

Programm Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung (BWPLUS)  
Forschungsbericht FZKA-BWPLUS

Einsatz lacksparender, elektrostatischer Hochrotationsglocken beim Lackieren von Holz  
und Holzwerkstoffen  
- Machbarkeitsstudie

D. Ondratschek, . K. Pulli, U. Hoffmann, J. Eichhorn, D. Michels

Universität Stuttgart  
Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb

Förderkennzeichen :BWD 20002

Die Arbeiten des Programms Lebensgrundlage Umwelt  
und ihre Sicherung (BWPLUS) werden mit Mitteln  
des Landes Baden-Württemberg gefördert

Januar 2001

Zusammenfassung	3
Summary	5
1 Ausgangssituation	7
2 Aufgabenstellung 10	
3 Wissenschaftlicher und technischer Stand	11
4 Versuchsdurchführung	18
4.1 Eingesetzte Werkstücke, Applikationstechnik und Lacke	18
4.2 Das Lackiertechnikum des Fraunhofer IPA	18
4.3 Anlagenparametrierung	18
4.4 Angewendete Meß- und Prüftechnik	20
4.4.1 Ermittlung des elektrischen Oberflächenwiderstandes	20
4.4.2 Bestimmung der Lackmaterialeigenschaften	21
4.4.3 Bestimmung der Lackschichtdicke	21
4.4.4 Bestimmung des Beschichtungswirkungsgrades	21
4.4.5 Weitere applikationstechnische Eigenschaften	22
5 Ergebnisse der Machbarkeitsstudie	24
5.1 Holz und Holzwerkstoff	24
5.2 Lackmaterial	24
5.3 Lackierkonzept	25
5.4 Flachteilelackieranlage	26
5.4.1 Erdungsmaßnahmen	26
5.4.2 Beschichtungswirkungsgrad und Lackierparameter	27
5.4.3 Kabinenwandmaterial und –verschmutzung	29
5.5 Lackieranlage mit Hängeförderer	31
5.5.1 Erdungsmaßnahmen	31
5.5.2 Beschichtungswirkungsgrad und Lackierparameter	32
6 Praktische Verwendbarkeit und Bedeutung der Ergebnisse	34
7 Kenntnistransfer	34
8 Literatur	36

## Zusammenfassung

Zur Reduzierung der Umweltbelastungen und der Kosten in der Holzverarbeitenden Industrie sind vor allem Maßnahmen zur Erhöhung der Materialnutzungsgrade von Bedeutung [1][2]. Die derzeit häufig eingesetzten Druckluft- und Airlesszerstäuber realisieren je nach Bauart lediglich Werte von 20 - 50 %. Die Folgen sind Lackmaterialverluste, Emissionen und Abfallentsorgungskosten. Zur Erhöhung der Materialnutzungsgrade werden in der Holzindustrie auch Lackoverspray-Recyclingtechniken eingesetzt. Für die vielen Anwendungen, bei denen Zweikomponentenlacke zum Einsatz kommen oder ein häufiger Lack-system- oder Farbwechsel erforderlich ist, müssen jedoch neue Wege zur Erhöhung der Materialnutzungsgrade gefunden werden.

Der Einsatz von Pulverlacken auf Holz hat sich bisher, aufgrund der für die Anwendung nicht vorhandenen Pulverlacksysteme und der erforderlichen Einbrennbedingungen nur in wenigen Fällen realisieren lassen.

Ein erfolgversprechender Ansatz ist der Einsatz effektiver Hochrotationszerstäuber zur elektrostatischen Beschichtung von Holzwerkstoffen.

Beim AIF-Vorhaben (Nr. 10820 N/1) "Entwicklung von fertigungstechnischen Maßnahmen zur Anwendung elektrostatischer Lackierverfahren für Kunststoffteile" (01.9.1996 bis 31.05.1998) wurde folgendes Konzept zur elektrostatischen Lackierung von Kunststoffteilen entwickelt [3]: Die bei der Lackverarbeitung den Lackpartikeln mitgegebene elektrostatische Ladung wird beim Benetzen der Werkstückoberfläche mit Lack über den Naßlackfilm abgeführt. Diese Vorgehensweise kann durch zusätzliche Maßnahmen (z.B. Einsatz von Gas- und Drücke Elektroden, Werkstückträger aus Nichtleitermaterialien, leitfähige, geerdete Hinterlegung der Werkstücke und eine erhöhte Umgebungs-Luftfeuchtigkeit bei der Lackverarbeitung) unterstützt werden.

Das Ziel dieser Machbarkeitsstudie war, die Realisierbarkeit des beim AIF-Vorhaben gefundenen Konzeptes für die Holzverarbeitende Industrie zu überprüfen.

Die wesentlichen in der Studie untersuchten Maßnahmen bezogen sich auf die Variation der Erdungsdynamik in Verbindung mit einer variablen Parametrierung der Lackieranlage (Lenkluftvolumenstrom, Sprühabstand, Spannung). Die Untersuchungen wurden überwiegend nach dem Prinzip "Abführung der Ladungen über den Naßlackfilm" durchgeführt, da dieses Lackierkonzept bei Verwendung leitfähiger Lacke mit einfachen Maßnahmen umsetzbar ist. Desweiteren wurden mittels Variation der Warenträgerkonstruktion zwei unterschiedliche Anlagentypen simuliert:

1. Flachteilelackieranlage mit Bandförderung und
2. Lackieranlage mit Hängeförderer.

Die hieraus resultierenden Beschichtungswirkungsgrade mit der Anwendung elektrostatischer Hochrotationszerstäuber zeigen eine Steigerung von bis zu 35 % im Vergleich der Ergebnisse einer Lackierpistole mit Niederdruckluftzerstäubung (HVLP).

Konkret wurde bei einer offenen Förderbandkonstruktion ein Beschichtungswirkungsgrad von ca. 93 % erreicht. Der maximal erreichte Beschichtungswirkungsgrad einer HVLP-Anlage lag dagegen lediglich bei 60 %.

Bei den Untersuchungen wurden mittels elektrostatischer Hochrotationszerstäubern mit Kontaktaufladung folgende Werte erzielt:

- \* Erhöhung des Beschichtungswirkungsgrades um rund 35 %,
- \* Reduzierung des Lackverbrauchs um rund 30 % sowie
- \* Absenkung des Lackkoagulanfalls um rund 80 %.

In einer weiteren Versuchsreihe wurde die Verschmutzungsneigung der elektrostatischen Applikation in Abhängigkeit von verschiedenen Anlagenparametern aufgezeigt. Demnach ist eine Umrüstung von derzeit im Einsatz befindlichen Anlagen mit Metallgehäuse durch eine ausreichende Isolation mit einem 30 mm starken Kunststoffmaterial zu realisieren.

Die Eignung des Lackierkonzeptes "Abführung der Ladungen über den Naßlackfilm" wurde in der Machbarkeitsstudie für Holz und Holzwerkstoffe nachgewiesen.

Für die holzverarbeitende Industrie sollen in einem Folgevorhaben die verfahrenstechnischen Grundlagen zur Weiterentwicklung und Optimierung bei den Geräten und Anlagen zum Einsatz elektrostatischer Hochrotationsglocken bereitgestellt und diese in Form von Empfehlungen und Einsatzstrategien aufgearbeitet werden.

## Summary

For the reduction of the environmental impacts and the costs in the woodworking industry the increase of the material efficiencies is of most importance [1][2]. The common used compressed air atomizers implement values of 20 - 50 %, depending on the constructive design. The consequences are lacquer wastes, emissions and refuse disposal costs. For the increase of the material efficiencies in the wood industry also oversprayrecyclingtechnologies are in use. For many applications, in which two-component lacquers are used or a frequent lacquer color change system is necessary, have to be found new ways to the increase of the material efficiencies.

The use of powder coatings on wood has been realised only in few cases, due to the application available powder coating systems and the necessary curing conditions.

A success-promising application is the implementation of effective high rotation atomizers for the electrostatic coating of timber materials.

During the AIF project (No. 10820 N/1) "Development of technical measures for the application of electrostatic painting procedures for plastic parts " (01.09.1996 to 31.05.1998) the following concept for the electrostatic lacquer finish of plastic parts has been developed [ 3 ]: The electrostatic charge, given to the paint particles during the lacquer process, exhausts when moistening the workpiece surface with laquer by the wetpaintfilm. This procedure can be supported by additional measures (e.g. gas and pressing electrodes, workpiece carrier of nonconductor materials, conductive, grounded deposit of the workpieces and a increased ambient air humidity during the lacquer process). The target of this feasibility study was to check the implementation of this concept for the timber industry, referring to the AIF-project.

The substantial measures examined in the study referred to the variation of the grounding dynamics in connection with a variable parameter-adjustment of the spraysystem. Furthermore two different installation types were simulated by means of variation of the workpiece carrier construction

1. Flat part coatingsystem with beltconveyor
2. Coatingsystem with hanging conveyor

Resulting from this, the material efficiencies (AWG) with the application of electrostatic high rotation atomizers showed an increase of up to 35% in the comparison of the results of a HVLP system. With an open beltconveyor construction a material efficiency of approx. 93% was achieved. The max. achieved AWG of a HVLP system was situated in contrast to this with only 60%. In a further test series the contamination inclination of the electrostatic application was pointed out as a function of different system parameters. Therefore a reequipment from systems which were presently in use with metal housing, is to be

implemented by sufficient isolation with plastic material (30 mm strong).

For the woodworking industry the process engineering bases and optimization to the advancement with the devices and systems, supplied to the application of electrostatic high rotation bells, should be regenerated in a subsequent project in the form of recommendations and application strategies.

## Ausgangssituation

Der Lackierprozeß für Holz und Holzwerkstoffe entwickelte sich in den letzten Jahren zu einem teuren und schwer beherrschbaren Fertigungsschritt. Ursachen sind z.B.

- \* die steigende Beschichtungsqualität,
- \* die flexibleren Prozesse (Lack- und Farbwechsel),
- \* der Einsatz umweltschonenderer Lacke (engere Verarbeitungstoleranzen) und
- \* die Investitionen zur Erfüllung der Emissionsauflagen.

Der hohe Kostendruck, der heute die Holzbranche allgemein belastet, läßt sich nur über das systematische Erkennen und Nutzen von Rationalisierungschancen abbauen.

Bei der Lackierung von Holzteilen wird überwiegend die Druckluft- oder Airlesszerstäubung eingesetzt. Die hierbei erreichbaren Lackmaterialnutzungsgrade liegen je nach Teilegeometrie zwischen 20 % und 50 % [1] [2]. Vor diesem Hintergrund sind die derzeit in der Branche noch überwiegend eingesetzten konventionellen Spritzlackierverfahren mit ihren hohen Materialverlusten, Emissionen und Abfallmengen zunehmend kritisch zu beurteilen. Insbesondere Technologien zur Reduzierung des Lackmaterialeinsatzes und damit verbunden zur Verminderung der umweltbelastenden Emissionen und Abfälle als wichtige Beiträge zur Kostensenkung sollten heute an der Spitze der Planungsziele stehen (Bild 1.1) [4].

In der holzverarbeitenden Industrie werden bisher mengenmäßig die meisten Lackoverspray-Recyclingsysteme mit gutem Erfolg eingesetzt. Für die vielen Anwendungen, in den die Recyclingtechniken nicht einsetzbar sind ( z.B. 2K-Lacke, häufige Farbwechsel ) müssen andere Wege gefunden werden.

