Untersuchung zum Thema:

Vermeidung von Abfällen durch abfallarme Produktionsverfahren

– Holzlackierung –

im Auftrag
des Ministeriums für Umwelt
Baden-Württemberg

Manfred Obst
Frank Siegfried

Fraunhofer-Institut für
Systemtechnik und Automatisierung (IPA)
Eierstraße 46
D-7000 Stuttgart 1
Telefon 07 11 / 9 70-00

Stuttgart, Mai 1993

Herausgeber:
Geschäftsstelle der ABAG
Geschäftsbereich der
SBW Sonderabfallentsorgung Baden-Württemberg GmbH
Stauferstraße 15, 7012 Fellbach 4

Mai 1993

Gedruckt auf: weiß Recycling (Inhalt)
weiß mattgestrichen Offset chlorfrei gebleicht (Umschlag)

Gesamtherstellung: Oertel + Spörer, Reutlingen

Vorwort

In Baden-Württemberg fallen jährlich 550 000 t Sonderabfälle an. Dies entspricht einem Güterzug mit der Länge von Basel bis Frankfurt.

Dieser Zug mit Rückständen unserer Wohlstandsgesellschaft muß in den nächsten Jahren kürzer werden. Die Vermeidung von Abfällen und Sonderabfällen hat somit absolute Priorität. Um dieses Ziel zu erreichen, ist ein Umdenken in den Betrieben erforderlich. Wurde in der Vergangenheit die Qualität bei der Produktion allein daran gemessen, was erzeugt wird, so wird es in Zukunft entscheidend darauf ankommen, möglichst ressourcenschonend und abfallarm zu produzieren.

Ein Optimum – kein Maximum – von Gütern und Dienstleistungen muß mit einem Minimum an Energie- und Rohstoffverbrauch und Umweltbelastung erbracht werden.

Deshalb müssen Stoffkreisläufe geschaffen werden, damit wertvolle Rohstoffe so lange wie möglich im Produktionsprozeß verbleiben. Es müssen die Produktionsprozesse darauf überprüft werden, bei welchen Produktionsschritten bestimmte umweltbelastende Einsatzstoffe durch geeignetere Stoffe ersetzt werden können. Hier sind in erster Linie die Betriebe gefragt, die mit ihrer Produktion Abfälle erzeugen und die Umwelt belasten. Die Industrie muß zukünftig vorrangig in abfallarme Produktionsverfahren investieren.

Mit der 1991 eingerichteten Abfallberatungsagentur stellt das Land den investitionsbereiten Betrieben ein Beratungsinstrument an die Seite. Die Abfallberatungsagentur soll zunächst abfallarme Produktionsverfahren erkunden und die Entwicklung gegenüber der Vergabe von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben initiieren. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen im Wege der individuellen Beratung und der allgemeinen Information an die gewerbliche Wirtschaft und die technischen Fachbehörden weitergegeben werden.

Ein wesentlicher Eckpfeiler der gegenwärtigen Arbeit der Abfallberatungsagentur ist die Betreuung der im Auftrag des Umweltministeriums durchgeführten Untersuchungen zum Thema „Vermeidung von Abfällen durch abfallarme Produktionsverfahren". Im Rahmen dieser Arbeit werden in mehreren Betrieben Baden-Württembergs die Möglichkeiten untersucht, in den Betrieben anfallende Abfälle zu vermeiden oder zu verwerten. Des weiteren wird bei den Untersuchungen darauf Wert gelegt, die betriebswirtschaftliche Seite der technisch verfügbaren Möglichkeiten auszuleuchten.

Ich hoffe und wünsche, daß die von der Abfallberatungsagentur vorgelegte Broschüre viele betroffene Betriebe dazu ermuntert, die darin enthaltenen Vorschläge in die Tat umzusetzen.

Harald B. Schäfer
Umweltminister Baden-Württemberg

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung 7

1 Einführung 10

TEIL A – Stand bei der Holzlackiertechnik 11

2 Grundlagen der Holzlackierung – Stand der Produktionstechnik 11
2.1 Vorbehandlung 11
2.1.1 Gründe zur Vorbehandlung der Holzoberflächen 11
2.1.2 Schleifen der Oberflächen 11
2.1.3 Entharzen 13
2.1.4 Entfernen von Flecken 13
2.1.5 Wässern der Holzfläche 14
2.1.6 Strukturieren von Holzoberflächen 14
2.1.7 Farbänderungen der Holzoberfläche 14
2.1.7.1 Einsatz von wässrigen und lösemittelhaltigen Holzbeizen 14
2.1.7.2 Auftrag lasierender Lacksysteme 15
2.1.7.3 Chemische Färbeverfahren (Bleichverfahren) 15
2.2 Lackierung 16
2.2.1 Lackarten 16
2.2.1.1 Nitrozelluloselacke 16
2.2.1.2 Säurehärtende Lacke (SH-/SHE-Lacke) 16
2.2.1.3 Ungesättigte Polyesterlacke 16
2.2.1.4 Zweikomponenten-Polyurethanlacke 17
2.2.1.5 Wasserlacke 18
2.2.1.6 Vergleich UV-härtender Lacke auf Wasser- und Lösemittelbasis 20
2.2.2 Schichtaufbau und eingesetzte Lackarten bei der Holzlackierung 21
2.2.3 Lackauftrag 21
2.2.3.1 Verfahrensübersicht und Kriterien für Applikationsverfahren der Holzlackierung 21
2.2.3.2 Spritz- und Sprühverfahren 22
2.2.3.3 Walzen und Gießen 28
2.2.3.4 Trommeln und Zentrifugieren 30
2.2.3.5 Fluten und Tauchen 31
2.2.3.6 Vakuumauftragstechnik 32
2.2.4 Aussagekraft des Festkörpernutzungsgrades 32
2.2.5 Spritzkabinen und Overspray-Abscheidung 35
2.2.6 Trocknung und Lösemittel-Abscheidung 37
2.2.6.1 Aushärtevorgänge bei UV-härtenden Lacksystemen 38
2.2.6.2 Verfahren mit Impuls-Strahlungs-Trockner (IST) 39

3	**Abfallarten-Entstehung, Aufkommen, Entsorgungsweg**	41
3.1	Abfälle durch Overspray-Abscheidung	41
3.2	Organische Reinigungslösemittelabfälle	42
3.3	Destillationsrückstände	42
3.4	Lackreste und mit Lack verschmutzte Behälter	42
3.5	Schleifstäube und Schleifmittel	43
4	**Vermeidung und Verwertung von Abfällen/Reststoffen aus der Holzlackierung**	44
4.1	Vermeidung overspraybedingter Abfälle/Reststoffe	44
4.1.1	Einsatz reststoffarmer Lackierverfahren	44
4.1.2	Erhöhung des Festkörpernutzungsgrades	44
4.1.3	Rückgewinnung des Lackoversprays im Lackierprozeß	45
4.1.3.1	Auffangen des Oversprays und Einarbeiten in neue Lackchargen	47
4.1.3.2	Verdampfung für UV-Lacke	51
4.1.3.3	Ultrafiltration für Wasserlacke	51
4.2	Vermeidung sonstiger Abfälle/Reststoffe	53
4.2.1	Verunreinigte Lösemittel aus der Pistolenreinigung	53
4.2.1.1	Reinigungsgeräte	53
4.2.1.2	Destillierapparate	53
4.2.1.3	Externe Destillation	53
4.2.2	Destillationsrückstände	54
4.2.3	Lackreste	54
4.2.4	Schleifabfälle	54
Teil B –	**IST-Analyse des untersuchten Betriebes**	55
5	**Beschreibung des untersuchten Betriebes**	55
5.1	Produktionsparameter	55
5.2	Verarbeitete Werkstoff- und Werkstückarten mit deren spezifischen Beschichtungsverfahren	55
5.3	Eingesetzte Lackarten	56
5.4	Ablauf der Arbeiten	57
5.4.1	Erläuterungen zu den Applikationsverfahren	58
5.4.2	Steuerung der Spritzpistolen	60
5.5	Festkörpernutzungsgrade bei den untersuchten Spritzprozessen	61
6	**Bilanzierung der Stoffströme**	62
Teil C –	**Betriebsbezogene Konzepte zur Vermeidung und Verwertung von Abfällen/Reststoffen**	70
7	**Bereits durchgeführte Maßnahmen zur Vermeidung und Verwertung von Abfällen/Reststoffen**	70
7.1	Umweltstrategie des untersuchten Unternehmens	70
7.2	Vermeidung von Overspray (E2 bis E4 -› R1)	70
7.2.1	Bandbelegungsfaktor mit Werkstücken	70
7.2.2	Leistenautomat mit Prallblechen	71
7.2.3	Walzen und Gießen von Flachteilen	72
7.3	Einsatz von UV-härtenden Klarlackmaterialien auf Lösemittelbasis (E2 bis E4 -› R1)	72
7.4	Aufbereitung von Altlösemitteln und Reinigungsverdünnungen (E1 -› R8)	72
7.5	Lackschlammtrocknung (E2 bis E4 -› R1)	72

8 Konzepte zur Vermeidung und Verwertung weiterer Abfall-/Reststoffarten . . . 73
8.1 Vermeidung von Overspray (R1) . . . 73
8.1.1 Trommeln von Kleinteilen . . . 73
8.1.2 Beschichtung der Rückseiten von profilierten Werkstücken . . . 73
8.1.3 Spritzpistolenanordnung und -bewegung . . . 73
8.1.4 Bandbelegungsfaktor mit Werkstücken . . . 74
8.1.5 Rückgewinnung von Lackoverspray bei speziellen Transportbändern . . . 74
8.1.6 Einführung von UV-härtenden Lackmaterialien . . . 74
8.2 Vermeidung und Verwertung von Abfällen/Reststoffen . . . 77
8.2.1 Lackreste (R2) . . . 77
8.2.2 Gebinde-Abfallreduzierung (R5, R6) . . . 77
8.2.3 Thermische Lackschlammtrocknung (R1) . . . 77
8.3 Abschätzung des wirtschaftlichen Umstellungsaufwandes . . . 78

Zusammenfassung

Die Fronten von Küchenmöbeln werden durch die derzeitigen Designvorstellungen zunehmend mit Massivholzrahmen ausgeführt, die damit industriell nur noch im Spritzverfahren lackierbar sind. Der Einsatz abfallärmerer Lackierverfahren, wie Walzen oder Gießen, ist für derartige Werkstückformen nicht möglich. Erschwerend kommt hinsichtlich abfallarmer Lackierprozesse hinzu, daß bei den Küchenmöbeln aus Qualitätsgründen chemisch aushärtende Lackschichten erforderlich sind. Aus diesem Grund setzt das betrachtete Unternehmen Zweikomponenten- sowie eine Kombination zwischen UV-härtenden und Zweikomponenten-Lacksystemen auf Polyurethanbasis ein, bei welchen derzeit eine Rückgewinnung des Lackoversprays, d. h. der vorbeigespritzten Lacktröpfchen, nicht möglich ist.

Obwohl im betrachteten Unternehmen Lackauftragsverfahren mit

- hohen Auftragwirkungsgraden (Airless-Spritzen mit Luftunterstützung),
- über Werkstückerkennungssysteme gesteuerte Spritzpistolen,
- ausreichender Werkstückbelegung der Transportbänder

eingesetzt werden, erreichen durch die Größe und Art der Teile bedingt nur ca. 50 % des Lackfestkörpers beim automatischen Spritzauftrag die Werkstückoberflächen. Somit fallen bei der betrachteten Firma ca. 160 t Lackkoagulate pro Jahr an, wobei der Lackfestkörperanteil ca. 80 t beträgt.

Auch wenn der Anteil an profilierten Werkstücken, die eine Spritzapplikation erforderlich machen, ständig zunimmt, müssen so weit als möglich für flächige Bauteile Walz- und Gießverfahren mit hohem Auftragwirkungsgrad eingesetzt werden. Hierbei ist zu beachten, daß zwar die Frontfläche durch die Profilierung im Spritzverfahren, die Rückseite der Werkstücke aber eventuell wirtschaftlicher im Gießverfahren beschichtbar ist.

Die betrachtete Firma setzt derzeit die auf dem Holzbeschichtungssektor allgemein bekannten und in der Praxis ausreichend erprobten Technologien ein, einschließlich der Lackoversprayrückgewinnung über Trichter beim Leistenbeschichtungsautomaten. Für schüttfähige Kleinteile mit qualitativ weniger hohen Ansprüchen werden Verfahren wie das Trommeln, Zentrifugieren oder Tauchen angewendet, bei denen ein gezielter Lackeinsatz mit hohem Auftragwirkungsgrad möglich ist.

Ein nach dem Stand der Technik zu prüfender Weg zur Lackabfallreduzierung wäre eine Umstellung von lösemittelhaltigen Zweikomponenten-Lacksystemen auf UV-härtende Einkomponenten-Lacksysteme, welche Ansatzpunkte für eine Overspray-Verwertung ermöglichen, z. B. mit Lackauffangwannen in den automatischen Spritzzonen. Aufgrund des höheren Festkörpergehaltes der UV-härtenden Einkomponentenlacksysteme würden sich die Lösemittelemissionen gegenüber dem Ist-Zustand verringern.

Weitere Vorteile könnten sich durch den zusätzlichen Einsatz der UV-härtenden, wasserlöslichen Lacksysteme ergeben, wenn die Ultrafiltration für die Lackoversprayrückgewinnung bei der Holzbeschichtung technisch gelöst wird. Mit der Ultrafiltration wird in der Metallbranche bei einigen Anwendungsgebieten der „abfallfreie" Lackierbetrieb praktiziert und gleichzeitig durch den Einsatz von Wasserlacken die Abluftbelastung durch Lösemittel weitgehend vermieden.

Farblose Lackbeschichtungen auf Holzoberflächen

Als ein schon derzeit realisierbarer erster Schritt in dem untersuchten Unternehmen würde sich die Einführung von UV-härtenden Klarlacksystemen (auf Lösemittelbasis, ohne zusätzlichen Härter) in den Lackierstraßen mit automatischem Lackauftrag anbieten. Beim manuellen Spritzen ist der Einsatz von UV-härtenden Lacksystemen aus Gründen des Arbeitsschutzes besonders kritisch, da diese Lacke eine hohe Reaktivität aufweisen. In dieser ersten Phase ist der Einsatz von UV-härtenden, lösemittelhaltigen Lacken möglich, wobei für die Decklackschicht Wasserlacke schon zu diesem Zeitpunkt in die Betrachtung einzubeziehen sind. Für die Umstellungen auf Lacke auf Lösemittelbasis müßten im Vorfeld geeignete Lösungen für die UV-Strahlertechniken erarbeitet werden, die eine vollkommene Lackaushärtung aller Beschichtungsoberflächen gewährleisten.

Beim Einsatz von Wasserlacken sind die Abdunstzonen in den Lackierstraßen entsprechend umzubauen, wobei für die Anwendung von Grundierungen auf Wasserbasis zusätzlich noch umfangreiche Detailfragen zu klären sind.

Ein abfallfreier Betrieb wäre durch die komplette Umstellung auf wasserlösliche Lacksysteme theoretisch denkbar, wobei der Einsatz der Ultrafiltration zur Overspray-Rückgewinnung technisch noch nicht gelöst ist.

Um diese Alternative ausreichend abschätzen zu können, sind Forschungs- und Entwicklungsarbeiten erforderlich, z. B.:

- Durch eine intensivere Porenbenetzung bei Grundierungen auf Wasserbasis kommt es zu einer verstärkten Anquellung der Holzfasern, die bei ebenen Flächen nach dem Stand der Technik durch Schleifarbeiten vor dem Decklackauftrag beseitigt werden müssen. Bei profilierten Werkstücken sind neue Wege zu erarbeiten, z. B. wäre das zusätzliche Vorwässern und anschließende Feinschleifen in der Holzfertigung und/oder der Einsatz von Lösemittelbeizen mit Lackbindemittelanteil zu prüfen.

- Der Schleifprozeß der Grundierung (vor dem Decklackauftrag) ist beim Einsatz von UV-härtenden Lacksystemen für eine ausreichende Lackfilmhaftung so aufzubauen, daß alle lakkierten Flächen erreicht und die Schleifstäube vollkommen entfernt werden.

- Für einen abfallfreien Betrieb ist die Rückgewinnung von Lackoverspray aus dem Kabinenwasser mittels Ultrafiltration, einschließlich der geeigneten Lackrezepturen, in Grundsatzversuchen zu erarbeiten und zu erproben.

Pigmentierte Lackaufbauten

Die betrachtete Firma setzt bei der Beschichtung von Frontteilen auch erhebliche Mengen pigmentierter Lackmaterialien ein. In Zusammenarbeit mit den Rohstoff- und Lackherstellern sind die Möglichkeiten einer Umstellung auf UV-härtende Lacksysteme für den Einsatz in der Produktion zu überprüfen. Die UV-Härtung ist bei pigmentierten Lacksystemen derzeit noch nicht allgemein möglich, da sich das Remissionsverhalten der Pigmente sowie Füllstoffe direkt auf den Lackaushärtungsprozeß auswirkt. Die Vermessung der Remissionskurven aller Pigmente und Füllstoffe, die für farbige UV-Lacke zum Einsatz kommen, ist so umfangreich, daß diese für kleine und mittlere Chargen wirtschaftlich nicht vertretbar ist. Die Grenze dürfte bei 0,5 – 1 Tonne je Charge liegen.

