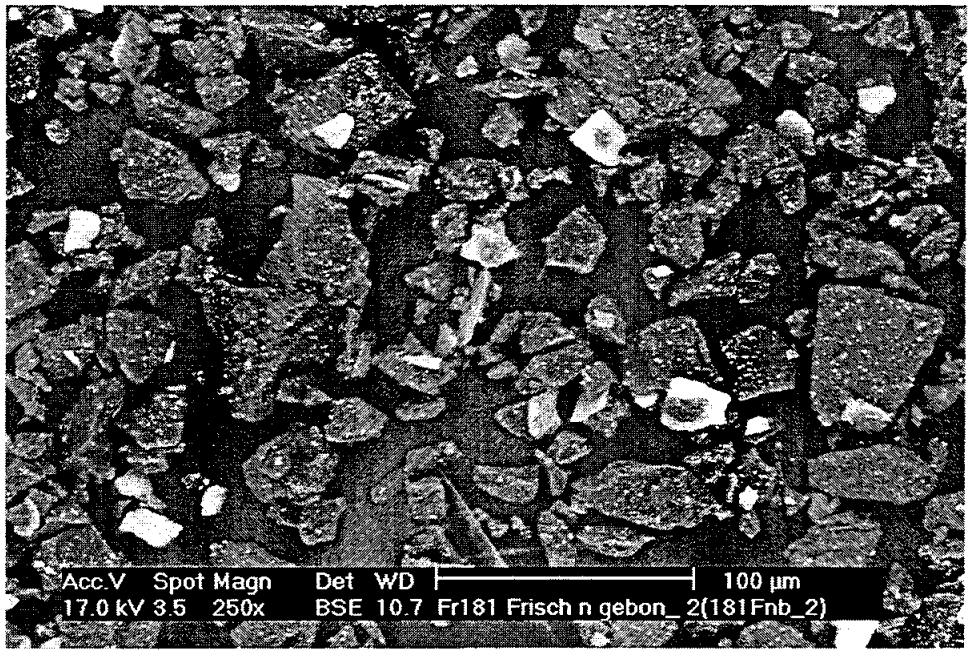


Abb. 9: REM-Aufnahme (250 fache Vergrößerung)
Effektpulverlack Farbton Anthrazit,
nicht gebondet, Frischpulver

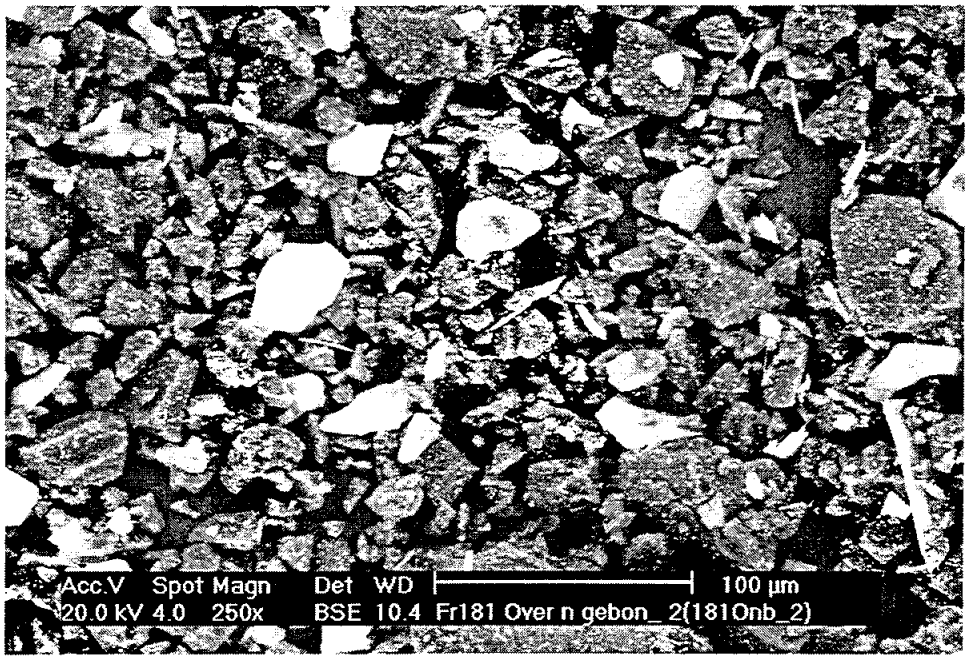


Abb. 10: REM-Aufnahme (250 fache Vergrößerung)
Effektpulverlack Farbton Anthrazit,
nicht gebondet, Recyclingpulver erste Generation