Die Beschichtung von Holz und Holzwerkstoffen mit Pulverlacken ist bisher erst in wenigen Serienanwendungen realisiert. Im wesentlichen ist dies darauf zurückzuführen, daß es bei Holz mit den herkömmlichen Pulverlacken bei den erforderlichen Einbrenntemperaturen zu Ausgasungen kommt. Die Einführung der Pulverbeschichtung in der Holzbranche ist deshalb an die Entwicklung neuer Generationen von Pulverlackmaterialien mit angepassten Aufschmelz- und Reaktionsmechanismen gebunden. Desweiteren kann bei der Anwendung von Pulverlacken das hier beschriebene Konzept der Ladungsableitung nicht realisiert werden, da Pulverlacke, als Nichtleiter, auszuschließen sind. Aus diesem Grund wurde beim Vorhaben das elektrostatische Lackieren nur mit Flüssiglacken untersucht.

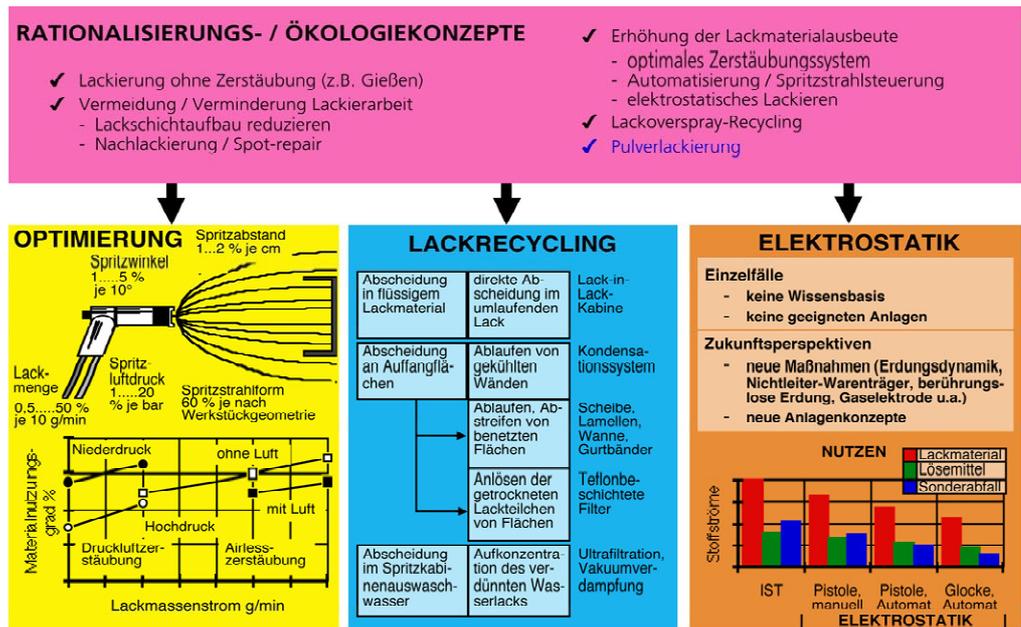


Bild 1.1: Forschungsbedarf für die Holzlackierung

Der Einsatz von elektrostatischen Lackierverfahren setzt Werkstücke voraus, die zum hochspannungsführenden Sprühorgan bzw. zu den aufgeladenen Lackpartikeln einen elektrischen Gegenpol bilden, so daß

- \* die elektrischen Feldkräfte zum Transport der Partikel zum Werkstück und
- \* die Coulombkräfte zwischen den Partikelladungen und ihren influenzierten Spiegelladungen an der leitfähigen, geerdeten Werkstückoberfläche zur Abscheidung der Partikel

genutzt werden können. Holz und Holzwerkstoffe sind elektrische Nichtleiter, d.h. es ist

- \* keine Felddausbildung zwischen Sprühorgan und Werkstück,
- \* keine Erdung der Werkstückoberfläche und damit
- \* keine Wirkung der Coulombkräfte sowie keine definierte Ladungsableitung

zum Erdpotenzial möglich. Um Holz elektrostatisch lackierbar zu machen, muß entweder durch entsprechende Präparation der Teile vor der Beschichtung eine ausreichende Oberflächenleitfähigkeit hergestellt oder durch andere Maßnahmen erreicht werden, daß zumindest während der Beschichtung die elektrischen Feld- und die Coulombkräfte wirken sowie die Ladungen abgeleitet werden können.

Die Maßnahmen zur Präparation der Teile für eine Erhöhung der elektrischen Oberflächenleitfähigkeit (z.B. Vorbeschichtung mit Leitlacken, Erhöhung der Holzfeuchtigkeit, Erwärmung der Holzteile) stellen generell zusätzliche und kostenintensive Arbeitsschritte dar, die zusätzlich ei-

nen negativen Einfluß auf die Bauteilqualität haben können (z.B. Rißbildung bei der Holzbefeuchtung). Beim AIF-Vorhaben (Nr. 10820 N/1) "Entwicklung von fertigungstechnischen Maßnahmen zur Anwendung elektrostatischer Lackierverfahren für Kunststoffteile" (01.9.1996 bis 31.05.1998) wurde folgendes Konzept zur elektrostatischen Lackierung von Kunststoffteilen entwickelt [3]:

Die bei der Lackverarbeitung den Lackpartikeln mitgegebene elektrostatische Ladung wird beim Benetzen der Werkstückoberfläche mit Lack über den Naßlackfilm abgeführt. Diese Vorgehensweise kann durch zusätzliche Maßnahmen (z.B. Einsatz von Gas- und Drücke Elektroden, Werkstückträger aus Nichtleitermaterialien, leitfähige, geerdete Hinterlegung der Werkstücke und eine erhöhte Umgebungs-Luftfeuchtigkeit bei der Lackverarbeitung) unterstützt werden.

## Aufgabenstellung

Ziel dieser Machbarkeitsstudie ist die Demonstration der generellen Umsetzbarkeit des elektrostatischen Lackierens von Holz mittels elektrostatischen Hochrotationszerstäubern. Der Schwerpunkt der Machbarkeitsstudie soll auf dem im AIF-Vorhaben [3] für Kunststoffteile gefundenen Konzept des Ladungsabflusses über den Naßlackfilm mit oder ohne unterstützende Maßnahmen (Feldsteuerung) liegen. Dieses Lackierprinzip ist technisch einfach zu realisieren und ohne negative Beeinflussung auf das Holzsubstrat.

Diese erste Studie dient als Grundlage für ein Folgeprojekt, bei dem anhand dreier repräsentativer Praxisanwendungen (geplant sind Fensterrahmen, KFZ-Innenteile und Fronten für Küchenmöbel) konkrete Empfehlungen erarbeitet werden sollen. Dadurch können, bei produkt- und produktionsspezifischen Vorgaben, fertigungsgerechte Maßnahmen bezüglich Warenträgerkonstruktion und -material, einer möglicherweise notwendigen Holzteile-Präparation sowie der Erdung und der Prozessführung getroffen werden.

Eingesetzt werden die elektrostatischen Lackierverfahren in der Holzindustrie z.B. bei der Lackierung von Paneelen, Stühlen [5] und Fenstern [6]-[8]. In einem Fall werden auch elektrostatische Hochrotationsglocken auf Küchenmöbeloberflächen eingesetzt [9]. Es bestehen jedoch bisher noch keine umsetzbaren Regeln zur breiteren Anwendung der elektrostatischen Lackierung auf Holzwerkstoffen. Maßnahmen, die eine elektrostatische Lackierung von Holz, Holzwerkstoffen und kunststoffbeschichteten Holzwerkstoffen ermöglichen, sind z.T. seit Jahren bekannt und in wenigen betriebsspezifischen Einzelfällen erprobt. Die zahlreichen Einflußgrößen und deren Wechselwirkungen, die sich im Zusammenhang mit den Maßnahmen auf die elektrostatische Lackabscheidung auswirken, wurden bisher nicht systematisch untersucht, so daß die Erkenntnisse bei den realisierten Anwendungsfällen nicht ohne weiteres auf andere Produkte und Anlagen übertragen werden können. Die bisherigen allgemeinen Praxiserfahrungen sowie die Ergebnisse einer Literaturrecherche ergeben folgenden Stand bezüglich der möglichen Maßnahmen zur Durchführung der elektrostatischen Lackierung in der Holzindustrie:

- \* Verwendung von Kunststoff- und Holzwerkstoffmaterial mit eingearbeiteten leitfähigen Zuschlagstoffen (z.B. Ruß oder Kohlefasern): Diese Materialmodifikationen wurden bisher nur für Kunststoffe untersucht; sie sind prinzipiell aber auch für Folien (folienbeschichtete Holzwerkstoffe) und Holzwerkstoffe (z.B. MDF) denkbar. Nach den bisherigen Erfahrungen mit Kunststoffen ist zwar eine permanente hohe Leitfähigkeit einstellbar, es verändern sich dabei jedoch auch die übrigen Eigenschaften der Kunststoffe [10][11] [12]. Nicht zuletzt aufgrund der erheblichen Mehrkosten bei der Teileherstellung wird diese Maßnahme auf wenige Einzelanwendungen beschränkt bleiben.
- \* Auftragen von leitfähigkeitserhöhenden Lösungen auf die Teileoberfläche, z.B. durch manuelles Wischen oder Sprühen: die elektrostatische Lackierung kann, bei entsprechend verträglichen Materialien, direkt auf die noch feuchte Leitlösungsschicht erfolgen [13]. Kritisch ist bei dieser Maßnahme der zusätzliche Materialeinsatz (oft verbunden mit Lösungsmittlemissionen) sowie eine nicht konstant bleibende Wirkung. Sinnvoll ist die Erprobung wäßriger Leitlösungen in Verbindung mit Wasserlacken, wobei jedoch die Holzfaserverquellung zu berücksichtigen ist.
- \* Auftragen von Lösungen mit leitfähigkeitserhöhenden Additiven auf die Kunststoffteileoberfläche, z.B. durch Wischen [14]. Die Additive bilden nach der Trocknung einen leitfähigen Aufbau auf der Werkstückoberfläche. Kritisch sind bei dieser Maßnahme unerwünschte Nebeneffekte, wie z.B. osmotische Effekte bei der Feuchtigkeitsbelastung des Lackfilms [15]. Darüber hinaus können beim bisher üblichen hohen Gehalt dieser Lösungen an organischen Lösungsmitteln erhebliche Emissionsprobleme auftreten [16].
- \* Auftragen leitfähiger Plasmapolymer-Schichten [17]-[19]; diese Art von Schichten für Kunststoffoberflächen befindet sich noch in der Entwicklungsphase. Kritisch sind u.a. der hohe apparative Aufwand bzw. die hohen Mehrkosten sowie die fertigungstechnisch zu langen Beschichtungszeiten, so daß diese Maßnahme nur für wenige Fälle mit Kunststoffoberflächen interessant ist, bei denen eine Plasmabeschichtung aus anderen Gründen erforderlich ist.