Auch bei der Alternative, über eine konventionelle, pigmentierte Basislackierung einen UV-härtenden Klarlack aufzubringen, können Probleme entstehen, wenn vor allem bei hellen Grundierungen Farbveränderungen durch die Einwirkung des UV-Lichts erfolgen. Zum Schutz derartig

empfindlicher Lackschichten und gegen die Eigenvergilbung des Klarlacküberzugs könnten schwach lasierende (pigmentierte) Klarlacke eingesetzt werden.

Generelle Aussagen zu dieser Problematik sind erst nach gezielten Prüfungen von lichtbeständigen, UV-härtenden Einkomponenten-Lacken unterschiedlicher Lacklieferanten möglich.

Allgemeine Gesichtspunkte

Beim Einsatz von wasserlöslichen UV-härtenden Klarlacksystemen ergeben sich gute theoretische Ansatzpunkte für den abfallfreien Betrieb, z. B. durch mechanische Auffangeinrichtungen oder durch die Ultrafiltration der mit Lackoverspray angereicherten Kabinenwässer. Bei pigmentierten Wasserlacken ist die Ultrafiltration durch die Farbtonwechsel nur bedingt geeignet.

Neben der Lackschlammreduzierung könnten bei der Umstellung von Zweikomponenten- auf UV-härtende Einkomponenten-Lacksysteme in den automatischen Lackierbereichen die Mengen von Altlacken reduzierbar sein, da die Restmengen von angesetzten Zweikomponenten-Lacken entfallen.

Um den Anfall von leeren Lackgebinden zu verringern, sollte der Einsatz von Mehrweggebinden (Lackcontainern) verstärkt erfolgen. Die verbleibende Restmenge an Blechlackgebinden von kleinen Lackchargen ist vor der Verschrottung auszuspülen, da die verbleibenden Restmengen in den Leergebinden derzeit und zukünftig aus nicht ausreagierten Lackmaterialien bestehen.

Es wird vorgeschlagen, daß das betrachtete Unternehmen einen Realisierungsplan mit Zielsetzungen bei der Abfallreduzierung erstellt. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß es sich beim UV-Lackeinsatz um einen neuen Weg für die offenporigen Lackierungen auf dem Flachteilesektor handelt, der noch erhebliche Forschungs- und Entwicklungsarbeit erfordert. Bei allen Betrachtungen sind die Probleme des Abfalls, der Abluft und des Abwassers gemeinsam zu bewerten.

Unabhängig von den Fragen der Lacksysteme wäre es für die Holzbeschichtung im Spritzverfahren besonders interessant, wenn die in der Metallindustrie bekannten elektrostatischen Lackierverfahren mit hohem Auftragwirkungsgrad allgemein einsetzbar wären. Diese Lösung hat sich bereits bei der Beschichtung von Massivholzstühlen bewährt. Für den Einsatz der Elektrostatik bei profilierten Werkstücken aus Massivholzleisten, kombiniert mit furnierten Spanplatten, bestehen derzeit noch keine Erfahrungen, d. h. es sind entsprechende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten erforderlich.

Wirtschaftlichkeitsfragen

Die Kosten für die Lackverluste incl. der Koagulat-Entsorgung betragen derzeit schätzungsweise 1,6 Mio. DM pro Jahr im betrachteten Unternehmen. Diese Kosten sind ausreichend hoch, um Verbesserungsmaßnahmen zur Verminderung bzw. Vermeidung der Lackverluste zu erproben und einzuführen. Mit derartigen Maßnahmen und Investitionen zur Verminderung des Lackabfallaufkommens können somit auch erhebliche Kosten eingespart werden, wodurch sich die Umstellungen meistens rasch amortisieren.

1 Einführung

Die holzverarbeitende Industrie stellt in Baden-Württemberg mit ihren überwiegend mittelständisch strukturierten Unternehmen einen bedeutenden Industriezweig dar. Die dort hergestellten Holzteile und -werkstücke werden zu ihrem Schutz bzw. zur Erhöhung der Dekorativität überwiegend beschichtet und oberflächenbehandelt. Dabei spielt die Lackiertechnik mit den mechanischen Oberflächen-Bearbeitungsverfahren im Rahmen des Fertigungsprozesses eine entscheidende Rolle.

Zur Lackierung der komplexen Werkstückformen in der holzverarbeitenden Industrie sind Verfahren im Einsatz, die eine hohe Flexibilität und einfache Handhabung aufweisen. Mit den weitverbreiteten Spritzlackierverfahren können auch differenziert gestaltete, profilierte Oberflächen unter Erzielung sehr guter Oberflächenqualitäten beschichtet werden.

Aufgrund gesetzlicher Bestimmungen ist die holzverarbeitende Industrie verpflichtet, die Möglichkeiten zur Vermeidung, Verringerung und Verwertung der Reststoffe/Abfälle, die bei der Produktion anfallen, auszuschöpfen. Um dem Reststoff-/Abfallvermeidungs- und -verwertungsgebot zu entsprechen, stehen insbesondere abfallarme Beschichtungsverfahren, wie das Walzen, Gießen oder Fluten zur Verfügung. Dagegen weisen die Spritzverfahren teilweise hohe Lackverluste durch vorbeigespritzte Lacktröpfchen (Overspray) auf. Diese Lackverluste verursachen Umweltbelastungen durch die als Lack- und Farbschlämme zu entsorgenden Reststoffe/Abfälle sowie die in die Umgebungsluft abgehenden Lösemittelemissionen und stellen unter wirtschaftlichen Aspekten auch einen bedeutenden Wertverlust dar.

Die Praxis zeigte, daß zur Problemlösung produkt- und produktionsspezifische Konzepte erarbeitet werden müssen, die sich je nach Anwendungsfall vollkommen unterscheiden können. In den meisten Fällen läßt sich nachweisen, daß umwelttechnische Maßnahmen an den Lackieranlagen die Wirtschaftlichkeit des Lackierprozesses nicht verschlechtern, sondern erhöhen. Das Investitionspotential für Verbesserungsmaßnahmen liegt dabei vor allem in den erreichbaren Einsparungen der zu applizierenden Naßlackmengen sowie den zu entsorgenden Reststoff-/Abfallmengen.

Der Gesamtlackverbrauch in der deutschen Holzindustrie (alte Bundesländer) wird entsprechend einer Studie der DFO[1] auf ca. 70.000 t/a geschätzt. Der mittlere Lösemittelanteil der Holzlacksysteme liegt bei ca. 65 %. Nach Schätzungen der holzverarbeitenden Industrie und von Lackherstellern dürfte der mittlere Auftragwirkungsgrad beim Beschichten von Holz ca. 25 bis 30 % betragen. Somit sind derzeit jährliche Lackverluste an koagulierten Lack- und Farbschlämmen von ca. 15.000 bis 20.000 t zu erwarten, deren Entsorgung immer schwieriger wird. Die vorrangige Aufgabe bei der Holzlackierung muß es somit sein, die Overspray-Verluste und Lösemittelemissionen deutlich zu senken.

In Baden-Württemberg fallen bei 118 Holzlackierbetrieben jährlich ca. 1.788 t Lack- und Farbschlämme sowie 631 t Lackreste an[2].

Neben den Lack- und Farbschlämmen sowie Lackresten sind als weitere wichtige Reststoff-/Abfallarten zu nennen:

- Verunreinigte Lösemittel
- Destillationsrückstände
- Lackgebinde
- Schleifstäube und Schleifmittel

Lack- und Farbschlämme, nicht ausgehärtete Restlacke, Reinigungslösemittel sowie Destillationsrückstände werden nach der Abfallbestimmungsverordnung (AbfBestV) als besonders überwachungsbedürftige Abfälle eingestuft.

[1] DFO: Lackstatistik 1989/90 der Deutschen Forschungsgesellschaft für Oberflächenbehandlung e.V., Düsseldorf, 1990
[2] Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Thema Umwelt, Ausgabe vom 2.4.91, Artikel-Nr. 3621 87007

Teil A – Stand bei der Holzlackiertechnik

2 Grundlagen der Holzlackierung – Stand der Produktionstechnik

2.1 Vorbehandlung[3]

2.1.1 Gründe zur Vorbehandlung der Holzoberflächen

Bei Holz als natürlichem Rohstoff ist mit Wuchsunregelmäßigkeiten, verschiedenartigen Oberflächenstrukturen und Inhaltsstoffen (u.a. Wasser, Harze) zu rechnen. Funktion und Aussehen von Lackierungen können durch diese Faktoren erheblich beeinträchtigt werden, z. B. durch Ausdunstungen oder durch das Aufstellen von Fasern. Die Oberfläche der zu lackierenden Holzteile muß deshalb vorbehandelt werden. Bei der Auswahl der Vorbehandlungsmaßnahmen sind die unterschiedlichen Qualitätsansprüche an deckende und lasierende Beschichtungen zu beachten, wobei die Anforderungen an die Holzteile u.a. in folgenden Normen definiert sind:

- DIN 18355 VOB Teil C (ATV) Tischlerarbeiten
- DIN 68360 Holz für Tischlerarbeiten
- DIN 68126 Profilbretter mit Schattennut
- DIN 68706 Sperrtüren
- DIN 68121 Holzprofile für Fenster und Fenstertüren
- DIN 68740 Paneele
- DIN 68800 Vorbeugender chemischer Holzschutz, Teil 3 und 5 der Holzwerkstoffplattennormen (Span-, Holzfaserplatten, Sperrholz u.a.)

Diese Anforderungen betreffen u.a. die Ebenheit der Oberfläche, die Beseitigung von Bearbeitungsspuren, die Behandlung von Bläue und Farbunterschieden, Fäule, Krater, Faseraufrichtungen, Rissen, Ästen, Insektenfraßgängen, Harzgallen, Einschlüssen sowie das Maß der Holzfeuchtigkeit.

Zur Erfüllung der Anforderungen an die zu lackierenden Holzoberflächen sind Schleif- und andere Behandlungsverfahren sowie Farbänderungen anzuwenden, die im folgenden näher beschrieben sind.

2.1.2 Schleifen der Oberflächen

Zum Erzielen gleichmäßiger und ebener Lackschichten müssen die Holzoberfläche bzw. bereits aufgetragene Lackschichten durch verschiedene Schleifoperationen geglättet werden.

Grundsätzlich unterscheidet man:

Kalibrierschliff: Grobschliff von Vollholz und Holzwerkstoffen, Entfernung von Klebstoffresten, Dickenschliff; Schleifmittelkörnung 20 bis 60.

[3] Dr. M. Rothkamm: Taschenbuch für Lackierbetriebe 1991. Vincentz Verlag, Hannover

Holzvorschliff: Schleifen maschinengehobelter und furnierter Flächen sowie von Holzwerkstoffplatten; Schleifmittelkörnung 60 bis 120.

Holzfertigschliff: Feinschleifen von Vollholz, furnierten Flächen sowie Holzwerkstoffplatten; Schleifmittelkörnug 120 bis 240.

Lackvor- und -zwischenschliff:
Erzeugen einer ebenen Grundfläche, Egalisieren der „Orangenhaut" von Lackschichten, Beseitigen von Rauheiten, Abtragen von Spitzen (Lacknebel); Schleifmittelkörnung 220 bis 320.

Lackfertigschliff: Oberflächenfinish; Schleifmittelkörnung 320 bis 800.

Die Schleifbänder bestehen aus mehr oder weniger flexiblen Trägern (Papier, Gewebe oder Papier-Gewebe-Kombinationen), worauf das Schleifkorn, in Kunstharz eingebettet, aufgetragen ist. Für die Bearbeitung von Massivholz hat sich eine Korundstreuung, für den Lackschliff Siliziumkarbid bewährt. Durch „schleifaktive" Zusätze kann z. B. die elektrostatische Aufladung beim Schleifen vermindert und so der Schleifstaub leichter abgesaugt werden, was die Lebensdauer des Schleifbandes verlängert.

Man kennt verschiedene Arten der Schleifkornbelegung (Streuung) auf den Bändern:

Eine Flächendeckung mit Schleifkörnern bis zu 60 % erzielt man mit der sogenannten offenen Streuung. Dies erlaubt wegen des großen Spanraumes eine gute Abführung des Schleifstaubes, insbesondere bei weichen, harzhaltigen Hölzern und verhindert eine zu starke Erwärmung des Bandes.

Mit der geschlossenen Streuung (mehr als 60 % der Fläche mit Schleifkörnern bedeckt) wird bei harten Hölzern oder Lackschichten ein dichteres Schliffbild erzeugt. Allerdings setzen sich derartige Bänder leichter zu. Je größer die Rohdichte des Holzes, desto feinkörniger kann das Schleifband und desto höher der Vorschub sein. Schleifbänder auf Gewebebasis ergeben höhere Standzeiten als solche auf Papierbasis. Ein möglichst „kühler" Schliff durch Anpassung der Schnittgeschwindigkeit und des Anpreßdrucks ist insbesondere bei harzreichen Hölzern anzustreben, um thermische Schädigungen zu vermeiden. Der Fertigschliff (Nachschliff) ist so lange fortzuführen, bis vom Vorschliff her keine Rauhigkeit mehr vorhanden ist.

Es gibt Bandschleifmaschinen mit Längsbändern (arbeiten in Vorschubrichtung) und solche mit Längs- und Querbändern (Kreuzschliff). Ein querschleifendes Band als erstes Schleifelement empfiehlt sich, weil

1. quer zur Holzfaser beim Schleifen die größte Abbauleistung erzielt wird,

2. Verunreinigungen der Werkstückoberfläche sich auf dem Band besser verteilen und die Gefahr der Streifenbildung verringert wird,

3. eine größere Planheit der Fläche erzielt wird,

4. die Kosten für ein Querband erheblich niedriger sind als für ein Breitband.

Moderne Breitbandschleifmaschinen sind mit elektronischer Werkstückerkennung und elektronischen (oder pneumatischen) Druckbalken ausgestattet, wodurch die Dickenabweichung der Teile, deren Schüsselung (Verzugserscheinungen bei Flachteilen, z. B. durch Hochziehen der Randbereiche) und der ggf. stärkere Anleimer erkennbar werden und ausgesteuert werden können. So wird erreicht, daß über die gesamte Fläche ein gleichmäßiger Schleifdruck herrscht und nur z. B. 0,15 mm abgetragen werden ohne Durchschliff der Ränder von beschichteten Flachteilen bis auf das Grundmaterial.

Soll nicht nur der gleichmäßige Oberflächenschliff erzeugt, sondern das Werkstück auch kalibriert, d. h. auf einheitliche Dicke geschliffen werden, so bedient man sich einer harten Kontaktwalze als erstem Schleifaggregat. Deshalb sind in modernen Schleifautomaten verschieden arbeitende Aggregate nacheinander installiert, wobei die Schleifbänder verschiedene Drehrichtungen haben können.

Für das Bearbeiten (Glätten) von Softformingkanten und Profilen werden spezielle Kanten- und Profilschleif-Maschinen verwendet. Schmale Flächen werden mit Flächenschleifaggregaten, größere Radien mit Profilschleifbandaggregaten, kleine Radien und scharfkantige Profile in der Regel mit Schleifmittelscheiben bearbeitet. Mit Schleifmittelmineralien ausgestattete Scotch-Brite-Scheiben führen auf der Holzoberfläche einen sauberen Faserabriß herbei und dienen der Glättung. Auch Linearschleifer (Schwingschleifer) bewirken einen guten Faserabriß.

Für das Zwischenschleifen vorlackierter Kanten werden in Härte und Körnung unterschiedliche Lackschleifscheiben eingesetzt. Durch die Verwendung von Langzeitschleifmitteln, die gleich scharfe Schleifkörper über die Werkzeugstandzeit ermöglichen, können Riefen bzw. glänzende Stellen vermieden werden. Eine Überhitzung des Werkstücks muß auch hier vermieden werden.

Schleif-Bürstenmaschinen haben sich besonders für den Zwischen- und Glättschliff bei der Rahmenbearbeitung bewährt, und zwar mit Bürstenköpfen und ggf. mit Bandschleifaggregaten.

Auch wenn eine mechanisch feinstbearbeitete Holzoberfläche gute Voraussetzungen für das Lackieren bietet, haben sich doch viele Betriebe wegen der besseren Oberflächenhaftung und zur Reduzierung der Nacharbeit zum zusätzlichen Schleifen der Lackschichten entschieden. Rauhe Stellen lassen sich am sichersten durch Schliff beseitigen. Das abschließende Reinigen (Bürsten) von anhaftenden Holz- und Schleifmittelpartikeln ist unerläßlich, um Einschlüsse in der folgenden Lackschicht zu vermeiden.