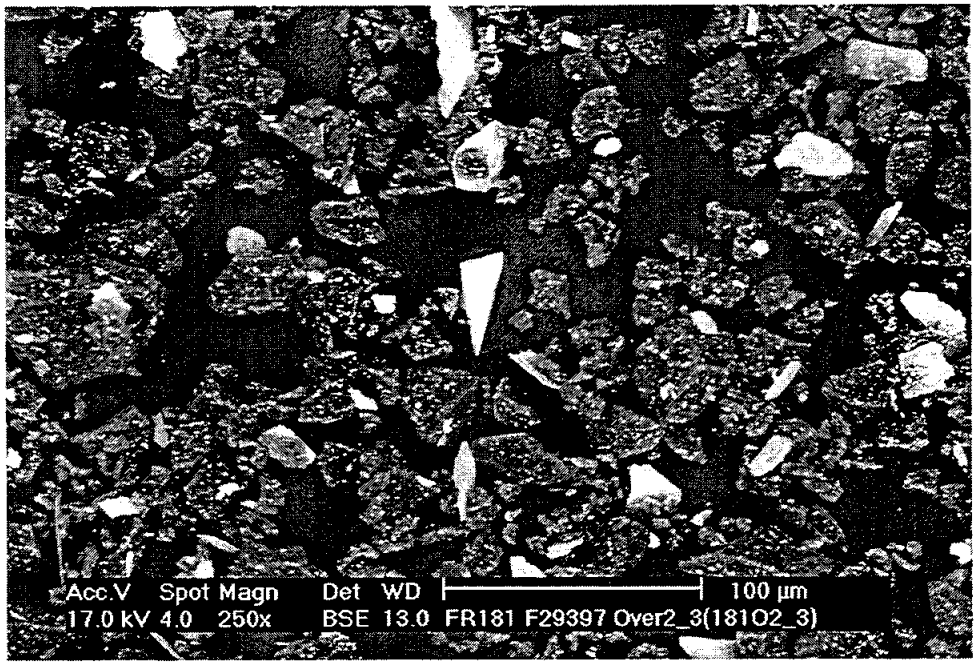


Abb. 11: REM-Aufnahme (250 fache Vergrößerung)
Effektpulverlack Farbton Anthrazit,
nicht gebondet, Recyclingpulver zweite Generation

Die visuelle Beurteilung des Farbtons, der Effektausbildung und des Glanzes zeigt, daß Beschichtungen aus Recyclingmaterial dunkler als Beschichtungen aus Frischpulver sind, unabhängig davon, ob das Pulver gebondet oder nicht gebondet vorliegt. Die Effektausbildung und der Glanz sind dagegen vergleichbar. Spektroskopisch ermittelte ΔE-Werte konnten für die Bewertung nicht herangezogen werden, da der Meßkopf des Meßgerätes keine aussagefähigen Daten ermittelte. Die Farbtonfreigabe muß deshalb visuell nach Grenzmustern erfolgen.

Im allgemeinen steigt der Auftragswirkungsgrad bei Einsatz von wiedergewonnenem Effektpulverlack an. Beim Farbton Anthrazit wurde eine Verbesserung des Auftragswirkungsgrads von 68-85% auf 73-86%, beim Farbton Silber medium von 57-84% auf 67-84% und beim Farbton Brillantsilber von 66% auf 67% ermittelt. Diese Erhöhung ist unabhängig davon, ob das Material gebondet oder nicht gebondet ist.

Bei den Farbtönen Silber medium und Brillantsilber sinkt der Fluidisierungsfaktor beim Overspraypulver leicht ab. Beim Farbton Anthrazit steigt er dagegen leicht an.

Die Gesamtausstoßmenge unterliegt einigen Schwankungen. Prinzipiell sinkt die Gesamtausstoßmenge von wiedergewonnenem Effektpulver beim Farbton Silber medium leicht ab, während sie beim Farbton Anthrazit und Brillantsilber leicht ansteigt.

5 Untersuchungsergebnisse

5.1 Pulverlack-Charakteristik

Die Ergebnisse der einzelnen Untersuchungen zur Charakterisierung und Beurteilung der Pulverlackmaterialien sind in der folgenden Übersicht mit den Vergleichskriterien zusammenfassend dargestellt.

Vergleich gebondeter und nicht gebondeter Effektpulverlacke:

Vergleichs-kriterien	**Effektpigment nicht gebondet**	**Effektpigment gebondet**
Phasen-trennung	zwei Phasen (Pulver + Effektpigment)	überwiegend eine Phase
Elektrostatik	unterschiedliches elektrostatisches Verhalten	einheitliches elektrostatisches Verhalten
Separierung von Pulver-korn und Ef-fektpigment an Pistolen-köpfen, in Sprühwolke	Separierung tritt auf ⇒ ungleichmäßige Abscheidung auf dem Bauteil „Bilderrahmeneffekt" ⇒ Gefahr der Entmischung beim Recycling	Separierung tritt selten auf ⇒ gleichmäßigere Abscheidung auf dem Bauteil, weniger Streifen, weniger Wolken ⇒ Recyclingmöglichkeit ist gegeben
Effektaus-bildung	inhomogen ⇒ höhere Brillanz	homogen ⇒ geringere Brillanz
Farbton	dunkel, grob	hell, fein
Glanz	hoch	niedrig
Auftrags-wirkungs-grad (η)	etwas geringer	etwas höher
Korngrößen-verteilung	homogen	inhomogen (teilweise hoher Anteil an kleinsten Pulverpartikeln)
Kornform	kantig	relativ rund

Effektpigmentlacke mit niedriger Pigmentkonzentration brauchen nicht gebondet werden. Beim Farbton Anthrazit ist ein Recycling auch im ungebondeten Zustand möglich. Bei hohen Effektpigmentkonzentrationen ist ein Bonding dagegen erforderlich.