- \* Auftragen einer Vorbeschichtung, z.B. in Form einer Grundierung oder Beize mit leitfähigen Inhaltsstoffen [20]-[22], die nach dem Trocknen bzw. Härten eine leitfähige Schicht bilden. Mit dieser Maßnahme ist eine gezielte, permanente Oberflächenleitfähigkeit einstellbar. Bei einer zusätzlichen Vorbeschichtung ist in der Regel ein hoher Arbeits-, Verfahrens- und Kostenaufwand erforderlich. Sinnvoll ist diese Maßnahme nur, wenn eine aus anderen Gründen erforderliche Vorbeschichtung leitfähig eingestellt werden kann.
- \* Durch die Erwärmung der Werkstückoberfläche, z.B. auf 60°C bis 80°C, ist eine Absenkung des Oberflächenwiderstandes von Kunststoff- und Holzoberflächen zu erwarten. Der Umfang der Wirkung bei den unterschiedlichen Substraten ist bisher nicht bekannt. Vor allem aufgrund der in der Produktionspraxis schwierig zu beherrschenden Teiletemperatur wird diese Maßnahme auf Ausnahmefälle beschränkt bleiben.
- \* Eine erhöhte Umgebungs-Luftfeuchtigkeit führt insbesondere bei den Hölzern und bei einigen Kunststoffen zu einer Feuchtigkeitsaufnahme und damit zu einem merklichen Absinken des Oberflächenwiderstandes [23]. Die Wirkung wird jedoch von zahlreichen Randbedingungen, u.a. von der Einwirkdauer und vom Lackmaterial beeinflusst.
- \* Die Erhöhung der Holzfeuchtigkeit an der Werkstückoberfläche oder im gesamten Holzteil ist in einigen Einzelfällen die einfachste Maßnahme zum elektrostatischen Lackauftrag. Je nach Holzsorte sind Holzfeuchtigkeiten von 8 bis 12 % ausreichend [24]. Bei vielen Holzwerkstoffen, folienbeschichteten Holzwerkstoffen und Kunststoffoberflächen ist diese Maßnahme nicht möglich. Hinzu kommt, daß aus Qualitätsgründen die Holzfeuchten in der Praxis unterhalb von 10 % liegen. Zu prüfen ist daher der Zusammenhang zwischen der Erhöhung der Holzfeuchte nur im Oberflächenbereich, z.B. durch Bedampfen, der Wirksamkeit der elektrostatischen Lackierung und der Qualität.
- \* Die leitfähige, geerdete Hinterlegung der Werkstücke ist bei solchen Teilen möglich, die lediglich auf den Außenflächen bzw. nur auf einer Seite elektrostatisch zu lackieren sind. Bei dieser Maßnahme ist kein zusätzlicher Prozeßschritt und kein zusätzlicher Materialeinsatz erforderlich. Die Hinterlegung kann z.B. durch geerdete Metallflächen erfolgen (durch entsprechende

Werkstückträger-Gestaltung), wobei ein direktes Anliegen der leitfähigen Hinterlegung am Teil wichtig ist [25]. Die wenigen bisherigen produktionsmäßigen Lösungen dieser Art wurden rein empirisch entwickelt, weil sich die tatsächliche Wirkung solcher Maßnahmen bei realen Werkstücken nur schwer vorhersagen läßt. Das elektrische Feld verläuft teilweise durch den Werkstoff hindurch und teilweise im "Umgriff" zu den geerdeten Innenflächen bzw. Rückseiten. In der Holzindustrie werden i.d.R. Teile mit einer Materialdicke oberhalb von 10 mm eingesetzt. Derartig hohe Materialdicken führen oft zur Verschlechterung der Felddausbildung und können sich somit sogar negativ auswirken. Ein besonders zu beach-

tendes Problem stellt bei der leitfähigen Hinterlegung die mögliche hohe Oberflächen-Ladungsdichte auf der Werkstückoberfläche dar [26]-[32].

- \* Das Auftragen einer elektrisch leitfähigen Schicht auf die Teilerückseite, z.B. Folien, Abdeckpapier, ist vor allem für die in der Holzindustrie oft eingesetzten Flachteile eine mögliche Maßnahme. Hierbei können auch die Nachteile des "Umgriffes", die Lackoversprayverschmutzung auf der Teilerückseite, vermieden werden. Die weiter zu beachtenden Kriterien sind unter dem Punkt "geerdete Hinterlegung" zu sehen.
- \* Die Wirksamkeit von Gaselektroden zur berührungslosen Entladung der Werkstücke und damit zur Verbesserung der elektrostatischen Lackierbarkeit wurde bei Laborversuchen nachgewiesen [33]. In der Praxis werden Gaselektroden als unterstützende Maßnahme bei der elektrostatischen Leiterplattenbeschichtung eingesetzt [34]. Auch bei dieser Maßnahme fällt kein zusätzlicher Prozeßschritt sowie kein zusätzlicher Materialeinsatz an.

Beim AIF-Vorhaben "Entwicklung von fertigungstechnischen Maßnahmen zur Anwendung elektrostatischer Lackierverfahren für Kunststoffteile" (01.9.1996 bis 31.05.1998) bestand die Aufgabe, die bei der Lackverarbeitung den Lackpartikeln mitgegebene Ladung beim Benetzen der Werkstückoberfläche abzuführen. Hierfür wurden zwei Möglichkeiten entwickelt, erprobt und in Technikums- bzw. Produktionsversuchen umgesetzt:

1. Abführung der Ladungen über den gerade erzeugten Naßlackfilm und
2. Abführung der Ladungen über Feldsteuerung.

Das Abführen der Ladungen über den gerade erzeugten Naßlackfilm erfordert Lacke, deren Leitfähigkeit im Zustand unmittelbar nach der Zerstäubung für einen sicheren Ladungsabfluß ausreichend hoch ist (Bild 3.1). Während dieses Verfahren bei Wasserlacken und hochleitfähigen Lösemittellacken generell sicher angewendet werden kann, ist bei hochohmigen Lacken der Erfolg von der Größe der zu lackierenden Teile sowie von der Form, dem Einsatzort und der Anzahl der Erdungskontakte abhängig. Aus diesem Grund können keine konkrete Grenzwerte für die elektrische Leitfähigkeit angegeben werden. Bei den Untersuchungen wurde festgestellt, daß messerförmige Erdkontakte in engem Kontakt mit der Teileoberfläche die besten Ergebnisse zeigen. Die erforderliche Anzahl der Erdkontakte und die Positionierung am Teil wird auch durch die Teilegeometrie (z.B. große Vertiefungen) bestimmt. Bei sehr leitfähigen Lacken (z.B. alle Wasserlacke) war bei allen Versuchen auf den zu untersuchenden Teilegeometrien ein Erdkontakt ausreichend. Zu beachten ist, daß bei ungeeigneten Erdkontakten in deren Bereich hofartig Unterbeschichtungen entstehen, die den Erfolg der gesamten Lackierung beeinflussen. Die Bewegung des Zerstäubers (z.B. elektrostatische Hochrotationsglocke) und die Parameter der Lackverarbeitung müssen derart gesteuert werden, daß der angebrachte Erdkontakt direkt möglichst mit einer hohen Lackmenge und zunächst möglichst niedriger Ladung angespritzt wird. Innerhalb einer Sekunde kann dann - falls erforderlich - die Lackmenge gedrosselt und die Ladung (über die Hochspannung) für eine effizientere elektrostatische Beschichtung erhöht werden.

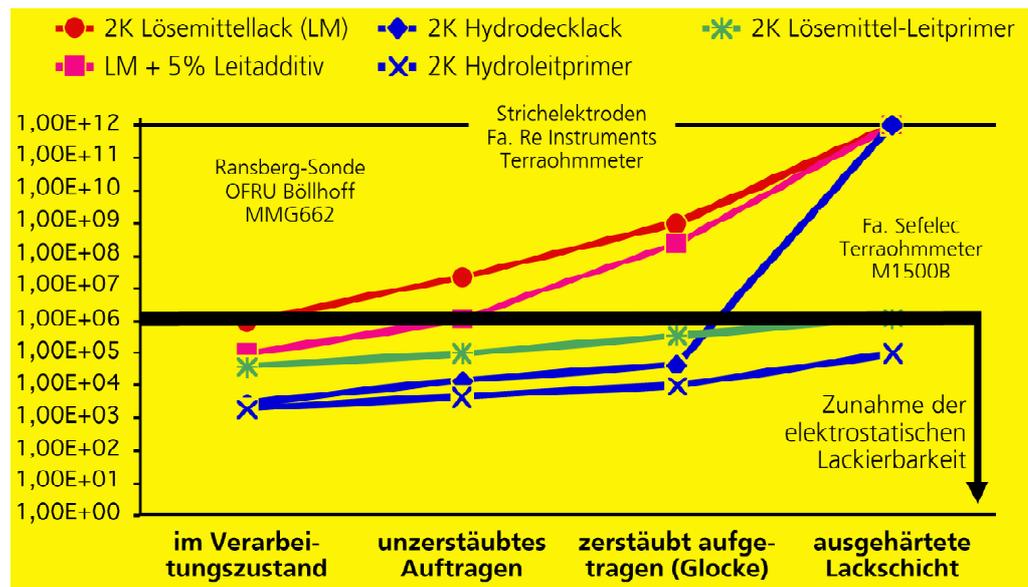


Bild 3.1: Elektrischer Widerstand unterschiedlicher Lackmaterialien

Dieses Verfahren kann bei Bedarf durch Maßnahmen zur Steuerung des elektrostatischen Feldes (Bild 3.2) ergänzt werden. Drückelettroden zur Sprühstrahlformung (kombinierte Aufladung: Kontakt- und Außenaufladung) werden in der Praxis bereits eingesetzt. Beim Vorhaben wurden zwei getrennt regelbare Hochspannungserzeuger eingesetzt, d.h. die Hochspannung von Innen- und Außenaufladung wird je nach Teilegeometrie getrennt geregelt. Hierdurch kann die Sprühstrahlbreite den jeweiligen Anforderungen angepaßt werden (Bild 3.3). Eine weitere Möglichkeit ist die Anordnung der Drückelettroden nicht am Sprühorgan, sondern zwischen dem Sprühorgan und dem Teil, um den Sprühstrahl auf die gewünschten Teilebereiche zu lenken. Abweisflächen, z.B. aus Kunststoff sind aus der Pulverlacktechnologie bekannt (z.B. Kunststoffkabine). Beim Vorhaben wurden Abweisflächen auch zur Verbesserung der Lackabscheidung auf dem Werkstück erprobt. Hierzu werden diese Abweisflächen aus Kunststoff im Bereich der Teile angeordnet. Die Versuche zeigen, daß Verbesserungen bzgl. der Lackabscheidung erreicht werden, daß aber für die Umsetzung in die Praxis noch weitere Optimierungen erforderlich sind.