2.1.3 Entharzen

Zur Beseitigung des Harzes von der Holzoberfläche wird eine dreiprozentige Seifenlösung aufgetragen und in Faserrichtung bis zur Schaumbildung gebürstet. Dann wird mit lauwarmem Wasser nachgewaschen und mit einem sauberen Tuch trocken gerieben. Nach Trocknung an der Luft kann mit feinem Schleifpapier nachgeschliffen werden. Man kann der Seifenlösung zur Erhöhung der Wirkung beim Entharzen etwas Ammoniak zugeben. Nimmt man die Entharzung mit Lösemitteln vor, ist mit einer feinen Verteilung des Harzes über die gesamte benetzte Oberfläche zu rechnen.

Aus der Tiefe des Holzes kann temperatur- und zeitabhängig Harz an die bereits entharzte Oberfläche nachdiffundieren. Da Harz insbesondere die gleichmäßige Aufnahme von Beize als mögliche Erstbeschichtung stört, sollten die weiteren Behandlungsschritte möglichst bald vorgenommen werden.

2.1.4 Entfernen von Flecken

Leimdurchschläge, z. B. bei Sperrholzplatten, können Beizstörungen und helle Flecken sowie Haftungsprobleme der Lackschicht hervorrufen. Ihre Beseitigung ist bei ausgehärteten duroplastischen Klebstoffen durch Schleifen, bei PVAc[4]-Leimen mit einer Holzseifelösung möglich. Die Nachbehandlung erfolgt durch Waschen, Trocknen und Feinschleifen.

Rost- und Tintenflecken können mit einer Kleesalzlösung ausgewaschen und nachbehandelt werden. Bei Tinte muß man bisweilen Wasserstoffperoxid zu Hilfe nehmen. Fett- und Schmier-

[4] Polyvinylacetat

ölflecken behandelt man mit organischen Lösungsmitteln oder einem Brei aus gebrannter Magnesia und Benzin. Nach dem Trocknen wird die Oberfläche ausgebürstet.

Beizflecken werden durch Bestreichen mit Salzsäure (Verdünnung 1:10) behandelt, zur Entfernung nach einigen Stunden nachgewaschen und neu gebeizt.

2.1.5 Wässern der Holzfläche

Das störende Aufrauhen einer Holzoberfläche (Aufstehen von Fasern) durch Lackdispersionen auf wässriger Basis kann ganz erheblich eingeschränkt werden, wenn in der Lackierstraße zuvor ca. 30 g/m^2 Wasser auf die Holzoberflächen aufgetragen, getrocknet und oberflächlich geglättet wird. Bei Massivholzteilen ist ein Egalisieren mit ca. 50 g/m^2 Wasserauftrag, ggf. unter Zugabe von 10 % Harnstoff, sinnvoll. Harzhaltige Nadelhölzer nehmen die Beize gleichmäßiger auf, wenn dem Wasser zur besseren Benetzung 10 % Ammoniak zugegeben wird. Bei Laubhölzern gibt man statt Ammoniak Essigsäure zu, um Farbänderungen der Holzoberfläche zu vermeiden.

2.1.6 Strukturieren von Holzoberflächen

Unter Strukturieren wird ein „Erosionsvorgang" mit unterschiedlicher Wirkung in den Früh- und Spätholzbereichen verstanden. Eine solche „abgetragene" Fläche kann z. B. durch Sandstrahlen, Abreiben mit Sand, Brennen oder Bürsten erreicht werden.

2.1.7 Farbänderungen der Holzoberfläche[5]

Zum Teil können geringfügige, aber sichtbare Farbänderungen den Gesamteindruck sowohl in positiver als auch in negativer Weise massiv beeinflussen. Aus dieser Situation heraus sind seitens der Lackindustrie in Zusammenarbeit mit der Möbelindustrie zahlreiche Färbeverfahren entwickelt worden, um für den speziellen Anwendungsfall das optimale Ergebnis erzielen zu können. Im wesentlichen kommen folgende, im Einzelfall auch untereinander kombinierbare Materialien und Verfahren, in Betracht:

- wässrige oder lösemittelhaltige Holzbeizen,
- lasierend eingefärbte Lacke,
- chemische Färbeverfahren.

Bei diesen farbgebenden Behandlungen bzw. Beschichtungen handelt es sich um Vorbehandlungsverfahren, da in der Regel eine Überlackierung erforderlich ist.

2.1.7.1 Einsatz von wässrigen und lösemittelhaltigen Holzbeizen

Holzbeizen sind Lösungen oder Dispersionen von Farbstoffen und Pigmenten in Wasser (sog. Wasserbeizen) oder in organischen Lösungsmitteln (sog. Lackbeizen). Zur Erzielung spezieller Effekte werden Harze, Anti-Absetzmittel etc. zugesetzt.

Holzbeizen sind in einem fast grenzenlosen Spektrum an Farbtönen realisierbar. Das Beizbild kann von brillant/klar bis abgedeckt/fahl variieren. Vorteilhaft wirkt sich aus, daß die Holzfaser

[5] H. Bockholt: Taschenbuch für Lackierbetriebe 1991. Vincentz Verlag, Hannover

an ihrer Oberfläche eingefärbt wird, ohne die arteigene Maserung und Porenzeichnung zu verlieren.

Wasser- und Lackbeizen unterscheiden sich aufgrund ihrer speziellen Charakteristika zum Teil sehr wesentlich voneinander:

Wasserbeizen erfordern in der Regel einen höheren Materialauftrag als Lackbeizen. Letztere haben aufgrund ihrer geringen Oberflächenspannung wesentlich bessere Benetzungseigenschaften, die sich insbesondere bei porigen Hölzern (Eiche, Esche u.a.) positiv auswirken. Bei flachporigen Hölzern (Buche, Kirschbaum u.a.) hingegen wirkt sich dieser Effekt durch die Verstärkung von Holzfehlern nachteilig aus. Die Auswahl des Beizentyps für die verschiedenartigen Hölzer und Qualitätsanforderungen muß deshalb sorgfältig getroffen werden. Die Tendenz zurück zur Wasserbeize wird darüber hinaus durch die geforderte Reduzierung der Lösemittelemissionen gemäß TA Luft verstärkt (Lackbeizen enthalten bis ca. 95% Lösemittel).

2.1.7.2 Auftrag lasierender Lacksysteme

Lasierende Lacke sind mit Farbstoff und/oder Pigmenten transparent eingefärbte Klarlacke. Im Gegensatz zu den Holzbeizen ist bei diesen Systemen der aufgetragene Lackfilm gefärbt, während bei der Beize die Holzoberfläche eingefärbt wird. Daher ergibt sich eine, insbesondere bei zunehmend farbtieferen Tönen, stärkere Abdeckung der Holzmaserung und damit ein immer deutlicher werdender Kunststoffcharakter. Lasierende Lacke werden deshalb bevorzugt für farbschwache Hölzer eingesetzt, wobei unterschiedliche Holzeigenfarben besser egalisiert werden als bei entsprechenden Holzbeizen.

Zum Einsatz kommen das Spritz-, Gieß- und Hartgummiwalzenverfahren. Schwierig gestaltet sich das manuelle Spritzen von komplexeren Teilen wie z. B. Füllungstüren oder Stuhlmöbel. Durch das Überschneiden der Spritzbahnen beim zwangsläufig zu drehenden Werkstück kommt es durch den stellenweisen Mehrauftrag an Material zu Farbverschiebungen. Eine Kombination mit Holzbeizen bietet sich hier als Alternative an: Grundfarbton mit Holzbeize, Endfarbton und Egalisierung mit lasierenden Lacksystemen.

2.1.7.3 Chemische Färbeverfahren (Bleichverfahren)

Die Färbung von Holzoberflächen durch den Auftrag von Doppel- und Metallsalzbeizen hat heute in der holzverarbeitenden Industrie fast keine Bedeutung mehr. Schlecht reproduzierbare Farbtöne, hohe Empfindlichkeit gegen Temperaturschwankungen, Holzfeuchtigkeit, Metallionen etc. machen einen sinnvollen Einsatz beinahe unmöglich, zumal wesentlich leichter zu verarbeitende Ersatzprodukte auf dem Markt sind. Lediglich das Laugen von Eiche sowie das Bleichen mit Wasserstoffperoxid werden noch angewandt.

Die Bleichung mit Wasserstoffperoxid in Verbindung mit geringen Mengen alkalischer Bleichaktivatoren wird beispielsweise dann angewandt, wenn die Verwendung von Weißpigmenten in Holzbeizen und lasierenden Lacken eine zu starke Verschleierung der Maserung bewirken würde. Im Anschluß an eine Bleichung muß eine minimale Wartezeit von 24, besser 48 Stunden eingehalten werden, um bei der Weiterbehandlung mit Beize und Lack keine Probleme (Grauwerden, Farbumschlag) hervorzurufen. Sowohl die nachfolgende Beize als auch der Lack müssen auf den Bleichvorgang abgestimmt sein.

2.2 Lackierung

2.2.1 Lackarten[6]

2.2.1.1 Nitrozelluloselacke

Nitrozelluloselacke (NC-Lacke) gelten als das klassische Beschichtungsmaterial für offenporige Lackierungen in der Möbelfertigung. Die Anwendungsbreite ist sehr groß. NC-Lacke lassen sich praktisch auf alle qualitativen und anwendungstechnischen Erfordernisse einstellen. Einschränkungen sind jedoch gegeben durch den relativ hohen Anteil organischer Lösemittel, der sich systembedingt nicht ohne weiteres senken läßt.

Bei sehr hellen Farbtönen, z. B. bei durchgefärbten Furnieren und hellen grauen Beizfarbtönen, wie sie heute auf Ahorn verwendet werden, ist jedoch die Lichtbeständigkeit eingeschränkt und muß durch Zusatzmittel (Lackadditive) verbessert werden.

2.2.1.2 Säurehärtende Lacke (SH-/SHE-Lacke)[7]

Säurehärtende Lacke bestehen in der Regel aus zwei Komponenten. Sie härten durch chemische Reaktion (Polykondensation), wobei Formaldehyd freigesetzt wird, das zu Gesundheits- und Umweltproblemen führen kann. Deshalb ist ihr Einsatz, trotz der positiven Eigenschaften des Lackfilms, rückläufig. Wegen ihrer guten Haftung auf Holz werden sie auch als Grundierung für anschließende Beschichtungen mit anderen Lacksystemen angewandt.

Um die Vearbeitung zu vereinfachen, gibt es auch säurehärtende Einkomponentenlacke.

2.2.1.3 Ungesättigte Polyesterlacke

Ungesättigte Polyesterharzlacke (2K-Lacke) sind chemisch aushärtende Reaktionslacksysteme. Grundsätzlich werden bei dieser Aushärtung durch Polymerisation keine Spaltprodukte freigesetzt.

Sofern organische Lösemittel enthalten sind, in der Regel Monostyrol, werden diese während der Polymerisation zum Teil oder vollständig im Lackfilm eingebunden. Dadurch ist die Lösemitteleinsatzmenge nicht identisch mit der emittierten Lösemittelmenge.

Weiterhin muß bei den Zweikomponenten (2K) - Polyesterlacken zwischen paraffinhaltigen und -freien Lacken unterschieden werden sowie zwischen Polyesterlacken für Walz-, Spachtel- bzw. Spritzverfahren, die durch energiereiche Strahlung, in der Regel im UV-Bereich, aushärten.

Von besonderer Bedeutung sind die pigmentierten Lacke für die Füllerschichten, wie sie bei flächigen Teilen verwendet werden. Auch bei MDF-Platten[8], wo bestimmte Schichtdicken und Lackmengen erforderlich sind, hat sich der Einsatz bewährt. Es ist jedoch zu beachten, daß

[6] Literatur vgl. Kap. 2.1
[7] Dr. M. Rothkamm: Taschenbuch für Lackierbetriebe 1990. Vincentz Verlag, Hannover
[8] Mitteldichte Faserplatte (engl. **M**edium **D**ensity **F**ibreboard)

beim Spritzlackieren die gleichzeitige Verwendung von 2K-Polyesterlacken mit anderen, leicht entzündlichen Lackmaterialien zu vermeiden ist. Die durch Härterzugabe reagierenden Polyesterlacke führen zu exothermen Reaktionen des in der Spritzkabine abgeschiedenen Lackgemischs, wodurch Brände entstehen können (siehe VBG 23).

Die in der Industrie für Grundierzwecke eingesetzten UV-härtenden Walz- und Spachtelmassen haben durch ihre geringen Lösemittelanteile und ihre schnelle Weiterverarbeitbarkeit große Bedeutung erlangt. Sie werden entweder auf Basis ungesättigter Polyesterlacke bzw. mit Acryl-Harz-Komponenten hergestellt.

Neue Holzwerkstoffe und Verarbeitungstechniken müssen z. T. aus qualitativen Gründen mit neuen Lacksystemen abgestimmt werden. Bestes Beispiel dafür ist die MDF-Platte, die im Kantenbereich und auch bei Innenausfräsung von Profilen eine Isolierung bzw. Imprägnierung benötigt. Zur Zeit ist diese Isolierung nur mit lösemittelhaltigen Produkten möglich.

2.2.1.4 Zweikomponenten-Polyurethanlacke

Es handelt sich dabei um ein Reaktions-Lacksystem, d. h. vor der Verarbeitung muß dem eigentlichen Lack (Stammlack) eine Härterkomponente zugefügt werden.

Während die chemische Reaktion abläuft, bei der keine Spaltprodukte entstehen, und die dem Lackfilm eine außergewöhnliche Beständigkeit verleiht, verdunstet das Lösemittel.

Polyurethan-Lacksysteme gibt es farblos, mit den unterschiedlichsten Effekten von stark anfeuernd (farbliches Hervorheben der Holzstruktur) bis zu den sogenannten Naturholz-Effekten. Durch die Auswahl des Härters kann auch eine hervorragende Lichtbeständigkeit erreicht werden, so daß im späteren Gebrauch keinerlei Verfärbungen oder Vergilbungen auftreten (hier ist jedoch bei Naturholz auf die Holzfarbstoffe zu achten).

Gegen Holzinhaltsstoffe aus verschiedenen Hölzern (z. T. sind bei neuen Hölzern die Inhaltsstoffe nicht bekannt) ist das Lacksystem praktisch unempfindlich. In vielen Fällen ist es die einzige Alternative, um „schwierige" Hölzer zu lackieren.

Aufgrund der guten Isolier- und Imprägnier-Eigenschaften kann sogar der Gebrauch von Holzwerkstoffen, die Formaldehyd beinhalten (siehe Gefahrstoff-Verordnung vom 26. 08. 1986), ermöglicht werden.

Durch seine chemische Struktur ist es auch ein ideales Beschichtungsmaterial zum Imprägnieren und Isolieren von Kanten der heute weit verbreiteten MDF-Platten.

Neuere Entwicklungen zu festkörperreichen (Medium- bzw. High-Solid) Systemen sind bereits in der Anwendung, speziell bei Hochglanz-Systemen. Auch Füllersysteme sind heute mit Festkörperanteilen von ca. 65 bis 70 % verfügbar.

In besonderen Fällen lassen sich Polyurethan-Lacke auch schwer entflammbar einstellen. Dies ist besonders wichtig für Innenausbau-Betriebe, die öffentliche Gebäude, Hotels o.ä. Einrichtungen ausstatten.

2.2.1.5 Wasserlacke

Wasserlacke zur Holzlackierung werden in drei unterschiedliche Beschichtungssysteme eingeteilt:

- Wasserlösliche Systeme als Grundierung
- Wasserverdünnbare Systeme (Dispersionen) – konventionell trocknend
- Wasserverdünnbare Systeme (überwiegend Emulsionen, teilweise auch Dispersionen) – UV-trocknend

Die Schichten aus **wasserlöslichen und -verdünnbaren Lacksystemen** haben sich aufgrund ihrer Beständigkeit nach der Trocknung als Isolierung unter lösemittelhaltigen Lacksystemen bewährt. Auch unter Lösemittelbeizen werden wasserlösliche Systeme schon seit langem für eine bessere Egalisierung des Beizbildes eingesetzt. Außerdem werden sog. Wasserspachtel eingesetzt, die auf rohen Spanplatten oder Hartfaserplatten verarbeitet und anschließend mit farbigen lösemittelhaltigen Lacksystemen beschichtet werden.

Bei der Verarbeitung **wasserverdünnbarer Lacksysteme** (Dispersionen und Emulsionen) erfolgt die Lackfilmbildung dadurch, daß nach der Verdunstung des Wassers die Polymerteilchen eng aneinander rücken und zusammenfließen. Dabei wird häufig ein geringer Anteil an organischen Lösemitteln (bis zu 5 %) zur Unterstützung der Filmbildung in das Lacksystem eingebaut.