Anmerkung zum Auftragswirkungsgrad:
Der Auftragswirkungsgrad ist von einer Reihe von Einflußgrößen abhängig. Neben der Gerätetechnik (z.B. Spannung, Luftstrom), Anlagentechnik (z.B. Kabinenluftstrom) und Werkstückgeometrie (z.B. Komplexität) ist der Auftragswirkungsgrad auch abhängig von der Art des Effektpigmentes. Bei metallischen Effektpigmenten liegt er niedriger als bei nicht-metallischen Effektpigmenten.

Vergleich Frischpulver und Recyclingpulver:

Vergleichs-kriterien	**Frischpulver**	**Recyclingpulver**
Farbton	Anthrazit, Silber medium, Brillantsilber	etwas dunkler als das Frischpulver
Glanz	vergleichbar	
Effektausbildung	vergleichbar	
Korngrößenverteilung	homogen	inhomogen (hoher Anteil an kleinen Partikeln)
Kornform	kantig	rund
Bonding-Effekt	Effektpigmenthaftung auf Pulverpartikeln bei gebondeten Systemen	Effektpigmenthaftung auf Pulverpartikeln bei gebondeten Systemen
Auftragswirkungsgrad	etwas niedriger	etwas höher
Fluidisierverhalten	vergleichbar	

Demnach ist das Recycling des Oversprays von Effektpulverlacken technisch möglich. Die wiederverwendeten Effektpulverlacke zeigen keine gravierenden Änderungen des Applikationsverhaltens und der Appearance der Beschichtung.

5.2 Qualitativer Vergleich der Beschichtungssysteme Pulver- und Flüssiglack

Die Decklackierung der Karosserien wird in der Regel nach heutigem Produktionsstand 2-schichtig ausgeführt. Nach der Applikation und der Abdunstung sowie Trocknung des farbgebenden Wasserbasislacks erfolgt in der Regel der Auftrag eines organisch-lösemittelhaltigen 2K-Klarlacks (2K-Serienlack-Aufbau). Die im Rahmen dieses Projekts untersuchte 1- und 2- schichtige Decklackierung mit Pulvereffektlackmaterial stellt dazu eine Alternative dar.

Abb. 12 zeigt einen qualitativen Vergleich der beiden Beschichtungsvarianten bezüglich folgender Vergleichskriterien:

- minimierte VOC-Emissionen,
- gutes optisches Erscheinungsbild,
- interne Recyclingfähigkeit des Oversprays,
- gute Beständigkeit,
- niedrige Schichtdicke,
- minimierter Platzbedarf und geringe Anzahl von Prozeßschritten,
- Nacharbeitsaufwand / -Konzept.

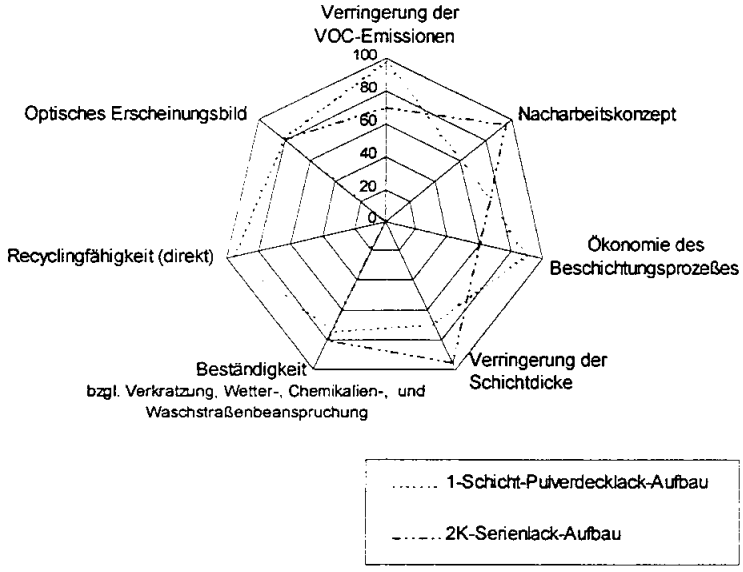


Abb.12: Qualitativer Vergleich 1-Schicht-Pulverdecklack-Aufbau mit 2K-Serienlack-Aufbau

Demnach hat die 1-schichtige Pulvereffektlackbeschichtung gegenüber dem 2-schichtigen Flüssiglack-Aufbau im Bereich der VOC-Verringerung und der Ökonomie des Prozesses (z.B. Platzbedarf, Anzahl der Herstellschritte) ihre Vorteile.

Vergleichbar ist die Pulvereffektlackierung bezüglich der optischen und qualitativen Vergleichskriterien einzustufen.

Nachteilig ist - systembedingt - die gegenüber der Naßlackbeschichtung höhere Schicktdicke und der Nacharbeitsaufwand.