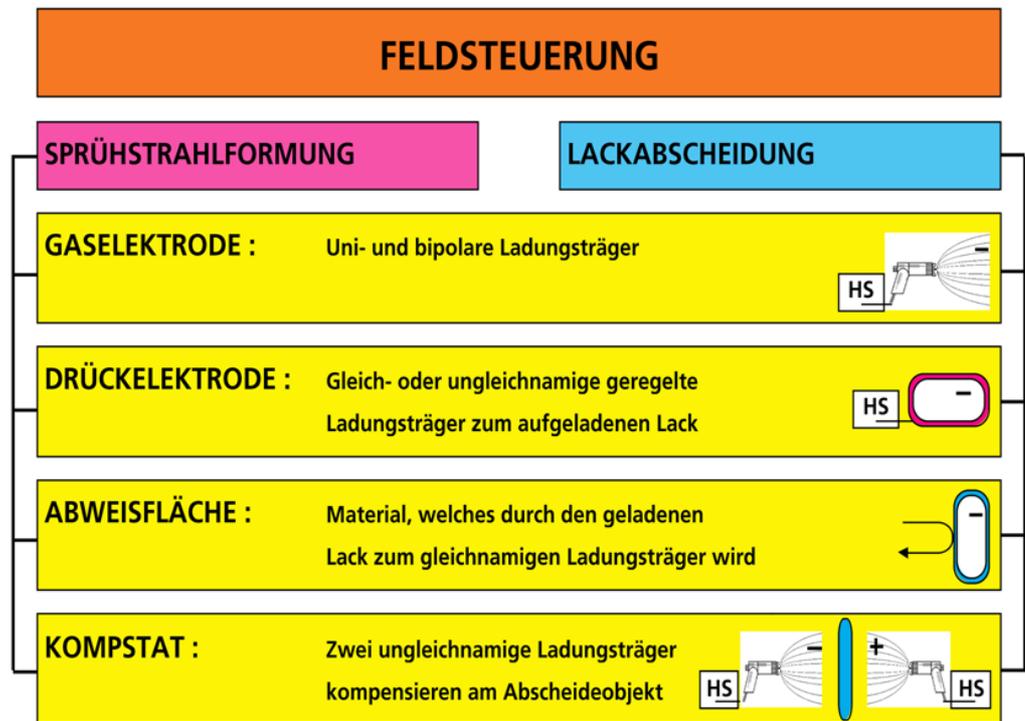
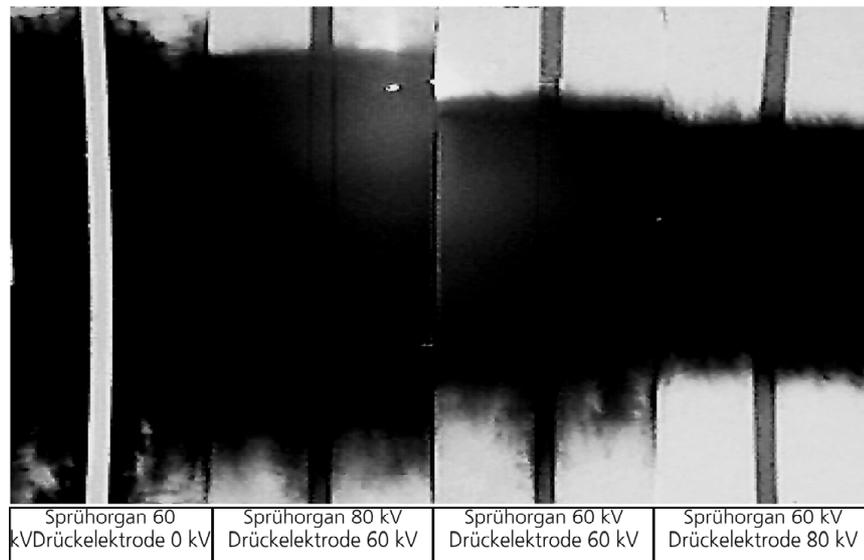


Bild 3.2: Parametrierung des Zerstäubungsprozesses



Wasserlack Ettograu / Sprühorgan Lactec 30.000 U/min / Sprühabstand 200 mm, starr auf Teilmittre positioniert  
Teilegröße u. -bewegung: ABS 200x1000 mm; Transport 1 m/min

Bild 3.3: Darstellung unterschiedlicher Sprühbilder bei Verwendung von Drückerlektroden

Zur Abführung der Ladungen über Luftionen wurden beim AIF-Vorhaben Gaselektroden untersucht. Bei den Gaselektroden werden über einen Hochspannungsgenerator Luftionen erzeugt und mit einem Luftstrom auf die zu lackierende Teilerückseite gelenkt. Diese Luftionen können die Ladungen der gerade auf dem Werkstück aufgetroffenen Lackpartikel zu geerdeten Kabi-

nenbauteilen bzw. -einrichtungen wegtragen. Bei den Gaselektroden, die in der Praxis zur elektrostatischen Entladung der Kunststoffteile vor dem Lackauftrag eingesetzt werden (Ionisationspistolen), werden bipolare Luftionen erzeugt. Weiterhin ist bei den auf dem Markt befindlichen Geräten die Hochspannung deutlich niedriger als bei der Lackzerstäubung. Aus diesem Grund können solche Gaselektroden nur als unterstützende Maßnahme herangezogen werden. Werden mit einem leistungsfähigen Hochspannungsgenerator (z.B. 60 kV) unipolare Luftionen erzeugt, ist eine vollständige "berührungslose Erdung" erzielbar. Dadurch können unipolare Luftionen sehr wirkungsvoll bei der elektrostatischen Lackierung von Kunststoffteilen mit hochohmigen Lacken und in Verbindung mit Warenträgern aus Nichtleitermaterial (z.B. Kunststoff) eingesetzt werden.

Eine Weiterentwicklung hierzu ist das Kompstat-Verfahren. Bei diesem Verfahren wird die Teilvorder- und -rückseite gleichzeitig elektrostatisch lackiert. Die sich gegenüberstehenden Zerstäuber laden den jeweiligen Sprühstrahl ungleichnamig auf. Da sich entgegengesetzte Ladungen anziehen, bewegen sich die Lackpartikel aufeinander zu und treffen auf das Teil, an dem sich die Ladungen kompensieren. Die Laborversuche zeigen hinsichtlich der Lackabscheidung sehr gute Ergebnisse.

Die anwendungsorientierten Untersuchungen im Fraunhofer IPA Oberflächentechnikum (Bild 3.4) und in einer Produktionsanlage wurden überwiegend nach dem Prinzip "Abführung der Ladungen über den gerade erzeugten Naßlackfilm" durchgeführt. Die Umsetzung dieses Lackierprinzips ist mit einfachen Maßnahmen möglich. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen beweisen, daß die elektrostatische Lackierung von Kunststoffteilen ohne zusätzliche Arbeitsschritte und ohne Auftrag von leitfähigen Beschichtungen auch unter Produktionsbedingungen möglich ist. Die beim Vorhaben ermittelten Einsparpotenziale (Bild 3.5) für die konkreten Anwendungsfälle sind für alle Kunststofflackierer ermutigend. Einzelne Serienanwendungen bestehen bereits.



Bild 3.4: Elektrostatisches Lackieren von Stoßfängern im Lackiertechnikum des Fraunhofer IPA

Anwendungen	Einsparpotentiale	weitere Vorteile
<b>Stoßfänger</b> 	Lackverbrauch 50 % Lösemiteleinsetzung 50 % Koagulanfall 75 % Lackierzeit 10 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>- neue Anlagenkonzepte (z.B. Verzicht auf die Naßauswaschung)</li> <li>- niedrigere Nacharbeits- und Ausschußraten</li> </ul>
 <b>Fernseher-Gehäuse</b>	Lackverbrauch 40 % Lösemiteleinsetzung 40 % Koagulanfall 70 % Lackierzeit 30 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>- weniger Anlagenstörungen</li> <li>- verbesserte Automatisierbarkeit</li> </ul>
<b>Kfz-Türgriff</b> 	Lackverbrauch 55 % Lösemiteleinsetzung 55 % Koagulanfall 75 % Lackierzeit 25 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Energieeinsparung (z.B. Luftdurchsatz)</li> <li>- höhere Anlagenkapazität</li> </ul>

Bild 3.5: Ermittelte Einsparpotentiale

## **4 Versuchsdurchführung**

### **4.1 Eingesetzte Werkstücke, Applikationstechnik und Lacke**

Werkstücke:

- \* Küchenmöbelfronten aus Echtholz,
- \* Flachware aus Holzwerkstoff (Spanplatten)

Anlagentypen ( simuliert mittels 6-Achs-Roboter ):

- \* Flachteilelackieranlage,
- \* Hängeförderer

Bewegungseinrichtung

- \* 6-Achsen-Roboter Trallfa TR-5002 mit Hollow-Wrist-Handgelenkachsen der Fa. ABB

Lackmaterial:

- \* 1K-Klarlack auf wässriger Basis, physikalisch trocknend

Zerstäuber:

- \* Hochrotationszerstäuber betaBell für wässrige Lacke mit Innenaufladung der Fa. Lactec  
Düse: 1,5 mm Durchmesser; Glockenteller: 55 mm Durchmesser, glatt
- \* Automatische Niederdruckpistole LP90-Jet-NR92/HVLP der Fa. Sata  
Düse: 1,1 mm Durchmesser

### **4.2 Das Lackiertechnikum des Fraunhofer IPA**

Die Lackierversuche wurden überwiegend im Lackiertechnikum (Bild 4.1) des Fraunhofer IPA, Stuttgart durchgeführt. Die Beschichtungsanlagen des Lackiertechnikums umfassen eine geschlossene Lackierlinie im Automobilmaßstab, verschiedene Spritzstände und einen Klimaspritzraum. Die Lackierlinie ist so ausgeführt, daß Produktionsbedingungen nachgestellt werden können. Zur Applikation sind zwei Lackierroboter, ein 3-Achsen-Seitenautomat und mehrere Hubautomaten installiert.

### **4.3 Anlagenparametrierung**

Aufgrund von Vorversuchen wurden die Parameter für die Beschichtung mit dem elektrostatischen Hochrotationszerstäuber wie folgt festgelegt:

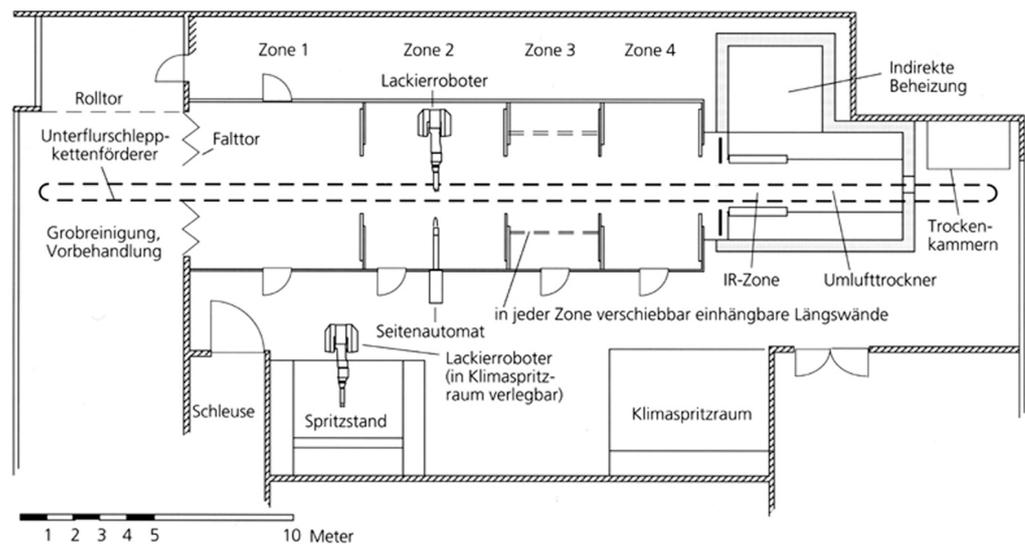


Bild 4.1: Skizze Lackiertechnik im Fraunhofer IPA

Lackvolumenstrom:	200 ml/min
Lenkluftvolumenstrom:	100 NI/min (breites Sprühbild) 350 NI/min (schmales Sprühbild)
Zerstäuberdrehzahl:	40.000 min <sup>-1</sup>
Hochspannung:	30 kV (bei Lackierabstand nah) 80 kV (bei Lackierabstand fern)
Lackierabstand:	50 mm (nah) 180 mm (fern)
Simulierte Fördergeschwindigkeit:	1,5 m/s
Versatz pro Hub:	70 mm

Für die Vergleichsversuche mit der Automatik-HVLP-Pistole wurden die Parameter folgendermaßen gewählt:

Zerstäuber- und Hornluft:	230 NI/min (in Addition) 280 NI/min (in Addition)
Lackierabstand:	150 mm
Versatz pro Hub:	35 mm

Der Nachweis zum erfolgreichen Einsatz von elektrostatischen Hochrotationszerstäubern bei der Holz- und Holzwerkstofflackierung erfolgt anhand der Bestimmung des Lackmaterialnutzungsgrades und der Schichtdickenmessung.