Zu den wasserverdünnbaren Lacksystemen zählen solche auf Basis von spez. Alkydharzemulsionen sowie Acrylat-, Urethan- und Styrol-Acrylat-Dispersionen. Diese Lacke werden sowohl farblos als auch farbig pigmentiert eingesetzt.

Allgemein ist bei der Holzlackierung mit wasserlöslichen und -verdünnbaren Lacken vor allem folgendes zu beachten:

- Das „Lösemittel" Wasser quillt das Holz an; deshalb ist möglichst dünn zu grundieren, um ein Aufstehen der Holzfasern zu vermeiden, d. h. max. 80 g/m^2.
- Durch die höhere Verdampfungsenthalpie des Wassers gegenüber organischen Lösemitteln ist meistens ein höherer Energieeinsatz bzw. eine längere Anlagenzone zur Lackfilmtrocknung vorzusehen.
- Die andersartigen Filmbildungsmechanismen bei Wasserlacken gegenüber lösemittelhaltigen Lacken führen zu unterschiedlichen Anfeuerungen des Holzes, besonders bei dunklen Hölzern und leuchtenden Mahagoniefarbtönen.
- Aufgrund der Alkalität der Lacke kann es bei unsachgemäßer Verarbeitung zu Verfärbungen, z. B. einer Braunfärbung bei Eiche, kommen (pH-Wert der Lacksysteme liegt zwischen 7,5 und 8,5).
- Für die Lackierung von senkrecht stehenden Flächen sind besondere Lack-Viskositätseinstellungen vorzunehmen, die einen läuferfreien Lackauftrag ermöglichen. Der Lackierer muß sich an diese veränderten Lackeigenschaften und an eine entsprechend angepaßte Spritztechnik (Pistoleneinstellung und -handhabung) gewöhnen. Flächige, horizontal liegende Teile können erfahrungsgemäß problemlos spritzlackiert werden.
- In den Gießmaschinen läßt sich der Lack einwandfrei verarbeiten; ein schräggestelltes Blech in der Ablaufrinne ist allerdings notwendig, um Schaumbildung zu vermeiden.
- Beim Walzauftrag von Wasserlacken hat man noch keine optimalen Ergebnisse zur farblosen Lackierung von Holzoberflächen erzielt, da der Lacktransfer, d. h. der Übertrag des Lackfilms von der Auftragswalze zum Werkstück, noch qualitative Probleme (Walzstruktur) bereitet. Bei Wechsel von lösemittelhaltigen Lacken auf Wasserlacke in einer Walzmaschine muß zur Vermeidung von Filmbildungsstörungen wie folgt „umgenetzt" werden:
  Lösemittellack → Verdünnung → Umnetzerlösung → Wasser → Wasserlack. Bei Wechsel von Wasserlacken auf lösemittelhaltige Systeme gilt die umgekehrte Reihenfolge. Die Umnetzerlösung darf nicht zum Reinigen oder Verdünnen benutzt werden.

Andererseits weisen wasserlösliche und -verdünnbare Lacke folgende Vorteile auf:

- Umweltfreundlichkeit durch geringere Lösemittelanteile,
- Verarbeitungsfreundlichkeit, da praktisch keine Geruchsbelästigung entsteht,
- reduzierte Feuergefährlichkeit, da der Flammpunkt über 55 °C liegt,
- sehr füllkräftig, da hohe Bindemittelanteile vorhanden sind; keine Reversibilität wie bei NC-Lack,
- universell zu verarbeiten: Spritzen, Walzen (farbig), Streichen und Gießen,
- durch reduzierte Feuergefährlichkeit erübrigt sich der Einsatz ex-geschützter Geräte,
- kein zusätzlicher Verbrauch organischer Lösemittel, da nur mit Wasser verdünnt wird,
- der ausgehärtete Film ist relativ schnell mit Wasser belastbar,
- Wasserlacke enthalten keine aggressiven Lösemittel und sind daher gut als Reparaturlacke verwendbar.

Die Trockenzeiten sind teilweise länger als bei lösemittelhaltigen Lacken, dafür wird weniger Frischluft benötigt, um auf 0,8 Vol.-% Lösemittel in der Trocknerumluft zu verdünnen. Besonders wichtig sind eine relative Luftfeuchte von 50 bis 65 % und eine intensive Luftbewegung.

Durch den Einsatz spezieller Beizen ist es gelungen, den NC-Lackbeschichtungen hinsichtlich Anfeuerung und Brillanz fast ebenbürtig zu werden. Schwierigkeiten gibt es noch bei sehr leuchtenden Mahagonifarbtönen.

Einige industrielle Einsatzbeispiele sind:

- Profilbrettbehandlung (massiv),
- Oberflächenbehandlung von Korbwaren,
- Parkettlackierung,
- Innenausbau,
- Serienbehandlung von Weichhölzern.

Beim Mehrschichtauftrag von wasserlöslichen und -verdünnbaren Lacken gilt folgendes:

1. Wasserlack auf Wasserlack ist ohne weiteres möglich

2. Wasserlack auf Nitrolack ist möglich, wenn die alten Nitrolackschichten als Grundierung benutzt werden. Besonders bei Reparaturen in Innenräumen eignen sich Wasserlacke gut, da keine Geruchsbelästigung entsteht.

Bei den **UV-strahlungshärtenden Lacken** sind Systeme auf dem Markt mit einem Festkörpergehalt von 40 bis 60 %, die sowohl im Walz- als auch Gieß- und Spritzverfahren eingesetzt werden können. Es entstehen hochwertige Lackierungen mit sehr guten Beständigkeiten. Die Anfeuerung der Holzoberfläche stellt dabei kein Problem dar, da es sich um Emulsionen handelt, die wie echte Lösungen auftrocknen. Erfahrungen auf dem Gebiet der Profilbrettbeschichtungen liegen seit Jahren vor.

Die Entwicklung der UV-strahlungshärtenden Lacke für weitere Einsatzgebiete macht Fortschritte. So wurden in letzter Zeit Systeme entwickelt, die im Walzverfahren eingesetzt werden und bis zu 75 % Festkörper aufweisen. Hiermit können sehr gute Grundierungen und Finishoberflächen erreicht werden. Diese Materialien sind auch hervorragend für die elektrostatische Endlackierung von Holzfenstern geeignet.

2.2.1.6 Vergleich UV-härtender Lacke auf Wasser- und Lösemittelbasis

Im folgenden wird eine schematische Übersicht über die Formulierung von lösemittelhaltigen und wässrigen farblosen bzw. pigmentierten UV-Lacksystemen gegeben (Abb. 2-1):[9]

Lösemittelhaltige UV-Holzlacke	Wässrige UV-Holzlacke
Bindemittel	
Bindemittel-Kombinationen entsprechender UV-Lackharze in monomerhaltiger, lösemittelhaltiger bzw. wässriger Lieferform	
• Polyetheracrylate • Urethanacrylate • Epoxidacrylate aliphatisch bzw. aromatisch	• Polyesteracrylat-Emulsionen • Polyester-Emulsionen • Acrylat-Emulsionen bzw. -Dispersionen • Zellulosenitrat-Emulsionen
Sie unterscheiden sich u.a. durch Reaktivität, Elastizität, Widerstandsfähigkeit und Lichtbeständigkeit	
Reaktive Verdünner	
Sie beeinflussen den Grad der Vernetzung und dienen als Viskositätskorrektiv	In wässrigen UV-Lacken finden sie keinen Einsatz
Photoinitiatoren	
Sie starten die Polymerisation unter Einfluß von UV-Strahlen bestimmter Wellenlänge	
Synergisten	
Sie beschleunigen die Reaktion und beeinflussen die Oberflächenhärte positiv	In wässrigen UV-Lacken finden sie keinen Einsatz
Inhibitoren – Stabilisatoren – Emulgatoren	
Sie ermöglichen eine ausreichende Lagerbeständigkeit von UV-Lacken	
Lackadditive – Hilfsmittel	
Sie verbessern u.a. Schleifbarkeit, Entgasung, Oberflächenglätte u.a.m.	
Mattierungsmittel	
Werden zur Glanzgradeinstellung bis in den Bereich stumpf-matt eingesetzt	
Organische Lösemittel	
Werden als Viskositätskorrektiv, insbesondere im Bereich offenporiger Lackierungen im Festkörperbereich 30 bis 60 % eingesetzt	Finden bis maximal 10 % Einsatz
Füllstoffe – Pigmente	
Finden zur Erzielung von lasierend bis deckend pigmentierten UV-Grundierungen und UV-Decklacken als Glatt- und/oder Strukturlackierung Einsatz	

Abb. 2-1: Zusammensetzung von UV-härtenden Lacken

[9] Unterlagen von Herrn S. Freiberg, Firma Hesse GmbH & Co. Lack- und Beizenfabrik Hamm/Westf.

2.2.2 Schichtaufbau und eingesetzte Lackarten bei der Holzlackierung[10]

Nach der Vorbehandlung des Untergrundes, z. B. mit lösemittelhaltigen Beizen, wird in der Regel eine Grundierung sowie eine Decklackschicht aufgetragen. Je nach gewünschter Oberflächenstruktur (offen- bzw. geschlossenporig) kommen unterschiedliche Lacksysteme zum Einsatz. Bei der Forderung nach sichtbarer Holzmaserung, u.a. für Massivholz und Furniere, wird mit nicht pigmentierten Lacken (Klarlacken) gearbeitet. MDF-Platten sowie Kunststoffoberflächen werden i.a. mit pigmentierten Lacken im gewünschten Farbton beschichtet.

Bei den pigmentierten Lacksystemen wird zur Erzielung einer gleichmäßigen Lackschicht vor der Grundierung eine Sperrschicht appliziert (Isoliergrund), die die Lackaufnahme des Untergrundes reguliert und einschränkt. Dabei handelt sich in der Regel um PUR-Lacke, die im Spritzverfahren aufgetragen werden.

2.2.3 Lackauftrag[11]

2.2.3.1 Verfahrensübersicht und Kriterien für Applikationsverfahren der Holzlackierung

Zum Lackauftrag stehen unterschiedliche Verfahren zur Auswahl, die entsprechend dem vorgegebenen Werkstückspektrum, der geforderten Beschichtungsqualität sowie den umwelt- und arbeitsplatzbezogenen Richtlinien eingesetzt werden:

- Spritz- und Sprühverfahren,
- Walzen und Gießen,
- Trommeln und Zentrifugieren,
- Fluten und Tauchen,
- Vakuumauftragstechnik.

Besonders die folgenden vier Hauptkriterien sind bei der Auswahl und Betriebsweise von Holzlackierverfahren zu berücksichtigen:

- Beschichtungsqualität, d. h. Einhaltung der
  - funktionellen Eigenschaften,
  - Benetzung,
  - Verlaufsqualität,
  - Schichtdicken und Schichtdickenverteilung,
- Umweltfragen
  - Lösemittelemission minimieren,
  - Auftragwirkungsgrad sowie Lackoverspray-Wiederverwendung verbessern,
  - Entstehung von Kabinenabwässern vermeiden,
- Gewährleistung der physiologischen Unbedenklichkeit und Geruchslosigkeit der Beschichtung
- Wirtschaftlichkeit des Beschichtungsprozesses.

[10] Dr. M. Rothkamm: Taschenbuch für Lackierbetriebe 1990. Vincentz Verlag, Hannover
[11] M. Obst: Taschenbuch für Lackierbetriebe 1990. Vincentz Verlag, Hannover

2.2.3.2 Spritz- und Sprühverfahren

Zum Spritzlackieren von Holzoberflächen stehen prinzipiell mehrere Alternativen mit ihren spezifischen Vor- und Nachteilen zur Verfügung (Abb. 2-2):

- **Druckluftzerstäubung mit Hochdruckpistole**
- **Druckluftzerstäubung mit Niederdruckpistole**
- **Airlesszerstäubung mit Luftunterstützung**
- **Airlesszerstäubung**
- **Airlesszerstäubung mit erwärmtem Lackmaterial und/oder erwärmter Spritzluft**
- **Elektrostatisch unterstützte Druckluftzerstäubung**
- **Elektrostatisch unterstützte Airlesszerstäubung**
- **Elektrostatisch unterstützte Airlesszerstäubung mit Luftunterstützung**
- **Elektrostatisch unterstützte Hochrotationszerstäubung**
- **Rein elektrostatische Zerstäubung**

Abb. 2-2: Übersicht über die gebräuchlichsten Spritz- und Sprühverfahren

Druckluftzerstäubung

Die Zerstäubungsvorgänge mit Hoch- bzw. Niederdruck verlaufen prinzipiell nach denselben Mechanismen[12]. Die Druckluft strömt aus einer ringförmigen Öffnung, die durch eine Bohrung in der Luftkappe und der darin zentrisch angeordneten Lackdüse gebildet wird. Weitere Luftstrahlen aus entsprechenden Luftkappenbohrungen dienen zur Regulierung der Strahlform sowie zur Unterstützung des Zerstäubungsvorgangs (Abb. 2-3). Durch die mit hoher Geschwindigkeit ausströmende und expandierende Druckluft entsteht unmittelbar an der Lackdüsenmündung ein Unterdruckgebiet, das den Lackausfluß durch seine Saugwirkung unterstützt.

Die Relativgeschwindigkeit zwischen der Druckluftströmung und dem ausfließenden Lack verursacht das Zerreißen des Lackmaterials in einzelne Partikel, die in dem sich ausbildenden Freistrahl als kugelförmige Lacktröpfchen befördert werden.

Beim Hochdruckverfahren erreichen die ausströmenden Luftstrahlen die Schallgeschwindigkeit, wodurch das Lackmaterial äußerst fein zerstäubt werden kann.

Beim Niederdruckverfahren fällt die Zerstäubung durch die niedrigeren Luftstrahlgeschwindigkeiten entsprechend gröber aus. Zur Strahlausbildung müssen größere Luftmengen eingesetzt werden.

[12] Dipl.-Ing. D. Ondratschek: Taschenbuch für Lackierbetriebe 1991. Vincentz Verlag, Hannover

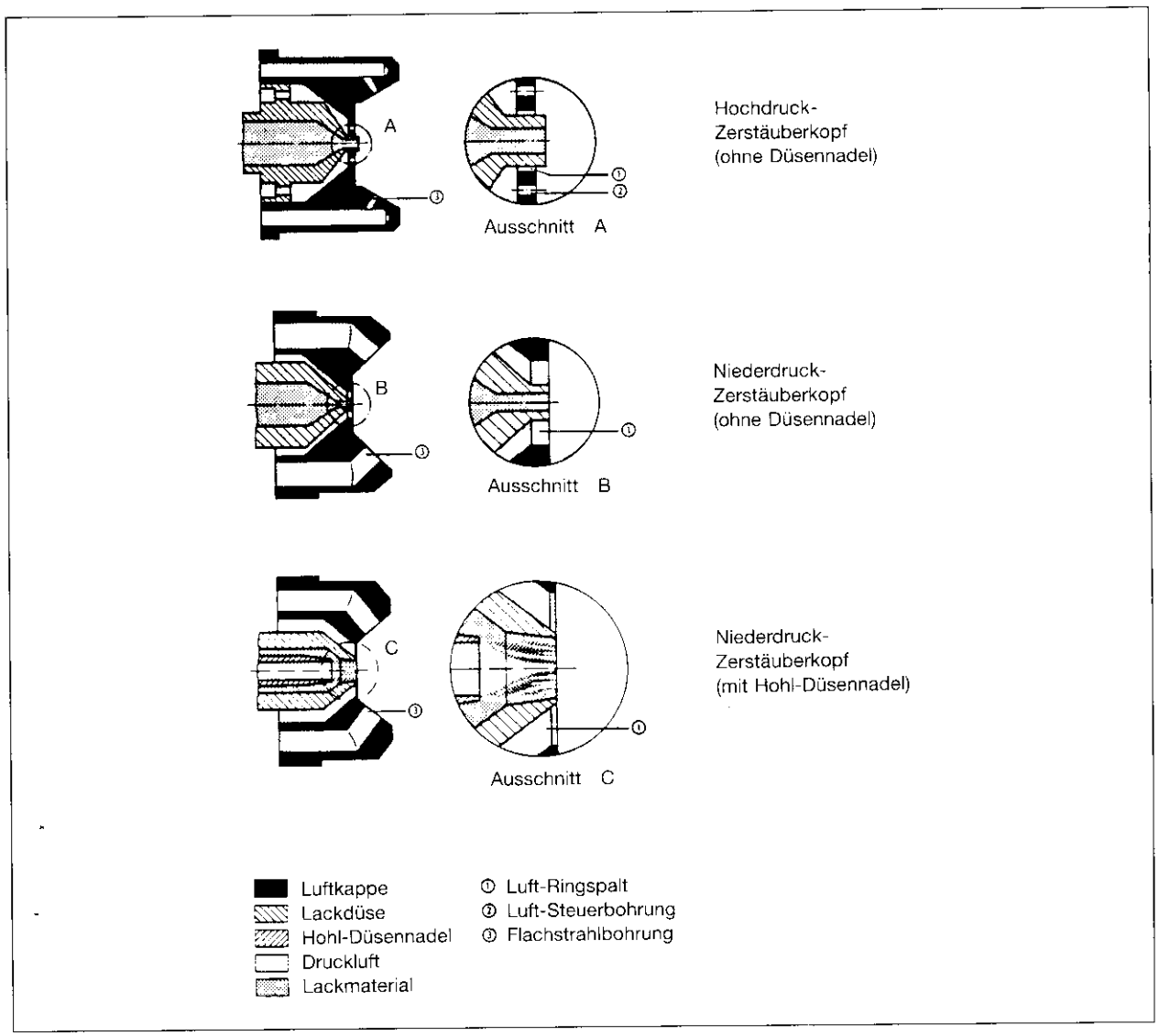


Abb. 2-3: Schnitte von Druckluft-Zerstäuberköpfen zum Spritzlackieren

Vor dem Hintergrund neuer Bestimmungen aus den USA (Bundesstaat Californien) erlangt das Niederdruck-Spritzlackieren wieder größere Bedeutung. In der „Rule 1136" für die Holzlackierung und der „Rule 1151" für die Automobilreparaturlackierung wird für eine lacknebelärmere Spritztechnik mit Auftragwirkungsgraden > 65 % u.a. die Druckluftzerstäubung mit Arbeitsdrücken < 0,7 bar als Alternative zum konventionellen Druckluftspritzen gefordert.