5.3 Anforderungen an die Serienlackierung

Anhand der Erkenntnisse aus der Simulation des Prozesses im Technikumsmaßstab und der analytischen Untersuchungen wurden für die Detailplanungen zur Serienlackierung folgende Anforderungen abgeleitet und Rahmenbedingungen für die neue Lackieranlage zur Sicherstellung der Prozeßsicherheit erarbeitet.

Die wesentlichen Anforderungen an den Lackierprozeß mit den möglichen Maßnahmen sind im folgenden dargestellt:

1. konstante Pulverausstoßmenge
⇒ Durch den Einsatz moderner Geräte zur Luftmengensteuerung läßt sich die Pulverausstoßmenge relativ konstant einstellen. Die Ausstoßmenge ist nach Ergebnissen der Technikumsversuche unabhängig davon, ob gebondeter oder nicht gebondeter Effektpulverlack eingesetzt wird.

2. gleiche Ausstoßmengen bei allen Pistolen, die in der Beschichtungskabine eingesetzt werden
⇒ Durch Meß- und Regelkreise bzw. mittels Einsatz eines Steuergerätes kann die Ausstoßmenge pro Aggregat gesteuert werden.

3. konstante Fluidisierung des Pulvers im Fluidbehälter, d.h. konstante Fluidhöhe, homogenes Fluid ohne Fontänen
⇒ Durch ständige Frischpulvernachdosierung, eine konstante Luftmengenzuführung und ausreichende Vibration des Fluidbehälters läßt sich nach den Erfahrungen aus dem Simulationsbetrieb eine konstante Fluidisierung erreichen, unabhängig davon, ob gebondetes oder nicht gebondetes Effektpulver eingesetzt wird.

4. optimales Sprühbild, d.h. gleichmäßige Pulverlackwolke ohne Strähnenbildung
⇒ Dies soll durch eine optimalere Pulverführung in der Pulverpistole erreicht werden, unabhängig davon, ob gebondetes oder nicht gebondetes Effektpulver eingesetzt wird. Läßt sich am besten durch den Einsatz von gebondetem Effektpulverlack erzielen. Bei ungebondeten Pulverlacksystemen kommt es mehr oder weniger stark zur Separierung von Pulver und Effektpigmenten und dadurch zu einer ungleichmäßigen Sprühwolke sowie einer ungleichmäßigen Abscheidung auf dem Bauteil mit entsprechenden Effekt- und Schichtdickenunterschieden.

5. homogener Pulverlack, d.h. keine Separierung von Pulverpartikeln und Effektpigmenten im Fluidbehälter, in der Leitung und in der Sprühwolke
⇒ Die Separierung wird im allgemeinen durch Einsatz von gebondetem Pulverlack minimiert.

6. Einhaltung der Pulverspezifikation, d.h. der Korngrößenverteilung, des Farbtons, Effektes und Glanzes

⇒ Durch konsequente Kontrolle der Pulversysteme (Frischpulver und Overspray) in Bezug auf die Standardvorgaben soll diese Anforderung eingehalten werden. Die Appearance der Beschichtung ist im allgemeinen bei ungebondeten Systemen besser und interessanter als bei gebondeten.

7. konstante Temperatur und Luftfeuchte in der Pulverkabine
Das pulverlackspezifische Applikationsfenster ist mit folgenden Werten vorgegeben:
Optimale Verarbeitungstemperatur: 20 ± 2°C,
relative Luftfeuchte: 60 ± 10% r.F.
Bei höheren Temperaturen besteht die Gefahr von Ansinterungen und Vorreaktionen des Pulvers.
Bei höherer Luftfeuchte nimmt das Overspraypulver Feuchte auf und läßt sich dadurch schlechter verarbeiten.

⇒ Durch eine geeignete Klimatisierung sollen konstante Umgebungsbedingungen geschaffen und eingehalten werden.

8. Sauberkeit

⇒ Durch die Anwendung einer „Reinraumphilosophie" mit drei Reinraumabstufungen soll der Eintrag von Schmutz (z.B. Staub, Partikel, Abrieb, Fussel, etc.) von Außen in das System minimiert werden.

9. Anzahl der Farbtöne

⇒ Beim An- und Hochfahren der Anlage sollte die Anzahl der zu verarbeitenden Farbtöne minimiert sein. Mit zwei Farbtönen (Anthrazit und Brillant Silber) wird die Produktion gestartet. Die Farbtonanzahl sollte auf maximal ca. 8 begrenzt sein, um pro Kabine farbtonrein beschichten zu können.

10. Lackversorgung und Logistik (Lieferung, Lagerung)

⇒ In Hambach ist Pulverlackmaterial für 2 Wochen vorrätig. Es wird in Big Bags angeliefert und in klimatisierten Lagerräumen bei 18-20°C gelagert.

6 Pulvereffekt-Decklackierung des Space-Frames

In Hambach wurde die Produktionsstätte für den Smart realisiert. Nach Anlaufen der Serienproduktion sollen dort im Endzustand etwa 750 Karossen pro Tag lackiert werden.