#### 4.4 Angewendete Meß- und Prüftechnik

Hinsichtlich der Meß- und Prüftechnik wurden die in Bild 4.2 dargestellten Festlegungen getroffen.

Gebiet	Prüfkriterium	Prüfverfahren /-methode
Werkstoff	Oberflächenwiderstand	DIN 53 482 ( Megohmmeter )
Lackmaterial	Auslaufzeit Festkörpergehalt Dichte Widerstand spez. Widerstand pH-Wert	DIN 53 211 gravimetrisch, DIN 53 215 Pyknometer, DIN 53 757 Leitfähigkeitsmessgerät OFRU Randsburgsonde pH-Meter
Lackschicht	Schichtdicke	magnetisch-induktiv, DIN 50 981
Applikation	Lackvolumenstrom Luftvolumenströme Roboterbewegungsbahn Glockendrehzahl Hochspannung Beschichtungsnutzungsgrad	Zwangsdosierung / Auslitern Robotersteuerung und Messung Robotersteuerung und Messung Robotersteuerung und Messung Robotersteuerung und Messung gravimetrisch
Anlagen	Luftsinkgeschwindigkeit Klimabedingungen	Anemometer, Testo Thermometer, Hygrometer

Bild 4.2: Angewendete Meß- und Prüftechnik

##### 4.4.1 Ermittlung des elektrischen Oberflächenwiderstandes

Der elektrische Widerstand wird als Widerstand zwischen zwei in einem bestimmten Abstand auf eine Oberfläche aufgebrachten Elektroden bezeichnet (DIN 53 482). Durch Anlegen einer Meßspannung fließt Strom über die Oberfläche und in die Holzprobe.

Der Oberflächenwiderstand wird mittels einer Elektrodenzange (Megohmmeter Fa. Re-Instruments) gemessen werden. Die Anordnung der Elektroden entspricht der in DIN 53 482 festgelegten Anordnung C. Die Messung von hochohmigen Widerständen erfolgt unter Verwendung von Gleichspannung, da die Meßwerte sonst von der Frequenz abhängig sind. Die Meßspannung sollte möglichst hoch liegen, andernfalls werden die Meßströme zu klein. Andererseits können zu hohe Meßspannungen zur Erwärmung der Proben führen, wodurch sich der Widerstand ändert. Für den Hochohmbereich wurden die Messungen mit dem Megohmmeter

IM6 der Fa. Re-Instruments durchgeführt; dieses läßt sich im Bereich von  $10^6$  bis  $10^{15}$  Ohm betreiben. Für die Messungen wurde eine Meßspannung von 500 V gewählt.

#### **4.4.2 Bestimmung der Lackmaterialeigenschaften**

Die Lackmaterialeigenschaften wurden der Normen entsprechend ermittelt und sind in Abschnitt 5.2 aufgeführt.

#### **4.4.3 Bestimmung der Lackschichtdicke**

Gesicherte Lackschichtdickenmessungen auf Holzteilen sind kaum möglich, da Holz ein saugendes Substrat ist und dies je nach Holzart und Wuchs stark differiert. Aufgrund dieser Eigenschaften wurde bei dieser Studie eine indirekte Meßmethode zur Überprüfung der Schichtdicke angewandt. Hierbei werden Metallplättchen (ca. 4 cm Kantenlänge) auf die Holzteile geklebt und mitbeschichtet. Die anschließende Schichtdickenmessung erfolgt magnetisch-induktiv nach DIN 50 981 auf diesen Metallplättchen.

#### **4.4.4 Bestimmung des Beschichtungswirkungsgrades**

Das Verhältnis von tatsächlich auf den Werkstückoberflächen aufgetragenem zu verspritztem Lackmaterial wird als Lackmaterialnutzungsgrad oder Lackauftragswirkungsgrad bezeichnet. Beim Lackmaterialnutzungsgrad (Bild 4.3) ist zu unterscheiden zwischen dem

- \* Beschichtungswirkungsgrad,
- \* Lacknutzungsgrad und
- \* Festkörpurnutzungsgrad.

Bei der Ermittlung des Lackmaterialnutzungsgrades hat der Festkörpurnutzungsgrad die größte Aussagekraft bezüglich der Umweltbelastung. Der Festkörpurnutzungsgrad gibt an, welcher Gewichtsanteil des verspritzten Festkörpers als getrockneter Lackfilm auf dem Werkstück verblieben ist.

Die Ermittlung des Festkörpurnutzungsgrades erfolgt gravimetrisch, indem die Holzteile vor dem Lackauftrag mit einer dünnen Aluminiumfolie konturangepaßt überzogen werden. Beim elektrostatischen Lackieren ist dieser übliche Vorgang nicht erlaubt. Eine Differenzwägung vor dem Lackauftrag und nach der Lackhärtung ist bei Holzteilen wegen den flüchtigen Inhaltsstoffen nicht mit einer ausreichenden Genauigkeit möglich. Genauer ist eine Differenzwägung unmittelbar vor und nach der Beschichtung (kurzer Zeitraum!). Hierbei wird jedoch nur der Beschichtungswirkungsgrad ermittelt. Da beim Vorhaben nur ein Lacksystem bei konstanter Viskositätseinstellung verwendet wurde, zeigten die Vorversuche mit diesem Meßverfahren die reproduzierbarsten Ergebnisse.

Die Festlegung und genaue Einhaltung der Teilegröße, -form und der Belegung (Teileanordnung) ist für die reproduzierbare Beschichtungswirkungsgradbestimmung erforderlich.

Werkstücke:

- \* Spanplatten (BxHxD: 300 x 400 x 19 mm)
- \* Küchenmöbelfrontteile aus Echtholz (BxHxD: 300 x 300 x 19 mm)

Zur Ermittlung des Beschichtungswirkungsgrades wurden zunächst der Lackvolumenstrom und die Dichte des Lackes bestimmt. Ausgehend von der eigentlichen Beschichtungszeit für das zu lackierende Teil wurde damit die verbrauchte Lackmenge berechnet. Durch Auswiegen der Holzteile direkt vor und nach der Lackierung wurde die tatsächlich abgeschiedene Lackmenge auf der Teilvorder- und -rückseite ermittelt. Die auf der Rückseite abgeschiedene Lackmenge, verursacht durch den Umgriff, wird gesondert durch Abkleben bestimmt und vom Beschichtungswirkungsgrad abgezogen, da sie als Verlust zu betrachten ist.

#### 4.4.5 Weitere applikationstechnische Eigenschaften

Die weiteren applikationstechnischen Eigenschaften, wie z.B. Lackmassenstrom, Hochspannung, Luftvolumenstrom, wurden mit Hilfe der üblichen Meßverfahren und der entsprechenden Normen festgestellt.

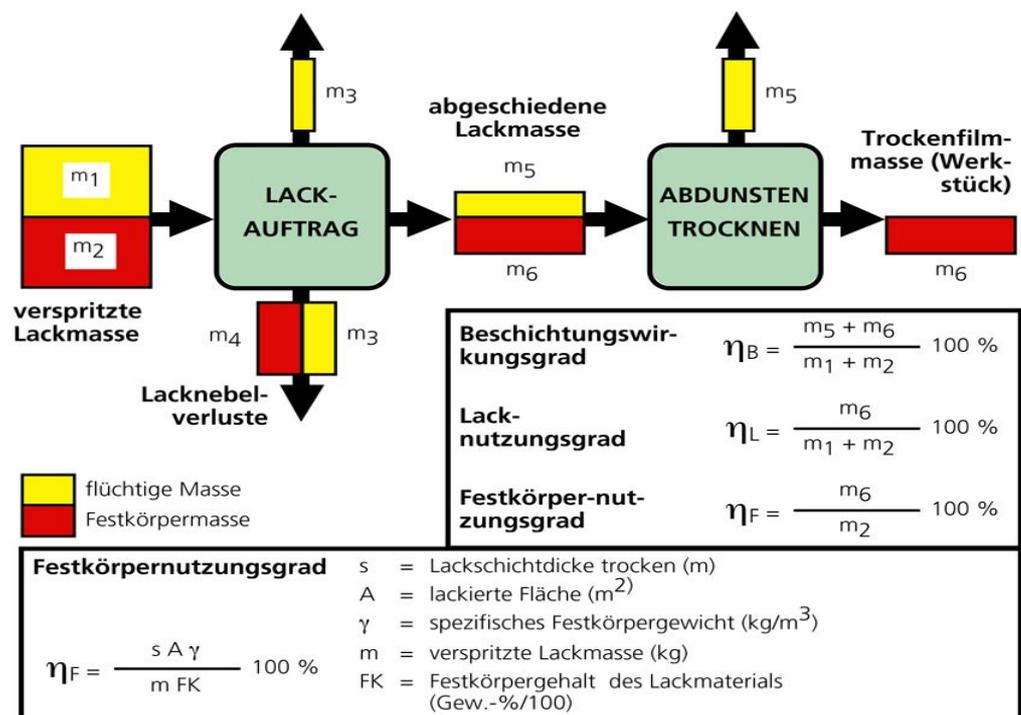


Bild 4.3: Berechnung der Lackmaterialnutzungsgrade beim Spritzlackieren



## 5 Ergebnisse der Machbarkeitsstudie

### 5.1 Holz und Holzwerkstoff

Um einen Einblick in die elektrostatische Lackierbarkeit der Substrate zu bekommen, wurde der Oberflächenwiderstand unterschiedlicher Holzarten bei zwei verschiedenen klimatischen Bedingungen gemessen (Bild 5.1), nachdem die Hölzer 24 Stunden konditioniert wurden:

Holzart	Oberflächenwiderstand ( GOhm )	
	23°C / 30% F <sub>rel</sub>	23°C / 70% F <sub>rel</sub>
Weißbuche 1	2,3	1,1
Weißbuche 2	4,1	1,6
Rotbuche 1	2,3	1,2
Rotbuche 2	2	0,6
Ahorn 1	0,9	0,3
Ahorn 2	1,9	0,7
Eiche 1	2,1	1,3
Eiche 2	1,3	0,8
Spanplatte 1	25,4	22,3
Spanplatte 2	26,2	22,9

Bild 5.1: Oberflächenwiderstand verschiedener Holzarten

Die Messungen ergaben allesamt Werte im Gigaohmbereich, weshalb alle in der Studie untersuchten Holzsorten als elektrische Nichtleiter zu betrachten und somit nicht ohne Hilfsmittel elektrostatisch lackierbar sind.