Dieses Verfahren des Niederdruck-Spritzens ist auch unter der Bezeichnung HVLP-Spritzen[13] bekannt. Durch die Verwendung großer Spritzluftdüsen ermöglichen HVLP-Pistolen auch bei geringem Spritzluftdruck einen Lackdurchsatz, der mit dem Durchsatz herkömmlicher Druckluftspritzpistolen (3,5 bar) vergleichbar ist. Der reduzierte Spritzdruck wirkt sich günstig auf den Auftragwirkungsgrad aus, womit Lackeinsparungen von ca. 20 % gegenüber dem konventionellen Druckluftspritzen durchaus möglich sind.

Gegenüber dem konventionellen Druckluftspritzen kann sich jedoch die optische Oberflächenqualität der Lackschichten verringern. Der Einsatz von HVLP-Spritzpistolen erfordert weiterhin eine Anpassung der Lacke (Viskosität, Art der Lösemittel) und der Spritztechnik. Da in der Bundesrepublik Deutschland keine direkten gesetzlichen Vorschriften vorliegen, die oversprayarme Spritzverfahren vorschreiben, findet das HVLP-Verfahren derzeit nur eine begrenzte Anwendung.

[13] High-Volume-Low-Pressure-Spritzen

Die zur Zerstäubung und Strahlformung erforderlichen Luftmengen und -drücke werden beim Hochdruckverfahren durch Kompressoren erzeugt. Beim Niederdruckverfahren werden Schaufelradgebläse verwendet oder Druckwandler zwischen Kompressor und Pistole geschaltet.

Das Lackmaterial wird je nach Mengenbedarf und Viskosität durch unterschiedliche Fördersysteme der Düse zugeführt (Saugbecher, Fließbecher, Druckgefäß, Umlaufsystem).

Druckluft-Spritzgeräte werden als Handpistolen oder als Automatikpistolen mit pneumatisch gesteuerter Lackzufuhr hergestellt (Abb. 2-4).

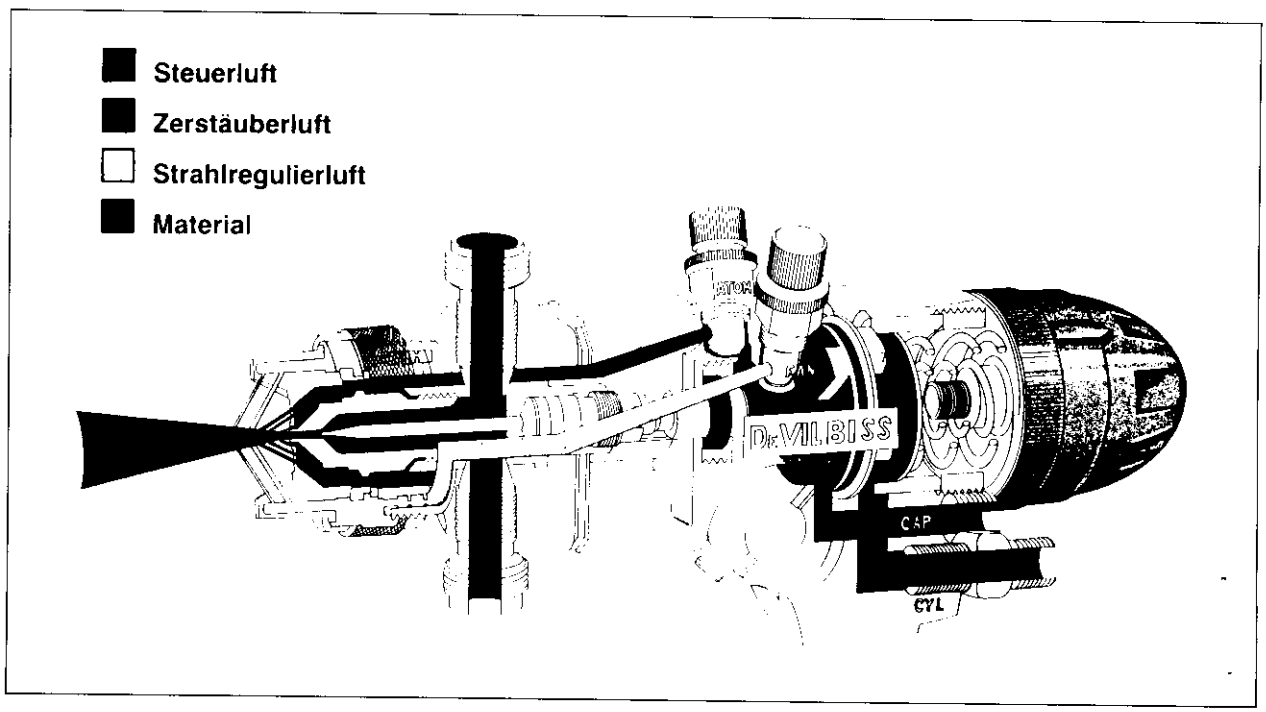


Abb. 2-4: Schnittbild einer Präzisions-Spritzpistole[14]

Airlesszerstäubung

Das unter hydrostatischem Druck stehende Lackmaterial wird bei den Airlessgeräten mit separater Höchstdruck-Förderpumpe (Industriegeräte für größeren Lackdurchsatz) durch eine Spaltdüse aus Hartmetall gepreßt. Die Zerstäubung des komprimierten Lacks erfolgt durch seine Relativgeschwindigkeit zur Umgebung sowie durch die schlagartige Entspannung unmittelbar nach dem Düsenaustritt. Gesteuerte Turbulenzbildungen des Lackmaterials durch verengte Strömungsquerschnitte und Prallplatten vor dem Düsenaustritt unterstützen die Zerstäubung.

Die stationär oder mobil auslegbare Spritzausrüstung umfaßt neben der Pistole den Lackbehälter, eine Pumpe zur Lackförderung und -verdichtung sowie hochfeste Lackschläuche.

Als Lackpumpen werden pneumatisch oder hydraulisch angetriebene, doppeltwirkende Differentialkolbenpumpen oder Membranpumpen verwendet. Die mit Übersetzungsverhältnissen bis 60:1 wirkenden Kolbenpumpen sind vor allem bei abrasiven Lackpigmentierungen erhöhten Verschleißbeanspruchungen ausgesetzt.

[14] Quelle: Fa. DeVilbiss

Airlesszerstäubung mit Luftunterstützung

Das mit niedrigerem Druck als beim Airless-Spritzen aus der Spaltdüse gepreßte Lackmaterial wird durch dieselben Mechanismen zerstäubt. Zur Vermischung und Homogenisierung des Spritzstrahls wirken zusätzliche Luftstrahlen mit niedrigem Druck aus den Luftkappenbohrungen auf den Spritzstrahl ein. Die Spritzanlagen entsprechen denen beim Airlesszerstäuben mit separater Höchstdruck-Förderpumpe mit einem zusätzlichen Druckluftausgang für die unterstützende Luftströmung.

Heißspritzen

Durch das Erwärmen des Lackmaterials vor dem Verspritzen können aufgrund seiner Viskositätserniedrigung mit zunehmenden Temperaturen höherviskose und damit auch lösemittelärmere Lacke verarbeitet werden. Dadurch entstehen weniger Lösemittelemissionen beim Spritzprozeß.

Das Erwärmen des Lackmaterials auf ca. 55 bis 70 °C erfolgt direkt im Becher bzw. über Wärmetauscher mit Heißwasser- oder Heißlackumlaufsystemen. Heißspritzanlagen müssen explosionsgeschützt ausgeführt sein, da der Flammpunkt der meisten Lackmaterialien überschritten wird. Zum Vermeiden von Filmbildungsstörungen müssen die verwendeten Lacke für die erhöhten Verarbeitungstemperaturen speziell geeignet bzw. modifiziert sein.

Bei Lackmaterialien, die im Bereich der üblichen Heißspritztemperaturen bereits zu reagieren beginnen bzw. andere Verarbeitungsstörungen zeigen, kann mit speziellen Durchlauferhitzern auch die Spritzluft erwärmt werden. Dies erfolgt zusätzlich bei höheren Lacktemperaturen oder alternativ mit höheren Lufttemperaturen (50 bis 100 °C) ohne Lackerwärmung.

Durch die Erhöhung der Lacktemperatur können dickere Lackschichten ohne Läuferbildung mit weniger Spritzgängen als beim Kaltspritzen erreicht werden. Verbesserungen der optischen Lackschichteigenschaften (Verlauf, Glanz) sind gegenüber dem Kaltspritzen bei vergleichbaren Lackschichtdicken nicht zu erwarten. Wahrscheinlich ist dieser in der Fachliteratur häufig zitierte Vorteil des Heißspritzens auf die meist dicker aufgetragenen Lackschichten zurückzuführen.

Elektrostatisches Sprühen

Alle elektrostatischen Sprühverfahren weisen das gemeinsame Merkmal auf, daß die geladenen Lacktröpfchen unter dem Einfluß elektrischer Kraftwirkungen auf das geerdete Werkstück gelangen (Abb. 2-5).

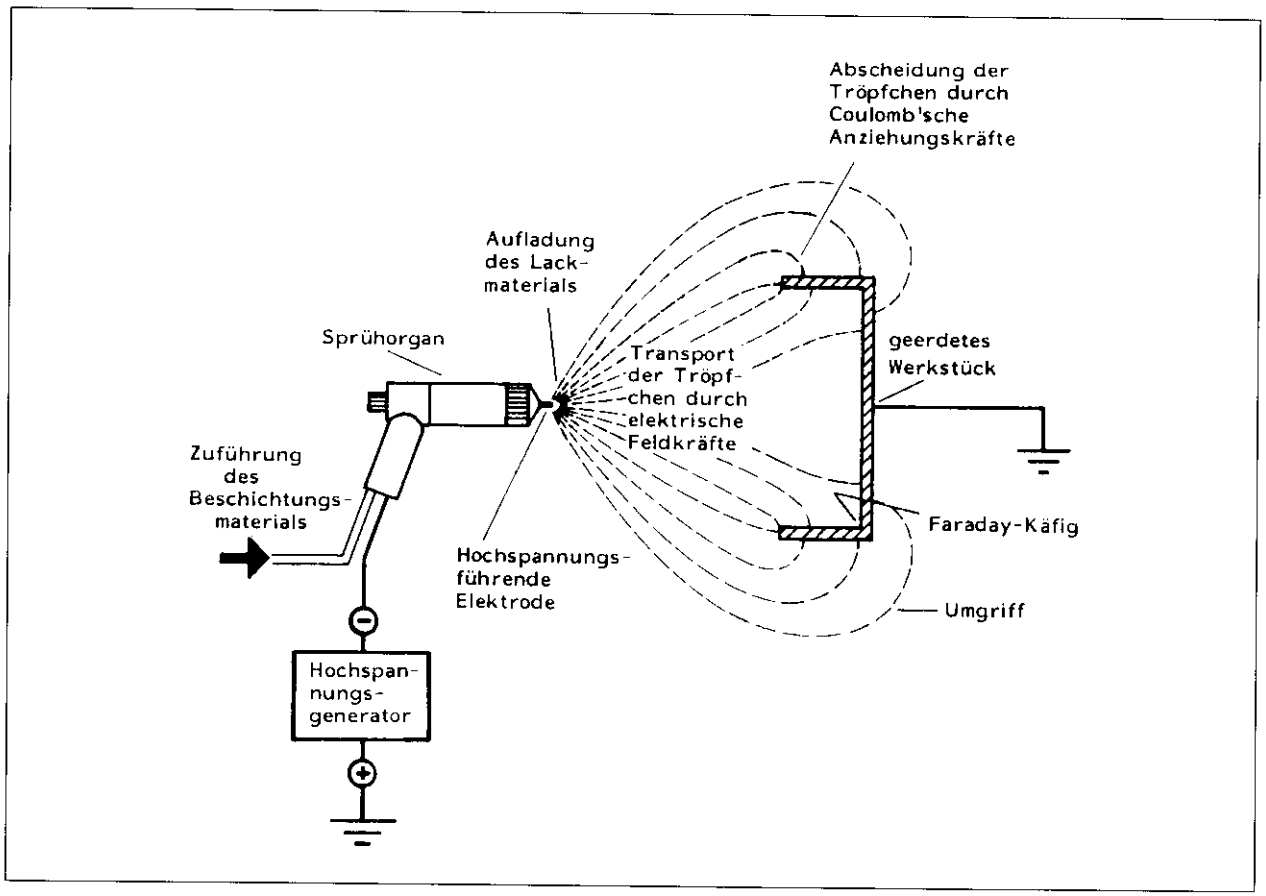


Abb. 2-5: Grundprinzip der elektrostatischen Lackierverfahren

Durch Nutzung der elektrischen Feldkräfte und der Coulombkräfte ergeben sich gegenüber dem Spritzlackieren ohne elektrostatische Lackaufladung vor allem folgende Vorteile:

- Geringere Lacknebelverluste, d. h. Reduzierung der Lösemittelemissionen und des Lackschlammanfalls,
- höhere Automatisierbarkeit und damit verbunden ein geringerer Luftdurchsatz in der Spritzkabine,
- Absenkung der Nacharbeits- und Ausschußrate und der Häufigkeit von Anlagenstörungen infolge der geringeren Verschmutzung von Kabinen und Beschichtungsanlagen mit Lacknebel,
- höhere Anlagenkapazität durch die Einsparung von Beschichtungszeit aufgrund des elektrostatischen Umgriffs der Lacktröpfchen,
- Kosteneinsparungen durch den verringerten Lackverbrauch.

Elektrostatische Sprühverfahren eignen sich besonders für schmale, profilierte Teile, wie Gestelle von Sitzmöbeln. Allerdings ist dazu ein Holzfeuchtigkeitsgehalt der Werkstücke von mindestens 8% für eine ausreichende elektrische Leitfähigkeit erforderlich.

Elektrostatisch unterstützte, mechanische Zerstäubungsverfahren

Bei den **elektrostatikunterstützten Druckluftspritzpistolen**, Airlesspistolen und Airlesspistolen mit Luftunterstützung wird das Lackmaterial durch die gleichen Mechanismen wie bei den konventionellen Pistolen zerstäubt. Die Pistolenkörper sowie die Lackdüsen (außer den Airlessdüsen) und Luftkappen sind aus Isoliermaterial gefertigt.

Bei den elektrostatikunterstützten Druckluftspritzpistolen erfolgt die Aufladung des Lackmaterials meist mittels einer nadelförmigen, an Hochspannung (50 bis 100 kV) liegenden Elektrode, die koaxial in der Lackdüse angeordnet ist und ca. einige Millimeter nach vorne herausragt. Dadurch ergibt sich eine Kombination aus der „Leitungsaufladung" des noch nicht zerstäubten Lackes (beim direkten Kontakt mit der Elektrode) mit der „Ionisationsaufladung", bei der sich freie Luft-Ionen an die bereits erzeugten Lacktröpfchen anlagern. Die Luft-Ionen entstehen an der scharfkantigen Elektrodenspitze infolge der dort stattfindenden Korona-Entladung. Diese Kombination ermöglicht eine hohe Aufladung der Lacktröpfchen unabhängig vom elektrischen Lackwiderstand.

Bei den **elektrostatikunterstützten Airlesspistolen** (mit und ohne Luftunterstützung) muß die Elektrode aus konstruktiven Gründen neben der Lackdüse angeordnet werden, so daß hier überwiegend eine „Ionisationsaufladung" erfolgt.