Die Lackierhalle besteht aus einem eingeschossigen Gebäude in den Abmessungen L x B x H = 172,5m x 40m x 15m. Sie hat eine Grundfläche von ca. 7000m² und ist direkt neben dem Rohbau angesiedelt, so daß die Rohkarossen auf kürzestem Wege in die Lackierung gebracht werden können /6/. Im Juli 1998 wurde die Produktion gestartet und die Anlage schrittweise auf Vollast hochgefahren.

Das Lay-out des Lackierprozesses ist in Abb. 13 dargestellt /6/.

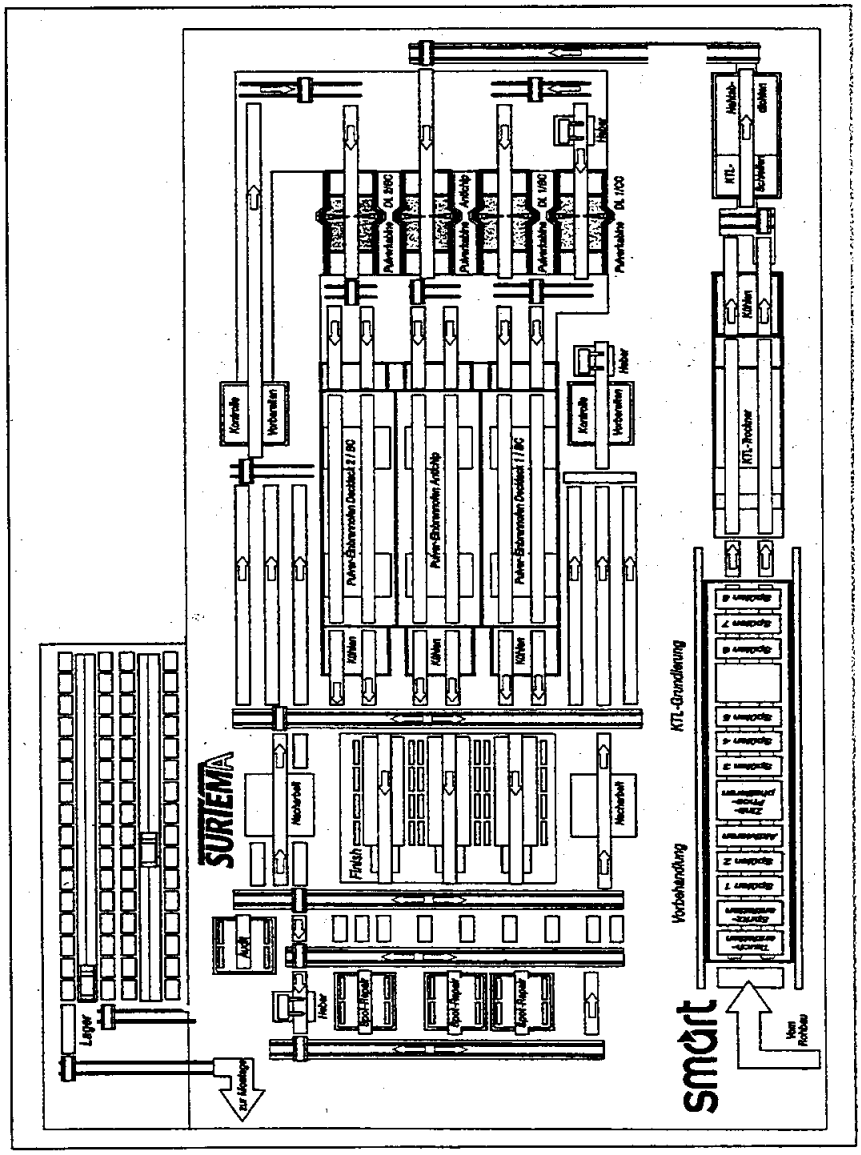


Abb. 13 Lackierprozeßablauf für den Smart (Quelle: Eisenmann)

Der erste Arbeitsgang innerhalb der Lackierung umfaßt die Vorbehandlung. Diese setzt sich aus einer Zinkphosphatierung ohne Passivierung und einer bleifreien kathodischen Tauchlackierung (KTL) zusammen. Für die Phosphatierung durchlaufen die Karossen im Übertauchverfahren 9 Becken. Für die KTL-Beschichtung nochmals 4 Becken.
Es werden jeweils 2 Space-Frames parallel vorbehandelt.