### 5.2 Lackmaterial

Die Charakterisierung des angewendeten Lackmaterials ist wie folgt:

Hydro-Mehrschichtlack, farblos, seidenmatt Nr.: 84100--0000

Hersteller: Votteler Lackfabrik GmbH & Co. KG

Liefer- und Verarbeitungsviskosität:	50 Sek. (Auslaufzeit DIN 53211)
Dichte:	1,033 g/ml
nichtflüchtiger Anteil:	33,5 Gew.-%
pH-Wert:	8
Widerstand:	<10 <sup>3</sup> Ohm
spez. Widerstand:	17*10 <sup>6</sup> Ohm*cm

## 5.3 Lackierkonzept

Das Ziel des Vorhabens war, Maßnahmen zu erarbeiten, die ohne zusätzliche Arbeitsschritte zur Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit der Holzteile ein effizientes elektrostatisches Lackieren ermöglichen. Hierbei müssen die beim Lackiervorgang erzeugten Ladungen abfließen können. Prinzipiell ist dies, wie beim AIF-Vorhaben für Kunststoffteile [4] über den beim Lackiervorgang gerade erzeugten Naßlackfilm möglich. Diese seit vielen Jahren in der Fachwelt bekannte Möglichkeit führte bisher zu keiner weiteren Verbreitung. Gründe hierfür sind:

- \* Mit den bisher in der Praxis eingesetzten Warenträgern liegt meist keine ausreichende Erdung der zu lackierenden Teileoberflächen vor,
- \* die noch bis vor kurzem eingesetzten Lacke für die Holzindustrie verfügten über eine zu geringe elektrische Leitfähigkeit und
- \* der für das hocheffektive elektrostatische Lackieren notwendige Automatisierungsgrad hat sich in der Holzlackierbranche erst in den letzten Jahren entwickelt.

Für einen elektrostatischen Lackierprozeß, bei dem der Ladungsabfluß über den gerade erzeugten Naßlackfilm erfolgen soll, sind vor allem folgende Voraussetzungen zu erfüllen:

- \* Erdungskontakte im Bereich der zu lackierenden Teileflächen,
- \* ausreichende Leitfähigkeit des gerade erzeugten Naßlackfilmes und
- \* geeignete Steuerung der Zerstäuberbewegung und der Zerstäuberparameter, um einen sicheren Ladungsabfluß zu gewährleisten.

Diese Vorgehensweise wird als das Anspritzen ab dem Erdungspunkt bezeichnet. Der Lackiervorgang beginnt an einer Stelle, an der der elektrische Erdungspunkt für den Lacknebel frei zugänglich ist. Der Ladungsabfluß muß hierbei über den gerade erzeugten Naßlackfilm zur Erdverbindung sichergestellt werden. Eine ausreichende Leitfähigkeit des gerade erzeugten Naßlackfilmes wird bei der Anwendung von Wasserlacken generell erreicht.

Für die Lackieranlagentypen "Flachteilelackieranlage" und "Lackieranlage mit Hängeförderer" wurden

- \* geeignete Erdungskontakte,
- \* optimale Anordnung der Erdungskontakte am Teil sowie
- \* das gezielte Lackieren vom Erdungskontakt weg

untersucht und der Beschichtungswirkungsgrad bei vorgegebener Beschichtungsqualität (Lackschichtdickenverteilung) bestimmt. Bei der Flachteilelackieranlage wurde zusätzlich untersucht, ob der negative Einfluß der geerdeten und leitfähigen Kabinenbauteile auf das elektrostatische Feld durch Abweisflächen reduziert werden kann. Abweisflächen werden i.d.R. aus nicht leitfähigen Kunststoffen realisiert. Treffen geladene Luftionen oder Lackpartikel auf diese Flächen auf, entstehen an der Oberfläche zum Lackspray gleichnamige Ladungen, so daß diese als Drückeletroden wirken und eine weitere Lackabscheidung reduzieren.

## 5.4 Flachteilelackieranlage



Bild 5.2: Mittels Roboter simulierte Flachteilelackieranlage mit elektrostatischem Hochrotationszerstäuber

### 5.4.1 Erdungsmaßnahmen

Da Holz und Holzwerkstoffe elektrisch nicht leitende Materialien darstellen, muß durch geeignete Erdungsmaßnahmen für die Ableitung der elektrischen Ladungen gesorgt werden. Dies wurde mit den 5 nachfolgend aufgelisteten und in Bild 5.3 und Bild 5.4 graphisch dargestellten Versuchsanordnungen untersucht:

- \* geschlossenes, isoliertes Förderband mit leitfähigen Querstreifen,
- \* geschlossenes, isoliertes Förderband mit leitfähigen Seitenstreifen,
- \* geschlossenes, isoliertes Förderband mit berührungsloser Gaselektrode,
- \* geschlossenes, leitfähiges Förderband und
- \* offener, leitfähiger Gurtbandförderer.

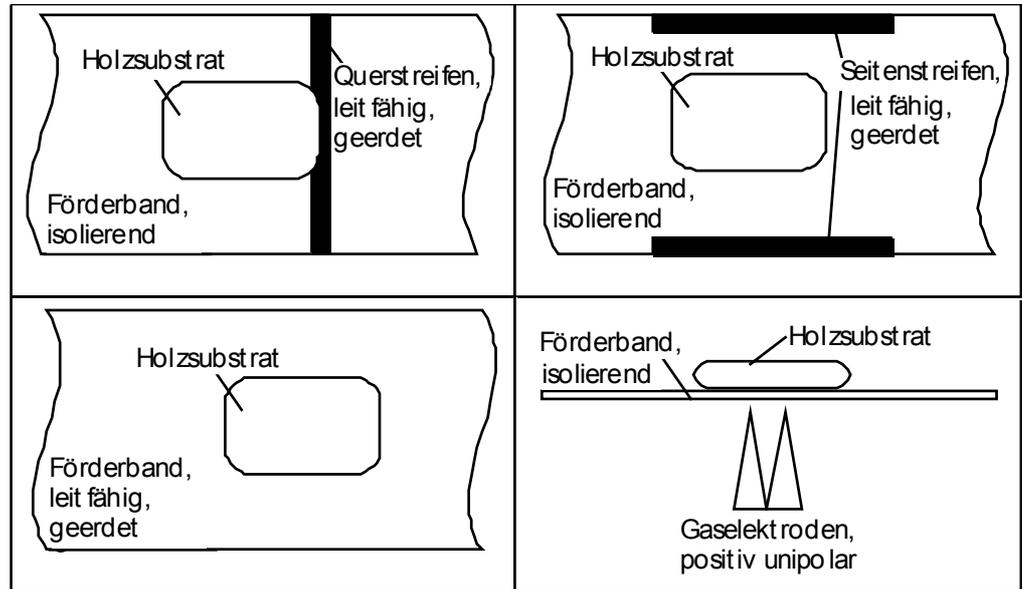


Bild 5.3: Erdungsmaßnahmen, untersucht an der Flachteilelackieranlage mit geschlossenem Band

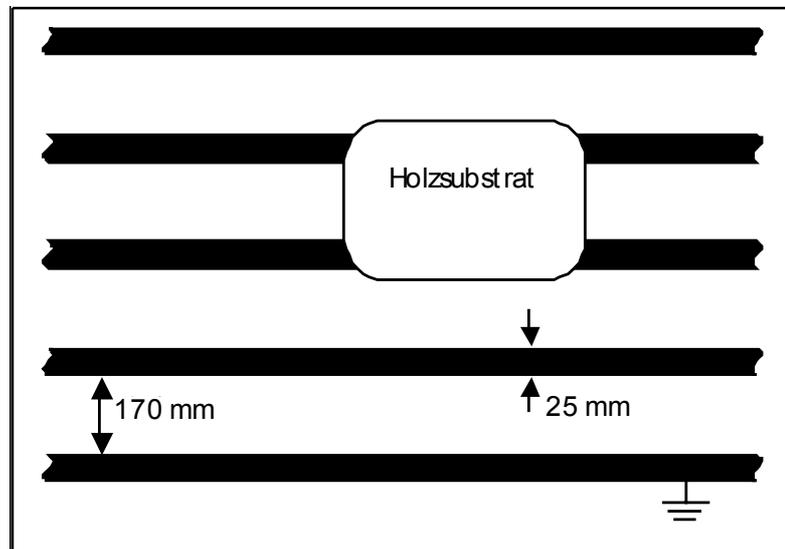


Bild 5.4: Erdungsmaßnahmen, untersucht an der Flachteilelackieranlage mit offenem Gurtband

### 5.4.2 Beschichtungswirkungsgrad und Lackierparameter

Die in Bild 5.5 dargestellten Parametrierungen wurden vorgenommen. Wie in der Ergebnisübersicht Bild 5.6 zu sehen, werden insbesondere mit der Lackiereinstellung "A" des Hochrotationszerstäubers durchweg die besten Beschichtungswirkungsgrade erzielt.

Durch die Verwendung eines Hochrotationszerstäubers konnte der Lackmaterialnutzungsgrad auf bis zu 88 % gesteigert werden. Die verwendete HVLP-Pistole erreichte einen Nutzungsgrad von ca. 68 %. Diese Erhöhung entspricht einer Lackeinsparung von ca. 23 %, bezogen auf die gleiche Schichtdicke.

Lackiereinstellung	Lackvolumenstrom [ml/min]	Luftvolumenstrom LV [NI/min]	Sprühabstand [mm]	Spannung [kV]
A	200	100	50	30
B	200	350	50	30
C	200	100	180	80
D	200	350	180	80

Bild 5.5: Anlagenparametrierung bei der elektrostatischen Hochrotationszerstäubung

Aus Bild 5.6 ist auch zu ersehen, daß die untersuchten Erdungsmaßnahmen keinen allzu großen Einfluß haben, wobei ein durchgehend leitfähiges, geschlossenes Transportband insgesamt gesehen etwas verminderte Nutzungsgrade liefert. Dies ist mit der Vergleichmäßigung der Feldausrichtung erklärbar, wodurch das Band etwas mehr Lack auffängt.

Beim offenen Gurtbandförderer ist der Beschichtungswirkungsgrad beim Hochrotationszerstäuber auf ca. 90 % gestiegen, da die Lenkluft durch die "Öffnungen" im Transportband entweichen kann ohne umgelenkt zu werden und somit weniger Turbulenzen entstehen, welche die Lackabscheidung stören.

Die HVLP-Pistole schneidet dagegen beim Gurtbandförderer mit dem Beschichtungswirkungsgrad (62 %) deutlich schlechter ab. In diesem Fall wird der Lack einfach mit dem Luftstrom durch das Band hindurch geblasen, es kann kein Rückpralleffekt der Lacktröpfchen erfolgen wie dies beim geschlossenen Band der Fall ist. Dies bedeutet, daß sich der Einsatz eines elektrostatischen Hochrotationszerstäubers besonders in Gurtbandanlagen schnell amortisieren wird, da hier die Lackeinsparung gegenüber der HVLP-Pistole bei gleichbleibender Lackeschichtdicke bei ca. 30 % liegt.