Die **elektrostatischen Hochrotationsglocken** (Durchmesser zwischen ca. 30 und 80 mm) arbeiten je nach Lackmaterial und Durchsatzmenge bei Drehzahlen zwischen ca. 15 000 min^{-1} und 40 000 min^{-1} und zerstäuben den tangential von der Glockenkante abgeschleuderten Lack infolge der hohen Relativgeschwindigkeit zur Umgebungsluft. Die Aufladung des Lacks erfolgt im allgemeinen durch „Leitungsaufladung", d. h. beim Kontakt mit der an Hochspannung im Bereich zwischen ca. 50 und 120 kV liegenden Glocke. Zur Regulierung der Breite und Homogenität des Sprühstrahls dient die „Lenkluft", die aus ringförmig hinter der Glocke angeordneten Luftbohrungen (koaxial zur Glockenachse) ausströmt.

Der Lacktröpfchentransport zum Werkstück erfolgt überwiegend durch elektrische Feldkräfte, so daß ein hoher Auftragswirkungsgrad bis ca. 90 % erreichbar ist.

Dieses elektrostatische Sprühsystem zum automatischen Lackauftrag wird bei der Holzlackierung z. B. zur Grund- und Decklackbeschichtung von Tischmöbeln mit Zweikomponenten-Polyurethanlacken eingesetzt. Weitere Anwendungen sind aus der Holzgestell- und Fensterlackierung bekannt.

Rein elektrostatisch zerstäubende Verfahren

Bei den rein elektrostatisch zerstäubenden Verfahren wird das Lackmaterial allein durch elektrische Feldkräfte zerstäubt. Dazu muß das Sprühorgan so gestaltet sein, daß der Lack als dünner Film über eine an Hochspannung (im Bereich von ca. 90 bis 160 kV) liegende Kante geführt wird. Aufgrund des dort stark konzentrierten elektrischen Feldes wirken hohe Feldkräfte auf die Lackfilmoberfläche ein. Dadurch bilden sich kleine Erhebungen, aus denen Lackfäden entstehen, die schließlich in einem charakteristischen „Zerwellvorgang" in elektrisch aufgeladene Tröpfchen zerfallen.

Aufgrund ihres hohen Lackauftragwirkungsgrades und der geringen Betriebskosten arbeiten die rein elektrostatisch zerstäubenden Verfahren sehr wirtschaftlich. Allerdings lassen sich nur Lackmaterialien mit nicht zu hoher Viskosität und einer elektrischen Leitfähigkeit im Bereich von etwa 5×10^{-4} bis 5×10^{-6} S/m ausreichend fein zerstäuben, wobei der Lackdurchsatz pro Sprühorgan begrenzt ist.

Bei der elektrostatischen Sprühscheibe (Durchmesser zwischen ca. 400 und 700 mm) bewirkt deren Rotation mit ca. 1500 min^{-1} eine gleichmäßige Verteilung des zentral zugeführten Lakkes als dünner Film an der Scheibenkante. Da die Sprühscheibe horizontal angeordnet ist und der Lack in der Scheibenebene abgesprüht wird, erfolgt die Werkstückförderung in einer „Omegaschleife" um das (auf- und abbewegte) Sprühorgan herum.

Bei der Holzlackierung wird das Verfahren z. B. zum Lackieren von Stühlen angewandt.

2.2.3.3 Walzen und Gießen

Flache, nicht profilierte Holzmöbelteile, wie z. B. Paneele, Fronten, Tafeln u.a., lassen sich wirtschaftlich und schnell durch Walzen und teilweise auch Gießen gleichmäßig beschichten[15]. Diese Verfahren bekommen immer größere Bedeutung, da ihr Auftragwirkungsgrad sehr hoch ist (nahe 100 %).

Durch den hohen Auftragwirkungsgrad entfallen die beim Spritzlackieren auftretenden Schwierigkeiten wie Abwasserbehandlung, Lackschlammentsorgung, Entlacken von Vorrichtungen und Anlagenteilen. Lediglich das Abdunsten der Lösemittel ist auf der Abluftseite zu beachten.

Walzen

Bei diesem Verfahren wird der Lack einseitig oder gleichzeitig von beiden Seiten mit rotierenden Gummiwalzen aufgetragen. Eine zusätzliche, verchromte Walze wird für die Lackdosierung benutzt (Abb. 2-6), wozu die Breite des Spaltes zwischen Lack- und Dosierwalze verstellt werden kann.

Beim Lackieren mit Gleichlaufmaschinen laufen Werkstück- und Lackierwalze in gleicher Richtung, während sie sich bei Reversmaschinen entgegengesetzt bewegen.

Beim Gleichlaufverfahren besteht der Nachteil, daß die Schichtdicke auf etwa 12 µm begrenzt ist und nur Lacke mit einer Auslaufzeit von 50 bis 60 s verarbeitet werden können. Bei größeren Schichtdicken trennt sich der Lack nur unvollkommen von der gummierten Walze und verursacht dadurch Strukturen an der Oberfläche.

Beim Reversverfahren treten diese Erscheinungen nicht auf. Es sind Schichtdicken zwischen 3 und 100 µm mit vollkommen gleichmäßiger Verteilung und strukturfreien, hochglänzenden Oberflächen möglich. Zudem ist bei Reversmaschinen der Einsatz von Lackmaterialen mit einem wesentlich größeren Viskositätsbereich (ca. 15 bis 150 s Auslaufzeit) möglich.

Dieses Verfahren erlaubt somit das Auftragen dünnster Schichten sowie den Einsatz von Polymerisationslacken mit hoher Viskosität. Der Auftrag von Zweikomponentenlacken ist ebenfalls möglich, wobei zunächst der Härter und anschließend der Stammlack aufgewalzt werden.

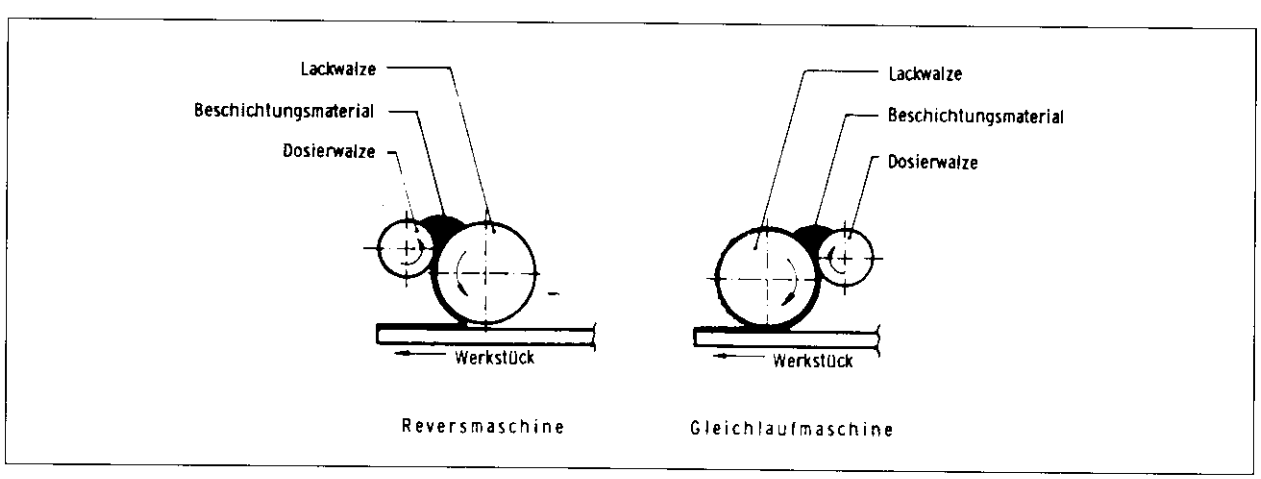


Abb. 2-6: Lackieren im Walzverfahren

[15] M. Obst: Taschenbuch für Lackierbetriebe 1991. Vincentz Verlag, Hannover

Gießen

Beim Gießen durchlaufen die ebenen oder nahezu ebenen Werkstücke einen Lackvorhang und erhalten einen gleichmäßigen Lackauftrag. Der Auftrag ist nur auf der obenliegenden Fläche möglich.

In der Gießmaschine (Abb. 2-7 und 2-8) wird der Lack mit einer Förderpumpe aus einem Lacktank in den Gießkopf gepumpt. Der Gießkopf erstreckt sich über die ganze Breite der Anlage und ist an der Unterseite geöffnet (Gießlippen). Aus diesem schmalen Spalt läuft ein geschlossener Lackvorhang auf das Werkstück. Durch Verändern des Gießlippenabstandes oder der Durchlaufgeschwindigkeit des Werkstücks ist die Lackauftragsmenge regulierbar.

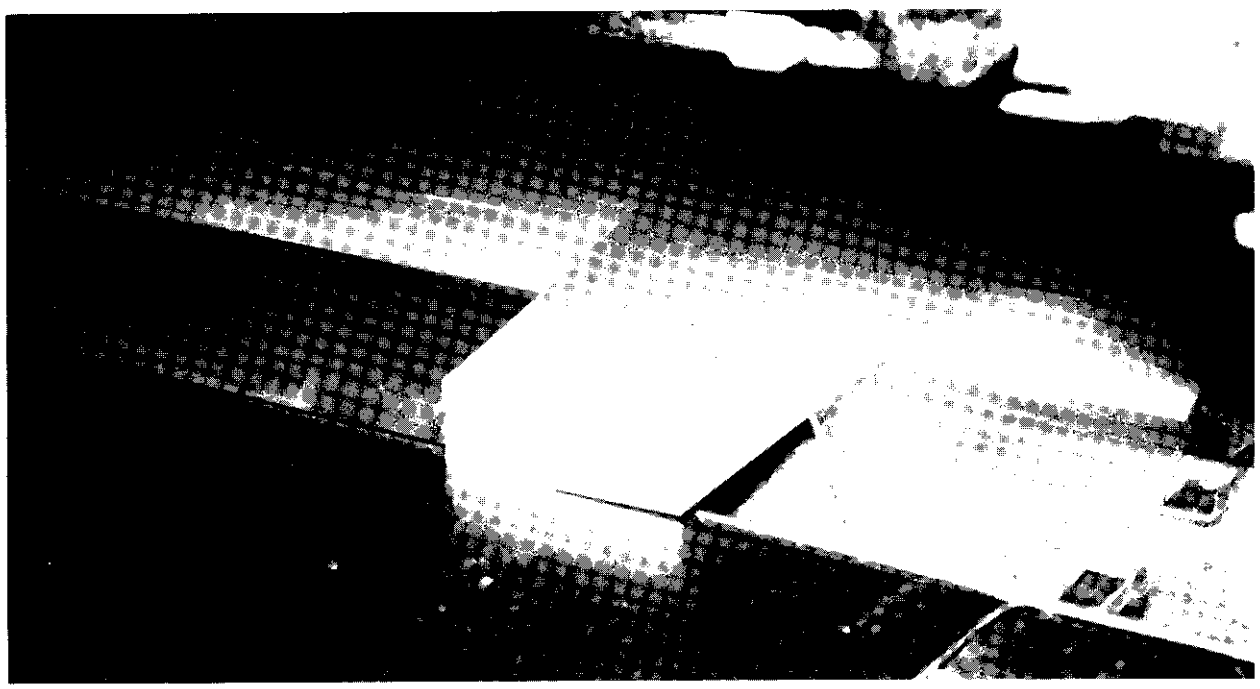


Abb. 2-7: Gießen von Lack

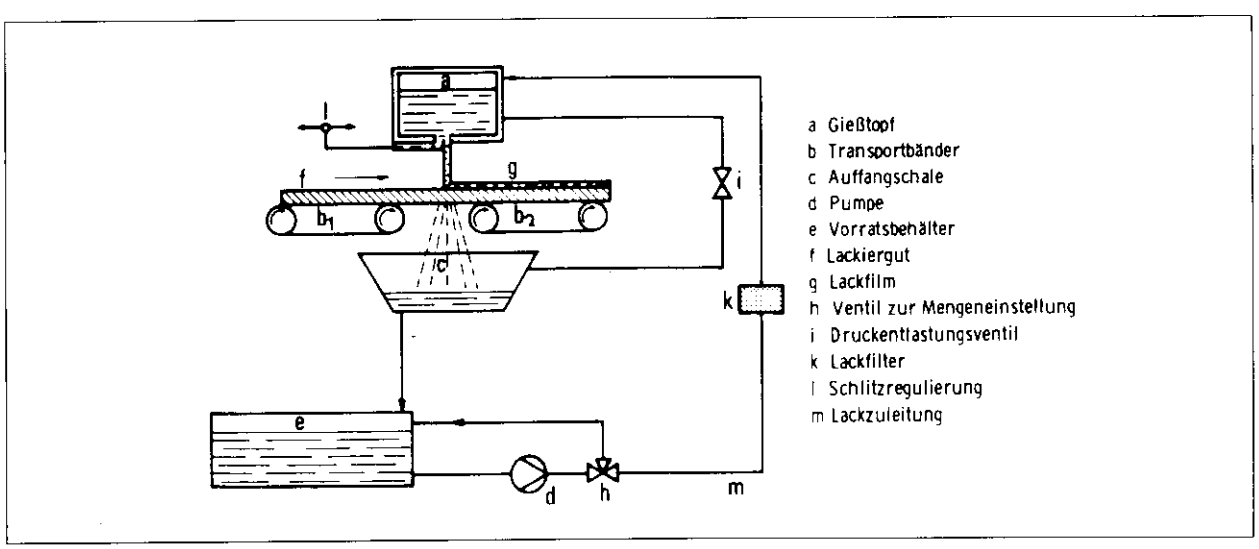


Abb. 2-8: Beispiel einer Lackgießmaschine

Der Lack, welcher nicht auf das Werkstück trifft, läuft über eine Auffangrinne in den Tank zurück, so daß kaum Lackverluste entstehen. Da der Lack ständig im Umlauf ist und sich zusätzlich durch den Umpumpvorgang erwärmt, muß er gekühlt werden und Lösemittel mit höheren Siedepunkten enthalten. Je nach Bauart der Anlagen können Lackmengen von 40 bis zu 500 g/m^2 aufgetragen werden.

Eine höhere Fertigungssicherheit kann man erreichen, wenn im Gießkopf ein Unterdruck erzeugt wird. Die Feineinstellung des Lackdurchlaufes mit dem Gießlippenabstand ist hierbei einfacher: Durch den Unterdruck kann der Gießspalt weiter geöffnet werden und man erhält trotzdem einen streifenfreien, dünnen und gleichmäßigen Lackfilm auf den Werkstücken.

Das Verfahren wird in der Möbelindustrie hauptsächlich zum Verarbeiten von lösemittelfreien Polyesterharzlacken eingesetzt, ist aber für fast alle Lackarten geeignet. Es ist möglich, Härter- und Stammlack mit verschiedenen Gießköpfen aufzutragen, z. B. Härter-Stammlack oder Stammlack-Härter-Stammlack.

2.2.3.4 Trommeln und Zentrifugieren

Zum Lackieren schüttfähiger Kleinteile aus den unterschiedlichsten Werkstoffen eignen sich das Zentrifugier- und das Trommelverfahren. Mit diesen Methoden können somit auch Holzteile wie Griffe und Knöpfe sowie Zubehörteile, z. B. Beschläge, lackiert werden.

Das Lackiergut sollte zwei Forderungen erfüllen:

- Die Teile dürfen nicht vollkommen flach oder derart gestaltet sein, daß sie durch Adhäsion aneinander festkleben und Pakete bilden.

- Die Teile dürfen sich nicht ineinander verhaken und keine unentwirrbaren Knäuel bilden.

Die Verfahren sind besonders wirtschaftlich und verlustarm für das Beschichten von kleinen Massenartikeln. Im allgemeinen ist aber die Qualität der Beschichtung nicht besonders hoch. Beim Lackierprozeß verkleben die Werkstücke teilweise, so daß Markierungen zurückbleiben können. Außerdem besteht die Gefahr, daß die dünnflüssigen Lacke keine ausreichende Schichtbildung erzielen. Weiterhin können Zweikomponentenlacke nicht mit diesem Verfahren verarbeitet werden.

Zentrifugieren

Beim Zentrifugieren werden die Werkstücke, die sich in einem Drahtkorb befinden, in die Lackflüssigkeit voll eingetaucht. Nach dem Austauchen läßt man die Teile abtropfen und schüttet sie dann in eine Zentrifuge, um durch die Fliehkräfte des Zentrifugiervorgangs den überschüssigen Lack zu entfernen. Die Drehzahl der Zentrifuge muß auf die Art der zu lackierenden Teile (Größe, Form) abgestimmt werden. Ein üblicher Wert liegt bei 500 Umdr./min. Die Zeiten für das Abschleudern des Lackmaterials liegen zwischen 1–5 min. Nach dem Trocknen der lackierten Teile kann der oben beschriebene Verfahrensablauf wiederholt werden, z. B. bei Mehrschichtaufbauten für Grundierung und Decklack.

Zum Zentrifugieren werden außer sehr dünnflüssigen Zelluloselacken auch ofentrocknende Lacke eingesetzt. Mit diesen auf das Verfahren abgestimmten Lacksystemen lassen sich bei einem Minimum an Lackverbrauch gleichmäßige und verschleißfeste Beschichtungen erzielen.