Der Ablauf der Vorbehandlung und der KTL-Beschichtung sieht folgendermaßen aus:

Tauchentfetten
Spritzentfetten
Tauchspülen I und II
Aktivieren
Tauch-Zinkphosphatierung
Tauchspülen I, II, III
KTL-Tauchen
Ultrafiltrat Tauchspülen I, II, III
KTL- Einbrennen

Daran anschließend folgt das Schleifen der KTL-Schicht und die PVC-freie Nahtabdichtung. Das Aufbringen der Nahtabdichtung erfolgt manuell. Ein flächiger Schutz der Bodengruppe erfolgt über eine Kunststoffabdeckung.
Die so vorbehandelten Karossen gelangen nun in die Steinschlagschutz-Pulverkabine. Dort werden die steinschlaggefährdeten Bereiche mit einem Anti-Chip-Pulver beschichtet. Nach Einbrennen des Anti-Chip-Pulvers werden die Karossen im abgekühlten Zustand in die Decklackpulverkabinen eingebracht, in denen der Effektpulverlack appliziert wird.
Für besondere Farbtöne wurde ein Zweischichtaufbau entwickelt, bei dem auf den Effektpulverbasislack noch zusätzlich ein Klarpulver, ebenfalls auf Acrylatbasis, appliziert wird. Bei dieser Lackierweise übernimmt der Basislack gleichzeitig die Funktion des Anti-Chip-Pulverlackes. Der Klarlack wird in einer separaten Pulverkabine appliziert. Nach der Effektpulverapplikation werden die Karossen in den Einbrennöfen ausgehärtet.
Bei den Öfen handelt es sich um indirekt gasbeheizte, mit A-Schleusen ausgestattete Umluftöfen. Nach einer 10- minütigen Aufheizzeit auf 175°C schließt sich eine 15- minütige Haltezeit bei 175°C Objekttemperatur an.
An die Einbrennöfen schließt sich der Finish- und Audit-Bereich an. Dort wird die qualitative Beurteilung der einzelnen Karossen nach vereinbarten Qualitätskriterien durchgeführt.
Die Einstufung erfolgt nach

- i.O.-Karossen
- Spot-Repair-Karossen
- Ausschleusung für zweiten Pulverdurchlauf

Die i.O.-Karossen verlassen die Lackierhalle nach der Hohlraumkonservierung und werden im Hochregallager bereitgestellt. Die Spot-Repair-Karossen können in drei verschiedenen Kabinen nachgearbeitet, einzelne Flächen reparaturlackiert oder punktuell ausgebessert werden /7/.
Karossen, die ein zweites Mal lackiert werden müssen, werden in Nacharbeitskabinen vorbereitet und anschließend der jeweiligen Decklacklinie zugeführt.

Im folgenden wird auf die wesentlichen Aspekte bei der Pulverapplikation des Space-Frames eingegangen /6,8,9/:

* Applikationstechnik

Für die Pulverapplikation werden paarweise angeordnete Corona-Pulversprüh-Pistolen („Twin-Pistolen") eingesetzt.
Die Twin-Pistolen sind jeweils auf einem Roboter positioniert. In die Pistolen ist eine Hochspannungskaskade und eine spezielle Außenelektrode integriert.
Für das Erreichen einer gleichmäßigen Schichtdicke ist ein Luftmengenmess- und Regelmodul zuständig. Es stellt sicher, daß der Pulvermengenausstoß an jeder einzelnen Pistole exakt den Sollwertangaben entspricht und immer konstant bleibt.
In der Anti-Chip-Kabine wird mit zwei Robotern mit je einer Twin-Pistole appliziert.
Die Decklackpulverkabinen sind mit zwei Robotern mit je einer Twin-Pistole, zwei beweglichen Automatik-Corona Pistolen (mit Prallteller) und einer stationären Corona-Pistole (mit Flachstrahldüse) ausgerüstet.
Die stationäre Pistole im Schwellerbereich wird mit Recyclingpulver betrieben. Die beweglichen Seitenpistolen mit Neupulver. Die Twin-Roboterpistolen können wahlweise mit Neu- oder Recyclingpulver betrieben werden. Es wurde speziell für das Smart-Projekt ein Pulverumschaltventil entwickelt.

* Pulverkabine

Es kommen Glaskabinen mit Edelstahlböden zum Einsatz. Durch flächenbündiges Einsiegeln der Scheiben ist die Innenseite der Glaskabine glatt, so daß sich kein bzw. kaum Pulver ablagern kann. Die konditionierte Luft wird über eine Filterdecke in die Kabine geführt. Die Kabinen sind mit Ein- und Auslaufschleusen für saubere Luftabtrennung sowie zusätzlich mit Glasschiebetüren ausgestattet, die während des Beschichtungsprozesses geschlossen bleiben. Die Kabinen besitzen keinen Zwischenboden. Das Overspraypulver fällt direkt in die unterhalb der Anlagenebene in einer Grube angeordneten Pulvertrichter und wird von da aus der Filterrückgewinnung (Sinterlamellenfilter) zugeführt. Für notwendige Begehungen zu Wartungs-, Instandhaltungs- oder Reinigungszwecken kann bedarfsweise ein vollflächiger Zwischenboden elektromotorisch eingefahren werden.

* Fördertechnik

Die Karossen werden auf Skids gesetzt und über Tragkettenförderer oder Rollenbahnen gefördert. Für den direkten Pulverbereich wurde ein spezielles Fördersystem entwickelt. Es besteht aus 2 Vorfahrwagen, die den Transport der

Karossen übernehmen. Dazu ist mittig in der jeweiligen Kabine eine frei überspannende Fahr- und Führungsschiene angebracht.