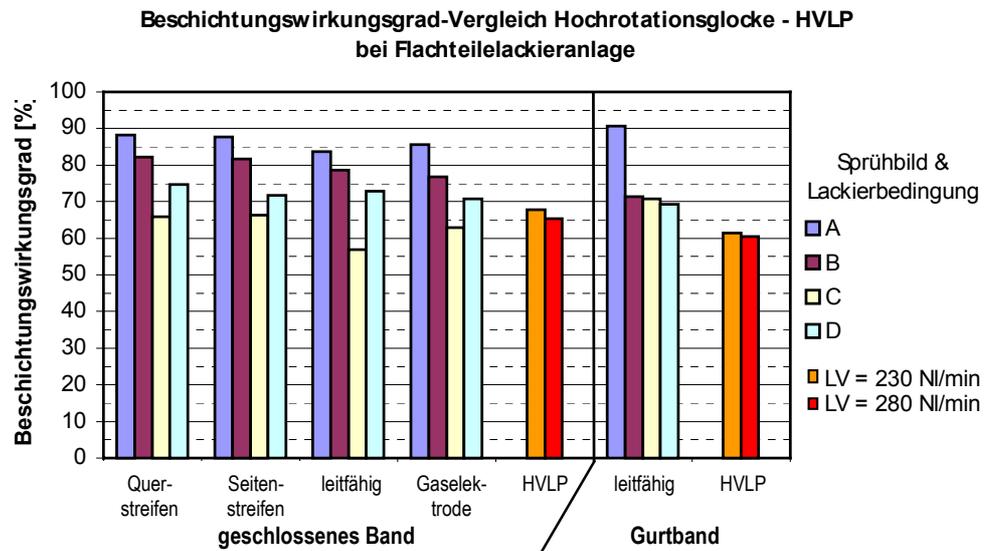


Bild 5.6: Beschichtungswirkungsgrad, Flachteilelackieranlage

### 5.4.3 Kabinenwandmaterial und –verschmutzung

Kabinenwandungsmaterial:

- \* leitfähige Metallwand,
- \* Metallwand mit isolierendem Kunststoff (30 mm) verkleidet,
- \* isolierendes Kunststoffmaterial (Stärke = 30 mm) und
- \* isolierendes Kunststoffmaterial mit gleichpolarer Aufladung mittels Gaselektrode

Abstand der Kabinenwand zur Transportbandkante:

- \* 150 mm
- \* 250 mm

Zusätzlich wurden Versuche bezüglich der Verschmutzungsneigung an elektrostatisch unterstützten Flachteilelackieranlagen in Abhängigkeit von Seitenwandabstand und Anlagenparametrierung (Bild 5.5) ausgeführt. Die Ergebnisse der Verschmutzungsuntersuchungen sind in Bild 5.8 dargestellt. Entsprechend den Erwartungen schneidet das geerdete Metall als Kabinenwandmaterial beim Einsatz von Elektrostatik in allen Fällen am schlechtesten ab.

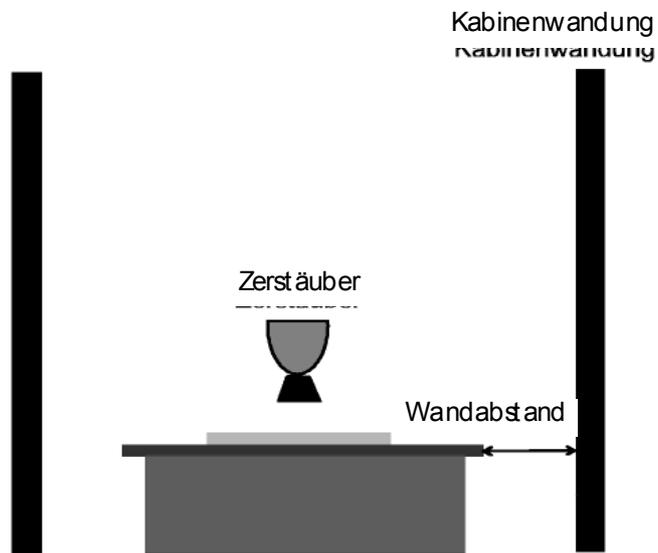


Bild 5.7: Schematische Darstellung der Flachteilelackieranlage

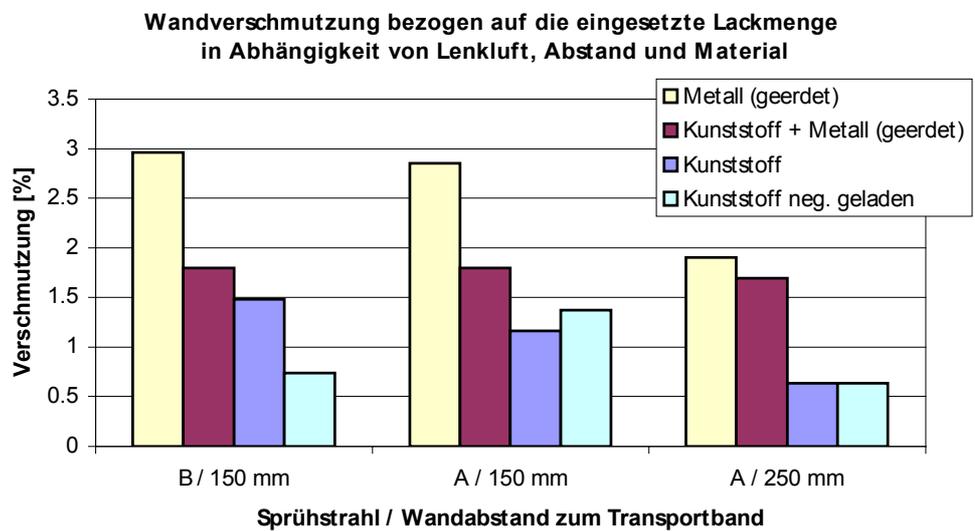


Bild 5.8: Untersuchung des Kabinenwandmaterials bezüglich der Verschmutzung

Bei nachträglichem Einbau in bestehende Kabinen kann die Verschmutzungsneigung des Metalls jedoch durch eine Isolierung mittels vorgehängter, dicker Kunststoffplatte (hier 30 mm) deutlich vermindert werden.

Die besten Ergebnisse liefert das Kunststoffmaterial in Verbindung mit großem Wandabstand, dies kann zusätzlich durch zum Lack gleichpolare Aufladung unterstützt werden, muß jedoch berührsicher in einer geerdeten Kapselung erfolgen und ist somit wenig praktikabel.

## 5.5 Lackieranlage mit Hängeförderer

### 5.5.1 Erdungsmaßnahmen



Bild 5.9: Mittels Roboter simulierte Lackieranlage mit Automatik-HVLP-Pistole

Zur Konstruktion des Warenträgers wurde ein elektrisch nicht-leitfähiges Material gewählt.

Hierbei handelt es sich um einen Warenträger aus Polypropylen. Mit dieser Maßnahme wurde gewährleistet, daß die Verschmutzungsneigung minimal ist. Zum Thema "Warenträger aus Nichtleitermaterial" sei auf die Ergebnisse des AIF-Forschungsvorhabens "Entwicklung von fertigungstechnischen Maßnahmen zur Anwendung elektrostatischer Lackierverfahren für Kunststoffteile" hingewiesen, in dessen Rahmen eine Warenträgerkonstruktion patentiert werden konnte.

Die Erdungsmaßnahme für das Lackiergut erfolgte durch teilflächige und zum Vergleich auch vollflächige, jeweils randscharfe Hinterlegung (siehe Bild 5.10).

Auch bei dieser Versuchsanordnung wurden die Lackierparameter wie Sprühstrahlbreite, Lackierabstand und Hochspannung und ihr Einfluß auf die Schichtdicke sowie den Beschichtungswirkungsgrad untersucht.

## 5.5.2 Beschichtungswirkungsgrad und Lackierparameter

Die in Bild 5.5 dargestellten Parametrierungen wurden übernommen. Auch bei der Hängeförderanlage konnten bei Verwendung der Lackiereinstellung "A" die besten Beschichtungswirkungsgrade erzielt werden (Bild 5.11).

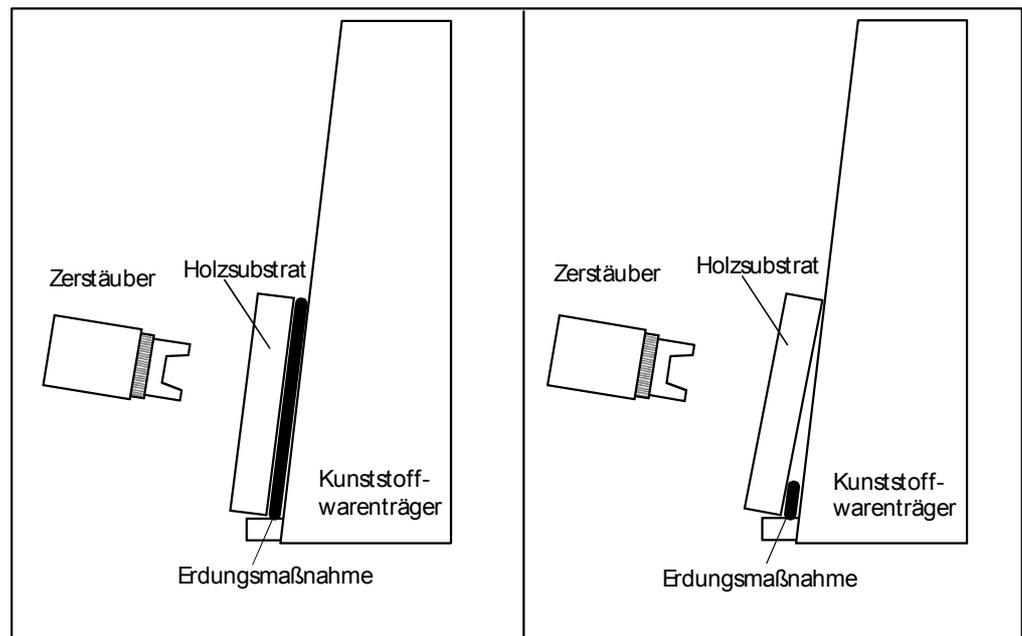


Bild 5.10: Erdungsmaßnahme randscharfe Hinterlegung vollflächig und teilflächig

Hier erreichte die HVLP-Pistole Wirkungsgrade von ca. 60 %, während der Hochrotationszerstäuber sogar noch eine Erhöhung des Lackmaterialnutzungsgrades auf ca. 93 % realisieren

konnte. Dies entspricht einer Lackmaterialeinsparung von 35 % gegenüber der HVLP bei gleichbleibender Schichtdicke.

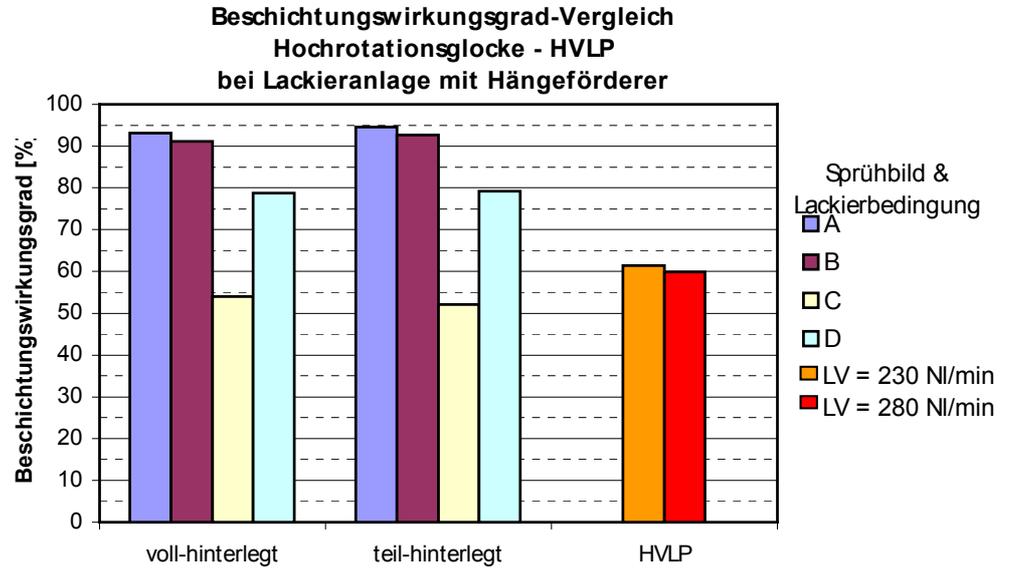


Bild 5.11: Beschichtungswirkungsgrad, Hangeforderlackieranlage

## Praktische Verwendbarkeit und Bedeutung der Ergebnisse

Die Untersuchungen im Fraunhofer IPA Oberflächentechnikum wurden überwiegend nach dem Prinzip "Abführung der Ladungen über den gerade erzeugten Naßlackfilm" durchgeführt. Die Umsetzung dieses Lackierprinzips ist bei der Anwendung leitfähiger Lacke mit einfachen Maßnahmen auch in der Holzverarbeitenden Industrie möglich. Eine dazu ausreichende Lackleitfähigkeit liegt bei allen Wasserlacken vor. Demnach ist die Realisierbarkeit des elektrostatischen Lackauftrages auf nichtleitenden Holzteilen in dazu geeigneten Lackieranlagen mit Bewegungseinrichtungen sehr hoch. In einigen bestehenden Lackieranlagen können Umbaumaßnahmen zur Erfüllung der Randbedingungen (z.B. Luftströmung, Abstände zu Kabinenbauteilen, Sicherheitstechnik) erforderlich sein.