Trommeln

Ein weiteres Lackierverfahren für kleine Massenartikel ist das Trommeln. Es ist für das gleiche Teilespektrum wie beim Zentrifugieren einsetzbar.

Zum Lackieren wird eine große Anzahl von Teilen in eine Trommel geschüttet und anschließend der dünnflüssige Speziallack zugegeben. Dann wird die Trommel in Dreh- oder Schüttelbewegungen versetzt. Um den Lackiervorgang zu verkürzen, kann die Trommel beheizt werden, damit die flüchtigen Lösemittelanteile der Lacke schneller verdunsten. Daneben ist es üblich, das Lackmaterial während des Bewegungsvorgangs der Trommel mit Spritzpistolen einzusprühen. Die Trommelbewegungen sind auch beim nachfolgenden Trocknen notwendig.

Beim Trommellackieren sind spezielle Lacke notwendig, wobei für metallische Werkstücke vorwiegend Einbrennlacke verwendet werden.

2.2.3.5 Fluten und Tauchen

Bei der Lackierung z. B. von Vollholzprofilen, Fensterrahmen und -flügeln werden teilweise auch Tauch- oder Flutverfahren angewandt. Während beim Tauchen das Werkstück in den Lack oder die Lasur eingetaucht wird, wird es beim Fluten damit übergossen. In modernen Anlagen werden die Werkstücke in eine geschlossene Kammer geführt und mit Lack überflutet. Der überschüssige Lack tropft ab, wird aufgefangen und mit Hilfe von Pumpen den Flutdüsen erneut zugeführt. Die Lackverluste sind deshalb wie beim Tauchen sehr gering.

Die Viskosität (etwa 50 s Auslaufzeit) und das Fließverhalten des Lacks bestimmen bei den Verfahren die Schichtdicke und den Lackverlauf, das überschüssige Material tropft ab. Für außen verwendete Teile wird der Zusatz von Fungiziden empfohlen. Beschichtungsdicken von 30 bis 120 µm sind erreichbar.

Die Trocknung geschieht in der Regel an Hängeförderern bei Raumtemperatur oder in Tunnelumluftrocknern bei Temperaturen von 40 bis 80 °C. Düsentrockner verkürzen die Trockenzeit erheblich, sind aber für diese Anwendungen selten.

Flutanlagen empfehlen sich wegen der höheren Investitionskosten gegenüber Tauchanlagen dort, wo höhere Stückzahlen durchgesetzt werden sollen, z. B. 1200 Fensterrahmen je Schicht.

Vorteile beim Fluten gegenüber dem Tauchen:

- Die im Umlauf befindliche Materialmenge ist wesentlich geringer als im Tieftauchbecken.

- In der gleichen Flutzone können mehrere Beschichtungsmaterialien verarbeitet werden.

Generell muß sowohl bei Tauch- als auch bei Flutanlagen die Lackviskosität wegen der Lösemittelverdunstung immer wieder überprüft und nachgestellt werden.

Immer häufiger kommen dabei wasserlösliche Lacke zum Einsatz. Dem Vorteil geringer Materialverluste steht jedoch eine nicht allen Ansprüchen genügende Beschichtungsqualität gegenüber.

Kritisch sind z. B. Werkstückkanten, die zur Vermeidung von Tropfenbildungen abgerundet sein sollten, sowie die Gefahr sichtbarer Markierungen des am Werkstück ablaufenden Lackmaterials („Läufer").

2.2.3.6 Vakuumauftragstechnik

Dieses Lackierverfahren ist für lange, profilierte Teile (z. B. Holzleisten) ausgelegt. Der flüssige Lack wird in die Beschichtungsanlage gefüllt. Durch einen starken Luftsog wird der Lack aus untenliegendem Vorratsbehälter gesaugt, aufgewirbelt und nach oben in die Beschichtungskammer geführt. Der dadurch im Inneren der Kammer entstehende Farbnebel beschichtet die durchlaufenden Werkstücke (Abb. 2-9).

Wichtig ist, daß die Ein- und Auslaßöffnung für die Werkstücke in der Beschichtungsanlage genau dem Werkstückquerschnitt angepaßt sind. Zwischen dem Werkstückquerschnitt und den Ein- und Auslässen darf ringsum lediglich ein wenige Millimeter breiter Luftspalt bestehen. Somit wird beim Austritt der Werkstücke aus der Anlage der überschüssige Lack durch die vom Unterdruck in der Kammer angesaugte Luft abgerissen und die Lackschicht geglättet. Da durch dieses Verfahren die Lacknebel innerhalb der Beschichtungskammer verbleiben, ist von einem hohen Lacknutzungsgrad auszugehen.

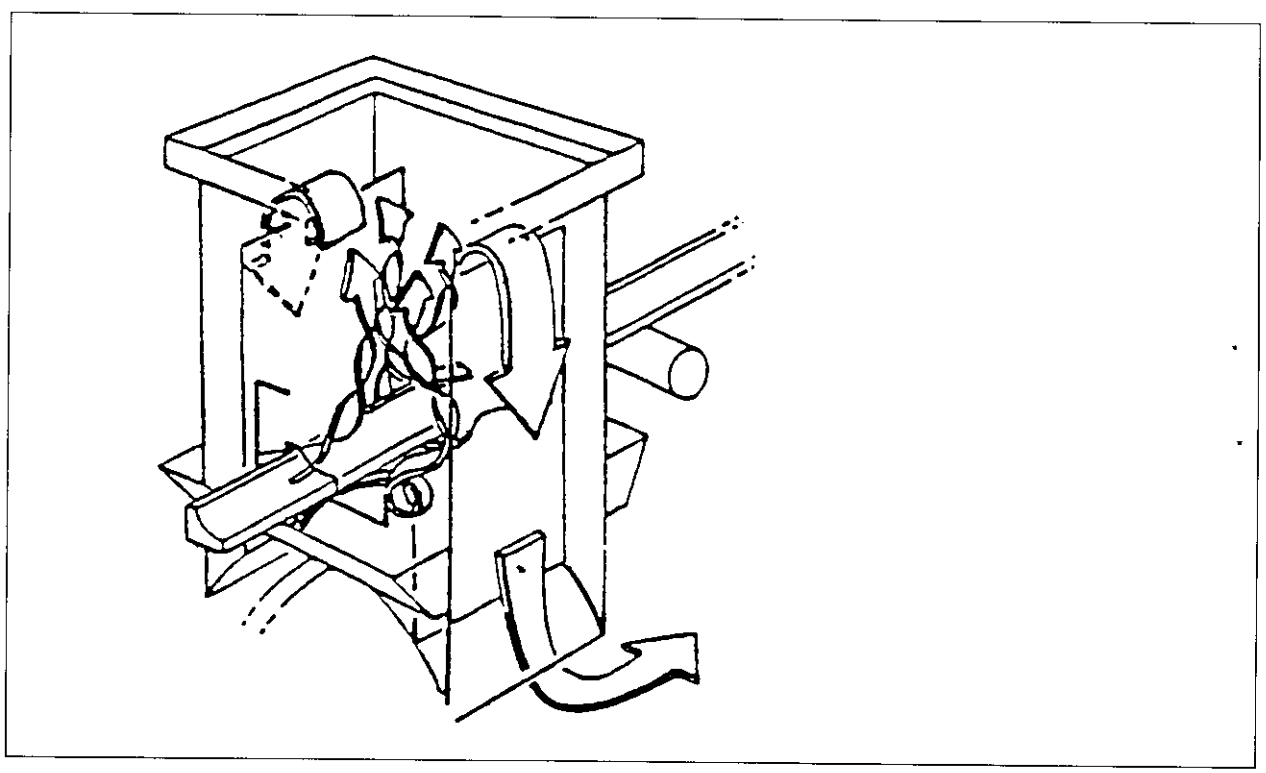


Abb. 2-9: Schemadarstellung der Vakuumapplikation

2.2.4 Aussagekraft des Festkörpernutzungsgrades

Beim Spritzlackieren entstehen Materialverluste durch nicht auf dem Werkstück abgeschiedene Lacktröpfchen (Overspray) und durch verdunstende Lösemittel aus dem Spritzstrahl[16]. Der Overspray wird durch Vorbeispritzen am Werkstück sowie bei durchbrochenen, z. B. gitterartigen Werkstücken verursacht.

Darüber hinaus treten verfahrensbedingte Verluste durch seitlich abströmende Lacktröpfchen vor der Werkstückoberfläche auf, die durch folgende Spritzstrahleigenschaften gefördert werden:

[16] Dipl.-Ing. U. Strohbeck: Taschenbuch für Lackierbetriebe 1991. Vincentz Verlag, Hannover

- Großer Feinanteil des Lacktröpfchenspektrums,
- ungünstige Verteilung des Lacktröpfchenspektrums in der Spritzstrahlluftströmung,
- großer Strahlumfang.

Das Verhältnis von tatsächlich auf den Werkstückoberflächen aufgetragenem zu verspritztem Lackmaterial wird als Lackmaterialnutzungsgrad oder Lackauftragwirkungsgrad bezeichnet. Beim Lackmaterialnutzungsgrad ist zu unterscheiden zwischen:

- dem Beschichtungswirkungsgrad,
- dem Lacknutzungsgrad und
- dem Festkörpernutzungsgrad → vgl. Abb. 2-10 und Abb. 2-11

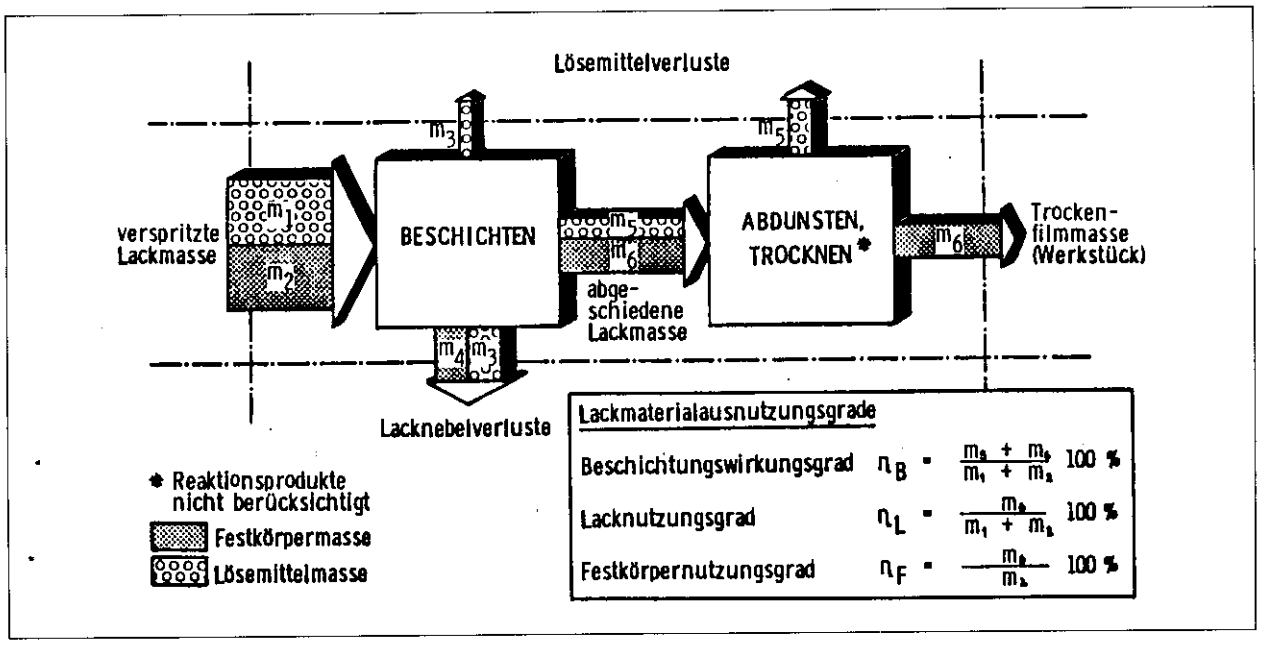
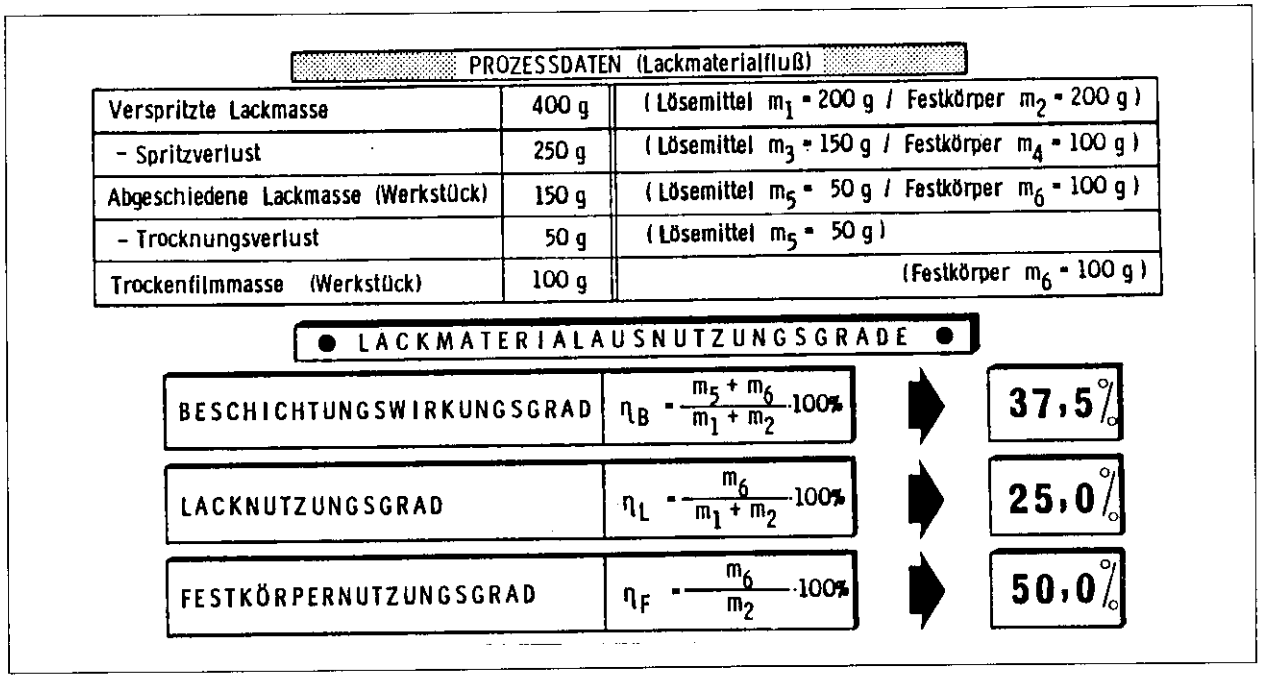


Abb. 2-10: Lackmaterialausnutzung und -verluste beim Spritzlackieren



PROZESSDATEN (Lackmaterialfluß)

Verspritzte Lackmasse	400 g	(Lösemittel m_1 = 200 g / Festkörper m_2 = 200 g)
- Spritzverlust	250 g	(Lösemittel m_3 = 150 g / Festkörper m_4 = 100 g)
Abgeschiedene Lackmasse (Werkstück)	150 g	(Lösemittel m_5 = 50 g / Festkörper m_6 = 100 g)
- Trocknungsverlust	50 g	(Lösemittel m_5 = 50 g)
Trockenfilmmasse (Werkstück)	100 g	(Festkörper m_6 = 100 g)

● LACKMATERIALAUSNUTZUNGSGRADE ●

BESCHICHTUNGSWIRKUNGSGRAD	$\eta_B = \frac{m_5 + m_6}{m_1 + m_2} \cdot 100\%$	37,5 %
LACKNUTZUNGSGRAD	$\eta_L = \frac{m_6}{m_1 + m_2} \cdot 100\%$	25,0 %
FESTKÖRPERNUTZUNGSGRAD	$\eta_F = \frac{m_6}{m_2} \cdot 100\%$	50,0 %

Abb. 2-11: Berechnungsbeispiel der Lackmaterialausnutzungsgrade beim Spritzlackieren

Bei der Auswahl von Spritzlackierverfahren hat der Festkörpernutzungsgrad in Gewichtsprozenten als Vergleichsmaßstab die größte Aussagekraft. Diese beruht auf der Möglichkeit des quantitativen und qualitativen Vergleiches sowie der Eignung des Festkörpernutzungsgrades als Maß bei der Übertragung von Maßnahmen zur Oversprayreduzierung in andere Betriebe innerhalb der Holzbranche. Der Festkörpernutzungsgrad gibt an, welcher Gewichtsanteil des verspritzten Festkörpers als getrockneter Lackfilm auf dem Werkstück verblieben ist und ist abhängig von verschiedenen Einflußgrößen (siehe Abb. 2-12).