* Reinraumkonzept

Für möglichst fehlerfreie Beschichtungen (keine Staubeinschlüsse usw.) ist ein staubfreies Produktionsumfeld notwendig. Dies wurde durch eine Reinraumphilosophie mit den folgenden drei Raumabstufungen realisiert:

1. Freie Hallenfläche:
   Sie wird durch die Hallenbelüftung versorgt. Die Luft wird gefiltert, aber nicht klimatisiert.
2. Anlagentechnische Bereiche sowie die Räume, in denen die Pulvermaterialien gelagert oder verarbeitet werden:
   Diese Bereiche z.B. Lackierkabine, Schleuse, Zwischenräume, Kellergeschoss werden feinstgefiltert und voll klimatisiert.
3. Zwischenbereiche z.B. zwischen Vorbereitungsplätzen und Pulverkabinen sowie zwischen Pulverkabinen und –trocknern:
   Die Anlagentechnik wird eingehaust. Der Zugang des Personals zu diesen Bereichen erfolgt über Türen bzw. Luftschleusen.

7 Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Im Juni 1998 wurde die Produktion des Smart mit der Pulverdecklackierung des Space-Frames aufgenommen. Die applikations- und verarbeitungstechnischen Erfahrungen aus den Vorversuchen und Prozeßsimulationen, wie z.B. hinsichtlich Pulverausstoßmenge pro Applikationseinheit, Abstand zum Objekt etc., konnten direkt in die Serienlackierung übernommen werden.

In der Startphase wurde Anti-Chip-Pulverlack sowie ungebondetes Effektpulver des Farbtons Anthrazit verarbeitet. Bereits zwei Monate nach dem Produktionsstart konnte die 2-schichtige Decklackierung (Brillantsilber plus Pulverklarlack) in die Fertigung integriert werden.

Mittlerweile zeigt sich, daß der Erstauftragswirkungsgrad im Mittel aufgrund der relativ komplexen Form des Space-Frames bei etwa 60% liegt. Das Overspray-Pulver aus der Anti-Chip-Applikation wird intern mit Frischpulver abgemischt und über einen gemeinsamen Förder- und Dosierbehälter den Sprühgeräten wieder zugeführt. Insgesamt wird dadurch nach bisherigen Abschätzungen ein Materialnutzungsgrad des Anti-Chip-Pulvers in der Größenordnung von ca. 90 bis 95% erreicht. Für die beiden anderen Decklackprodukte ist durch die Applikationssteuerung und separate Pulverförderung des Frischpulvers und des Recyclingpulvers eine gezielte Beschichtung einzelner Flächen (z.B. Beschichtung von „B-Flächen" mit untergeordneter Verlaufsanforderung, erster Sprühgang der Karosseriefläche) mit Mischpulver vorgesehen.

Während der Produktionseinführung traten verschiedene Fehler in der Beschichtung auf, die zu Qualitätsproblemen geführt haben. Die Fehlerstellen wurden systematisch analysiert und zum Teil analytisch untersucht. Die möglichen Auslöser für die Fehlerstellen sind, wie bei der Kfz-Serienlackierung allgemein bekannt, sehr unterschiedlich. Woher die Auslöser im einzelnen stammen, muß in jedem einzelnen Fall durch eine Analyse und einen Funktionscheck der Anlagenteile und Materialströme geprüft werden. Dabei müssen die insgesamt komplexen Zusammenhänge der Einflußfaktoren berücksichtigt werden. Beispielsweise konnte durch die Modifikation und Verbesserung der Erdung der Ionisierungsstation vor der Pulverkabine das Problem der unterschiedlichen Ausrichtung von Pigmenten und der damit verbundenen partiellen Störung des Verlaufs und der Effektausbildung erfolgreich gelöst werden.

Die Einstellparameter des Lackierprozesses müssen ständig kontrolliert und geprüft werden. Bei Abweichungen werden Gegenmaßnahmen zur Modifizierung und Optimierung des Prozesses eingeleitet. Durch diese Vorgehensweise werden kontinuierlich Verbesserungen am Prozeß durchgeführt. Die Schwerpunkte der eingeleiteten Aktivitäten und Maßnahmenpläne dienen der Steigerung der Prozeßsicherheit und der Oberflächenqualität sowie der Schulung und Information des Personals.

8 Ausblick

Angeregt durch die bisherigen Erfolge bei der Praxiseinführung der Pulverbeschichtung in einzelnen Automobilwerken wird das Thema „Pulverlacke für die Karosserielackierung" mittlerweile in Europa und den USA mit großem Interesse diskutiert. Dies betrifft sowohl die Branche der Automobilhersteller als auch die Zulieferindustrie und die allgemeine industrielle Lackierindustrie, die Bedarf an qualitativ hochwertigen Beschichtungen haben, die gleichzeitig umweltfreundlicher und kostengünstiger sind als herkömmliche.
So wird neben den Planungen für neue Automobilwerke beispielsweise für den Bereich der Pkw-Anbauteilelackierung für verschiedene Anwendungsfälle bereits an Projektskizzen gearbeitet, um künftig die mehrschichtige Flüssiglakkierung der Anbauteile durch eine 1 bis 2-schichtige Pulverlackierung zu ersetzen. Bei der Lackierung von Anbauteilen ist zu beachten, daß die Substrate temperaturbeständig sein müssen, da die Einbrenntemperaturen der Pulverlakke relativ hoch sind (≥ 175°C). Vor allem temperaturempfindliche Substrate wie z.B. viele Kunststoffsorten können noch nicht mit Pulverlack beschichtet werden. Die Rohstoffhersteller entwickeln jedoch verstärkt neue Pulverlackmaterialien, die bereits bei niedrigeren Temperaturen eingebrannt, bzw. mit UV-Anlagen ausgehärtet werden können /10/.