Bei Anwendung elektrostatischer Hochrotationsglocken (Kontaktaufladung) wurden bei den Untersuchungen folgende Werte erzielt:

- \* Erhöhung Beschichtungswirkungsgrad um rund 35 %,
- \* Reduzierung des Lackverbrauchs um rund 30 % sowie
- \* Absenkung des Lackkoagulanfalls um rund 80 %.

Eine vergleichbare oder höhere Effektivität ist nur über den Einsatz von Lackoverspray-Recyclingverfahren denkbar. Diese Verfahren werden aber wegen den in der Holzindustrie häufigen Lacksystemwechseln, dem Einsatz von 2K-Lacken usw. relativ begrenzt bleiben. Weitere Einsparpotenziale mit dem Einsatz elektrostatischer Lackierverfahren bestehen durch eine teilweise mögliche

- \* Reduzierung der Lackierzeit,
- \* Absenkung der Nacharbeits- und Ausschußkosten durch Lackoverspray,
- \* Absenkung der Anzahl von Anlagenstörungen durch Lackoverspray,
- \* Energieeinsparungen (z.B. Luftdurchsatz in der Kabine) und
- \* Planung und Umsetzung von kostengünstigeren Lackieranlagen (z.B. Verzicht auf die Naßauswaschung und deren periphere Anlagentechnik).

Bei der Machbarkeitsstudie wurde die Eignung des Lackierkonzeptes "Abführung der Ladungen über den gerade erzeugten Naßlackfilm" nachgewiesen. Zur Umsetzung sollten für die Holzverarbeitenden Betriebe systematisch die Zusammenhänge geklärt und Empfehlungen für die Anwendung qualitätsgerechter, wirtschaftlicher und umweltverträglicher Maßnahmen zum Einsatz elektrostatischer Hochrotationsglocken aufgebaut werden. Ein derartiges Folgeprojekt wurde beim Forschungszentrum Karlsruhe GmbH als Projektträger des Landes Baden-Württemberg im Rahmen des Programms "Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung (BWPLUS)" beantragt.

## Kenntnisstransfer

Bisher wurden folgende Veröffentlichungen (Vorträge, Zeitschriftenreferate, Bucheinträge) ge-

tätigt:

1. Eichhorn, J.: Elektrostatisches Naßlackieren von Holz und Holzwerkstoffen; Vortrag bei der Messe "Euroholz 2000", Messe Stuttgart Int.; Okt. 2000, Stuttgart
2. Eichhorn, J.: Elektrostatisches Naßlackieren von Holz und Holzwerkstoffen; Vortrag beim 11. Holztechnischen Kolloquium, Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik; Okt. 2000, Braunschweig
3. Eichhorn, J.: Elektrostatische Sprühverfahren für Holzteile; Vincentz Verlag, Jahrbuch besser lackieren! 2001

Weiterhin sind folgende Aktivitäten in Planung:

1. Workshops für Handwerk, klein- und mittelständische Betriebe, u.a. Praxiseinführungen und Demonstrationen im Oberflächentechnikum des Fraunhofer IPA,
2. Vorträge bei Fachtagungen und Seminaren, z.B. gemeinsam mit der Abfallberatungsgesellschaft ABAG im Mai 2001 und
3. Artikel in Fachzeitschriften (z.B. JOT, besser lackieren, Holz) und im Jahrbuch für Lackierbetriebe.

- [1] Obst, M., Hoffmann, U., Cudazzo, M. : Reduzierung der Umweltbelastung beim Spritzlackieren in der Holzverarbeitenden Industrie; Studie des Fraunhofer IPA im Auftrag der Holzindustrie; koordiniert von der Deutschen Forschungsgesellschaft für Oberflächenbehandlung e.V.; Stuttgart 1991
- [2] Obst, M., Hoffmann, U., Siegfried, F., Tauer, H.: Vermeidung von Abfällen durch abfallarme Produktionsverfahren - Holzlackierung -; Studie des Fraunhofer IPA im Auftrag des Umweltministeriums Baden Württemberg; Stuttgart 1994
- [3] Ondratschek, D., Hoffmann, U., Eichhorn, J., Hruschka, R.: Entwicklung von fertigungsgerechten Maßnahmen zur Anwendung elektrostatischer Lackierverfahren für Kunststoffteile"; AIF-Vorhaben; IFF; koordiniert von der Deutschen Forschungsgesellschaft für Oberflächenbehandlung e.V.; Stuttgart 1998.
- [4] Hoffmann, U.: Neue Konzepte zum wirtschaftlicheren Lackieren; Holz-Zentralblatt; DRW-Verlag Weinbrenner GmbH&Co., Leinfelden-Echterdingen, 20.8.1997; S. 1443
- [5] Lacchia, M.: Application electrostatique centrifuge des peintures par bols et disques tournant a grande vitesse; Surfaces 174, S. 11-15
- [6] Heberlein : Holzlackierung mit Airless-Elektrostatik; Druckschrift der Fa. Böllhoff Verfahrenstechnik, Bielefeld
- [7] Heberlein : Vollautomatische Holzfensterlackierung mit Wasserlacken; Druckschrift der Fa. Böllhoff Verfahrenstechnik, Bielefeld
- [8] Heberlein : Entwicklung der elektrostatischen Applikationstechnik im industriellen Sektor; Industrie-Lackierbetrieb 2/95, S. 39-48
- [9] Hoppe : Bericht über eine durchgeführte Anlage; Vortrag Sondersitzung "Arbeitskreis Umwelt und Energie" im Technischen Ausschuß des HD, Münster 1991
- [10] Mair, H.J. und Roth, S.: Elektrisch leitende Kunststoffe; Carl Hanser Verlag, München, 1986
- [11] Weißling, B.: Elektrisch leitfähige Kunststoffe; Kunststoffe 76 (1986) 10, S. 930-936
- [12] Strohbeck, U., Svejda, P., Philipp, A., Scheibe, A.: Untersuchung der Einflußgrößen bei der elektrostatischen online-Beschichtung von Kunststoff-Karosserieteilen; Untersuchung des Fraunhofer IPA für ein Unternehmen der Automobilindustrie, 1989
- [13] Kreisler, R.: Das elektrostatische Lackieren von Kunststoffteilen - Möglichkeiten und Anwendungsbeispiele -; Vortrag auf der DFO-Tagung "Lackierung von Kunststoffen",

1986

- [14] Muster, G.: Die Pulverlackierung von Formpreßstoffteilen für elektrische Haushaltsgeräte; Vortrag auf der EPS-Fachtagung, Bad Nauheim 1990
- [15] N.N.: Elektrostatische Kunststoffteilelackierung - ein echter Problempunkt; IndustrieLackierbetrieb 4/87, S. 133-134
- [16] N.N.: Aus Umweltschutzgründen auf Kunststoffschäum verzichtet (Bericht über eine Lackieranlage zur Beschichtung von Kunststoffgehäusen in der Phonoindustrie); IndustrieLackierbetrieb12/88, S. 409-41
- [17] Baalman, A., Kruse, A., Vissing, K.-D.: Niederdruckplasma in der Kunststofflackierung; JOT, 3 (1994), 38-40
- [18] Kruse, A., Baalman, A., Hennecke, M.: Elektrisch leitfähige Plasmapolymere; Dünne Schichten, 1 (1993), 40-43
- [19] Bergk, B.; Orth, M.: Neuere Entwicklungen auf dem Gebiet der Kunststofflackierung; IndustrieLackierbetrieb 8/88, S. 266-268
- [20] Glausch, R., Brückner, D. und Maisch, R.: Neuartige helle, leitfähige Pigmente auf Glimmer/Metalloxid-Basis; Farbe und Lack 6/1990, S.412-415
- [21] Winkler, J., Karl, W.-R.: Feinteilige, elektrisch leitfähige Pigmente zur Formulierung von Antistatik-Beschichtungen; Farbe+Lack, 3 (1994), 171-176
- [22] Hocken, J., Griebler, W.-D., Winkler, J.: Elektrisch leitfähige Pigmente zur antistatischen Ausrüstung von polymeren Beschichtungsstoffen; Farbe+ Lack, 1 (1992), 19-24
- [23] Garner, D., Elmoursi, A., : Electrostatic Painting of Plastics I; Journal of Coatings Technology, 803; 1991; 33-37
- [24] Heberlein: Elektrostatisches Lackieren von Holz; Vortrag Sondersitzung "Arbeitskreis Umwelt und Energie" im Technischen Ausschuß des HDH, 1991
- [25] Schweers, E.: Automatisierung von Lackierprozessen für Kunststoffteile mit Robotern in Verbindung mit elektrostatischem Auftrag; Vortrag auf der 5. Deutschen Kunststoff-Finish, Bad Nauheim 1989
- [26] Heidelberg, E.: Entladungen an elektrostatisch aufgeladenen, nichtleitfähigen Metallbeschichtungen; PTB-Mitteilungen 80 (1970), S. 440-444
- [27] Tolson, P.: High-energy discharges from plastic surfaces; Journal of Electrostatics,22 (1989) 1-10

- [28] Coelho, R.: The electrostatic characterization of insulating materials, *Journal of Electrostatics*, 17 (1985) 13-27
- [29] Tabata, Y. und Masuda, S.: Minimum potential of charged insulator to cause incendiary discharges; *IEEE Transactions of industry applications*, Vol. IA-20, No. 5, September / October 1984
- [30] Blythe, A. R. und Carr, G. E.: Characteristics of propagating electrostatic discharges on dielectric films; *Journal of Electrostatics*, 10 (1981), 321-326
- [31] Berta, I. , Fodor, I. und Clement, Gy.: Electrostatic sparks on charged insulating surfaces, *Journal of Electrostatics*, 10 (1981), 145-152
- [32] Landers, E. U.: Distribution of charge and fieldstrength due to discharge from insulating surfaces; *Journal of Electrostatics*, 17 (1985), 59-68
- [33] Bouguila, N., Coelho, R.: Peinture électrostatique des surfaces isolantes; *Revue Général d'électricité*; 8 (1991), 25-28
- [34] N.N.: Elektrostatische Lackbeschichtung; *Elektronik Produktion & Prüftechnik*, November 1987; 59-61