Einer generellen Übertragbarkeit der für die Space-Frame-Beschichtung des Smart realisierten Pulverlackierung auf andere Karosserielackierungen sind nach heutigem Kenntnisstand durch die Anzahl der zu verarbeitenden Farbtöne Grenzen gesetzt. Die Farbtonanzahl sollte auf ca. 6 bis 8 begrenzt sein, da ein Farbwechsel bei der Pulverbeschichtung im Vergleich zur Flüssiglackierung aufwendiger ist. Bei einer insgesamt begrenzten Anzahl von Pulverfarbtönen besteht beispielsweise die Möglichkeit, die Standardfarben bzw. Hauptfarbtöne mit Pulverlack abzudecken und nur die verbleibenden Sonderfarbwünsche flexibel mit Flüssiglacken durchzuführen. Um Farbwechsel und den damit verbundenen Reinigungsaufwand pro Farbwechsel zu vermeiden, können bei einer Neukonzeption auch farbtonspezifische Pulverkabinen (z.B. mit verfahrbaren Wechselkabinen bei Farbwechseln) zum Einsatz kommen. Nachteilig ist bei diesem Konzept der höhere Platzbedarf und höhere Investitionskosten.

Durch die Erweiterung der Palette der erzielbaren optischen Effekte mit Pulverlackfilmen ist zudem mit Synergieeffekten im Bereich der Anwendung der Pulverbeschichtung für unterschiedliche Substrate in der allgemeinen industriellen Lackierung (z.B. Haushaltsgeräte, Gebrauchsgegenstände, Maschinenbau sowie allgemeine Metallteilebeschichtung) zu rechnen.

Zukünftige Entwicklungspotentiale zur weiteren Anwendung und Verbreitung der Pulverlacktechnologie sind in den Bereichen der Applikations-, Anlagen- sowie Verarbeitungstechnik zu erwarten.

Literatur

/1/ S. Paustian: Konturangepaßte elektrostatische Applikation von Hydrofüller am Beispiel der Kfz-Kleinserienlackierung, Projektbericht März 1998, Herausgeber: ABAG-itm

/2/ Renz, Hesse: Neue Lackierprozesse bei der Pkw-Lackierung, Vortrag DaimlerChrysler Verfahrensentwicklung

/3/ Abfallarme Produktionsverfahren: Studie Kfz-Serienlackierung, Dez. 1993, Herausgeber: ABAG-itm

/4/ Lacke und Farben nach Maß, Firmenbroschüre der Karl Wörwag Lack- und Farbenfabrik GmbH & Co. KG

/5/ Messungen der Firma Karl Wörwag Lack- und Farbenfabrik GmbH

/6/ H. Gohl: Das neue Einschichtpulverfinish beim „Smart"; Nov 97, Tagungsband 19/97, „Die EPS-Praxis 1997" Tagung: Praxis-Forum

/7/ D. Ondratschek: Neue Anwendungsmöglichkeiten der Pulverbeschichtung - Nacharbeitskonzept mit Pulverlacktechnologie, März 1997; Herausgeber: ABAG-itm

/8/ H. Mendler: Pulverapplikationstechnik beim „Smart" "; Nov. 97, Tagungsband 19/97, „Die EPS-Praxis 1997" Tagung: Praxis-Forum

/9/ U. Hanschke: Innovative Pulverbeschichtung rund ums Automobil, 3/89; I-Lack

/10/ M Cudazzo: Neu Anwendungsmöglichkeiten der Pulverbeschichtung - Untersuchung der Pulverbeschichtung von Kunststoffteilen, Jan. 1999; Herausgeber: ABAG-itm

Anhang

A1 Am Projekt beteiligte Unternehmen

Beteiligte Unternehmen	Ansprechpartner
ABAG-itm GmbH Stauferstr. 15 70736 Fellbach	Herr Grupp
DaimlerChrysler Forschung und Technologie Wilhelm-Runge-Str. 11 89081 Ulm	Herr Dr. Dannenhauer Frau Keller
Eisenmann Maschinenbau KG Postfach 1252 71082 Holzgerlingen	Herr Hanf
Micro Compact Car Entwicklungsgesellschaft für Automobile Systeme mbH Insustriestr. 8 71272 Renningen	Herr Sußmann
Karl Wörwag Lack- und Farbenfabrik GmbH & Co. KG Strohgäustr. 28 70435 Stuttgart	Herr Fritz Herr Dr. Peter Wörwag