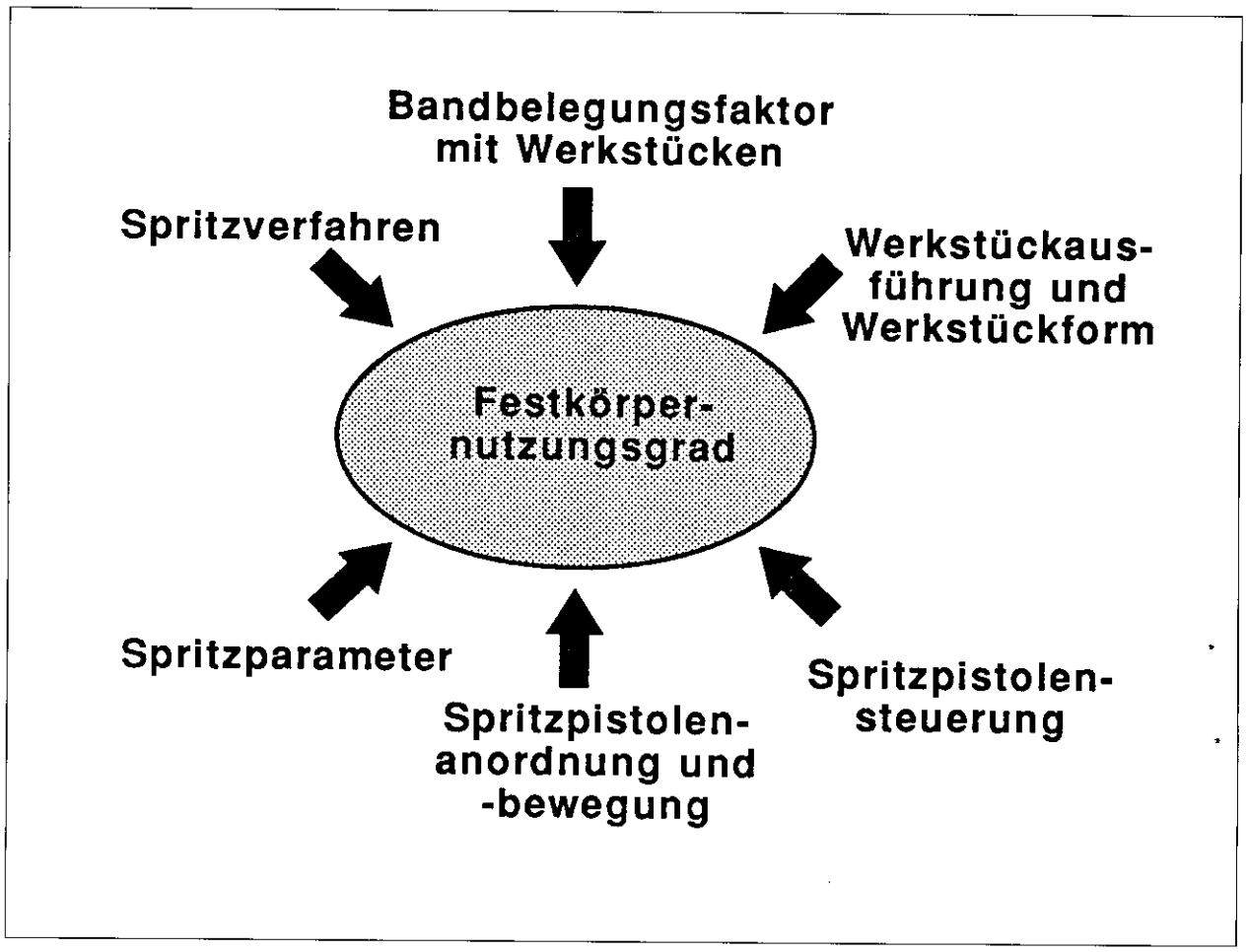


Abb. 2-12: Einflußgrößen auf den Festkörpernutzungsgrad beim automatischen Lackauftrag in Flachteillinien

Zur Ermittlung des Festkörpernutzungsgrades ist eine Differenzwägung zwischen dem unlakkierten und dem beschichteten und getrockneten Werkstück notwendig. Weiterhin ist das Gewicht der verspritzten Festkörpermasse zu ermitteln. Bei schweren Werkstücken, bei denen die Differenzwägung nicht mehr mit ausreichender Genauigkeit möglich ist, können die zu beschichtenden Oberflächen der Werkstücke mit Aluminiumfolie überzogen werden. Bei der relativ leichten Aluminiumfolie kann die Differenzwägung zwischen der unbeschichteten und der beschichteten und eingebrannten Folie mit üblichen Laborwaagen erfolgen.

Zur Ermittlung der Festkörpermasse des verspritzten Lackmaterials muß der Festkörpergehalt des spritzfertigen Lackmaterials bekannt sein. Die Ermittlung des Festkörpergehaltes erfolgt in Anlehnung an DIN 53216.

2.2.5 Spritzkabinen und Overspray-Abscheidung[17]

Die Spritzkabine ist ein geschlossener Raum, der von gereinigter, temperierter Luft (20 bis 25 °C) langsam von oben nach unten durchströmt wird. Die Frischluft wird mit einem Grobfilter vorgereinigt, in einem Heizregister erwärmt und in einem an der Decke der Kabine angebrachten Flächenfilter von feinen Staubpartikeln befreit. Die aufbereitete Luft umströmt das zu lakkierende Werkstück und führt dabei den Overspray nach unten in die Abscheide-Einrichtung ab, in der die Lackpartikel aus der Abluft entfernt werden.

Zur Overspray-Abscheidung werden bei der Holzlackierung sowohl Trocken- als auch Naßabscheider eingesetzt.

Bei der Trockenabscheidung wird die Spritzkabinenluft durch Glasfaserfiltermatten geführt, die einen Großteil der klebrigen Lackpartikel zurückhalten. Die abgeschiedenen Lackpartikel härten in der Filtermatte aus. Der Abscheidegrad der Trockenabscheider, der zwischen 85 und 95 % liegt, reicht meistens aus, um den TA-Luft-Wert für Partikelemissionen von 3 mg/m Abluft einzuhalten. Mit zunehmender Beladung der Filtermatten durch die abgeschiedenen Lackpartikel nimmt ihre Abscheidewirkung jedoch ab. Erreicht die Beladung einen kritischen Wert von 3 bis 4 kg/m^2 Filterfläche, werden die Filtermatten mit den angetrockneten Lackpartikeln entfernt und durch frische Matten ersetzt.

Bei der Naßauswaschung (Abb. 2-13) wird die mit Overspray beladene Kabinenluft in einem Naßwäscher von den Lackpartikeln befreit. Der Abscheidegrad von Naßabscheidern liegt zwi-

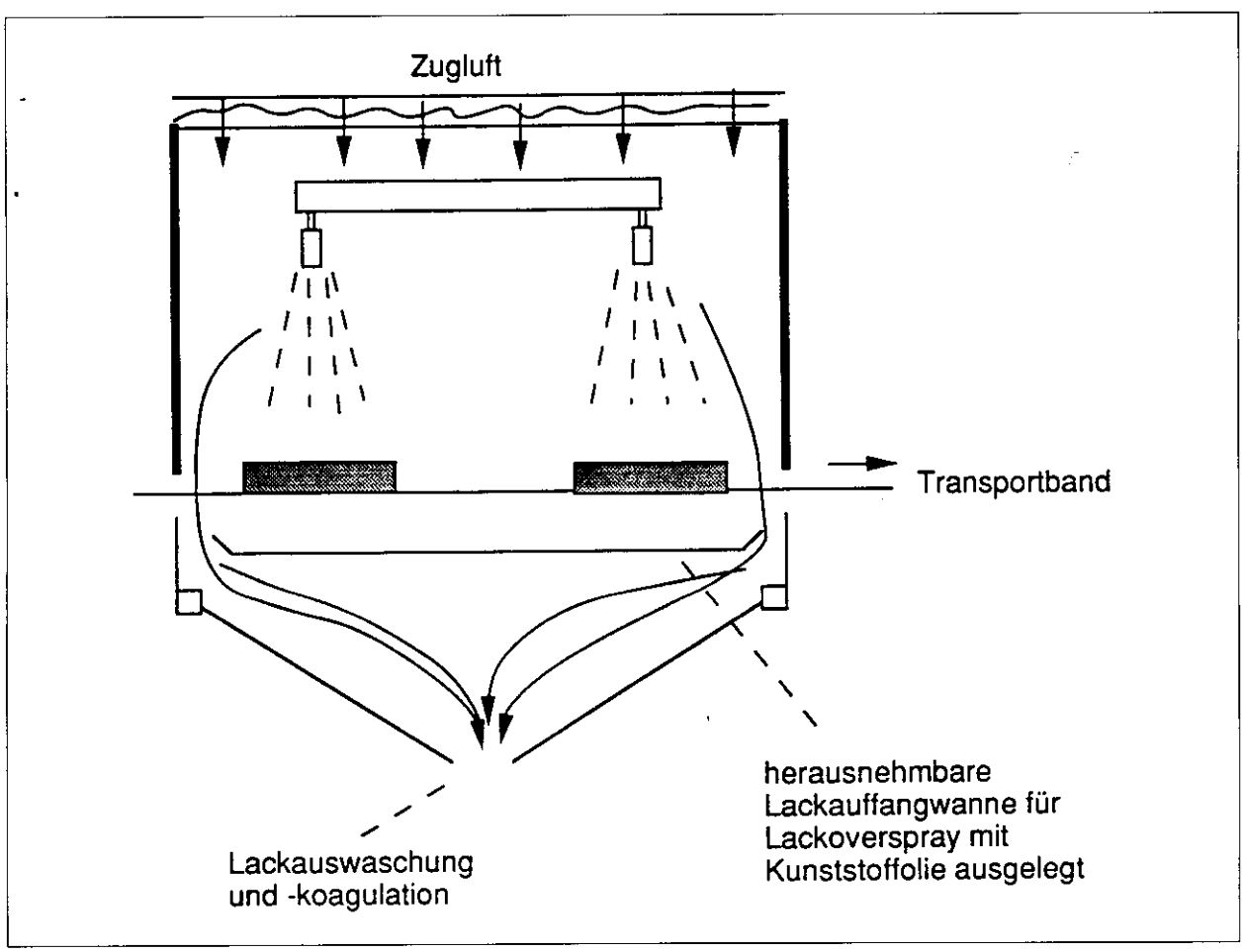


Abb. 2-13: Darstellung einer Spritzlackierkabine mit Naßauswaschung

[17] ... in Anlehnung an: Corley, M.; Toussaint, D.: „Vermeidung von Abfällen durch abfallarme Produktionsverfahren in der Autoreperaturlackierung", Abschlußbericht, FhG-Institut ISI, 7/1991

schen 95 bis 98 %. Der TA-Luft-Wert für Partikelemissionen läßt sich sicher unterschreiten. Das Waschwasser wird einem Klärbecken zugeleitet, in dem Lackpartikel und Wasser durch Zugabe von Koaguliermittel entklebt werden (z. B. Bentonit, Kalk, Säuren, Laugen, Metallsalze, Polyelektrolyte, organische Polymere). Bei der Wahl des Koaguliermittels ist auf die Verträglichkeit mit Verfahren zur stofflichen Verwertung der Lackschlämme zu achten. Koaguliermittel verbessern auch die Handhabbarkeit der entstehenden Lackschlämme.

Das entstehende Lackkoagulat kann je nach Koaguliermittel und Waschsystem absinken oder durch Lufteinschlüsse aufschwimmen und wird durch Räumvorrichtungen (Kratzer, Schieber) aus dem Klärbecken entfernt. Das behandelte Waschwasser wird dem Wäscher im Kreislauf wieder zugeführt. Zu behandelnde Abwässer (vor allem durch Filtration und Neutralisation) entstehen bei der nachträglichen Entwässerung des ausgetragenen Lackkoagulats über Filterpressen.

Die durch Wasserlackoverspray teilweise entstehenden stabilen Suspensionen im Waschwasser müssen mit speziellen Koaguliermitteln „aufgebrochen" werden. Die sich bildenden Flokken können mit den üblichen Räumgeräten häufig nicht ausgetragen werden und erfordern daher besondere Separierverfahren, z. B. Bandfilter, Filterpressen oder Zentrifugen.

Unter dem Aspekt der Vermeidung und Verwertung von Lackierabfällen erhebt sich die Frage, welchem der beiden Verfahren zur Overspray-Abscheidung der Vorzug zu geben ist. Hierzu sind in Abb. 2-14 die Vorzüge und Nachteile beider Verfahren einander gegenübergestellt.

Demnach ist beim Durchsatz geringer Lackmengen im allgemeinen die Trockenabscheidung zu bevorzugen. Zum Verarbeiten größerer Lackmengen (Serienlackierung) hat sich dagegen die Naßauswaschung durch ihren hohen Partikelabscheidegrad, den längeren Reinigungsintervallen und der größeren Reinheit im Spritzbereich bewährt.

Unter abfallwirtschaftlichen Gesichtspunkten bietet die Naßabscheidung darüber hinaus den Vorteil, daß für die entstehenden Lackschlämme stoffliche Verwertungsmöglichkeiten bestehen (1K-Lackschlämme) oder sich in Entwicklung befinden (1K/2K-Mischschlämme).

	Trockenabscheidung	Naßauswaschung
Partikelabscheidegrad	ca. 85 bis 95 %; TA-Luft-Wert 3 mg/m^3 wird in der Regel eingehalten	ca. 95 bis 98 %; TA-Luft-Wert 3 mg/m^3 wird sicher eingehalten
Abfallart	Glasfasergewebe mit ca. 90 Gew.-% ausgehärteten Lackpartikeln	Lackkoagulat/Wassergemisch
Abfallmenge	bei gleichem Anfall an Lackfestkörper größerer Abfallanfall der Naßauswaschung (Faktor 2) als bei Trockenabscheidung (wegen Koaguliermittel, Wassergehalt)	
Stoffliche Verwertbarkeit der Abfälle	derzeit nicht bekannt	Verwertung reiner 1 K-Lackkoagulate möglich; derzeit noch keine gesicherten Kenntnisse zur Verwertbarkeit bei Vorliegen von Lackgemischen
Entsorgung	je nach Gebietskörperschaft als Haus- oder Sonderabfall entsorgbar	bes. überwach. Abfall (AbfBestV; vgl. Abschnitt 3.1); Entsorgung nach TA-Abfall: Sonderabfallverbrennung
Abwasser	kein Abwasseranfall	Abwasser bei Reinigung des Klärbeckens und der Lackschlammentwässerung
Anschaffungskosten	Naßauswaschung ca. um Faktor 1,8 teurer	
Arbeitsaufwand bei Filterwechsel bzw. Klärbeckenreinigung	Austausch der Filtermatten je nach Belastung nach ca. 20 bis 80 Betriebsstunden	Reinigungsintervalle je nach Auswaschsystem ca. 2 bis 6 Monate

Abb. 2-14: Gegenüberstellung von Naßauswaschung und Trockenabscheidung

2.2.6 Trocknung und Lösemittel-Abscheidung

Derzeit werden folgende Trocknungs- und Härtungsverfahren in der holzverarbeitenden Industrie eingesetzt:

- Umluft- bzw. Umluft-Düsentrocknung mit erhöhter Luftgeschwindigkeit (> 20 m/s)

- Strahlungs-Härtung, z. B.:
  Infrarot (IR), Ultraviolett (UV), Impuls-Strahlungs-Trocknung (IST), Elektronenstrahl (ESH)

Die Umlufttrocknung im allgemeinen, sowie die IR-Härtung bei einfacheren Werkstückformen, wie z. B. Flachteilen, können für die meisten Lacksysteme eingesetzt werden.

Die ehemals nur für spezielle Klarlacke (Zusatz von Photoinitiatoren) geeigneten UV-Härtungsverfahren sind heute teilweise auch mit pigmentierten Lacken (Acrylate und ungesättigte Polyester) abgestimmt.

Die ESH-Härtung ist bei der Folien- und Türenlackierung eingeführt. Dieses Verfahren erlaubt nur geringe Dickendifferenzen des Werkstücks und wird mit hohen Arbeitsgeschwindigkeiten betrieben (> 100 m/min).

Die Abluft aus den Trocknungszonen und die von Lackpartikeln gereinigte Abluft der Spritzkabine enthält Lösemittel. Zur Lösemittel-Abscheidung aus diesen Abluftströmen bieten sich für die Holzlackierung vor allem folgende praxiserprobte und wirtschaftlich tragbare Lösungen an:[18]

- Aufkonzentrierung der Lösemittel im Umluftstrom auf die zulässigen Höchstwerte bei Kabinen mit automatischem Spritzauftrag. Der Abluftstrom wird direkt der thermischen Nachverbrennung (TNV) zugeführt.

- Wenn eine Aufkonzentrierung der Lösemittel in der Spritzkabine nicht möglich ist, bietet sich speziell für große, schwach beladene Abluftströme (bis ca. 1 g/m^3) die Aufkonzentrierung und dadurch Minimierung großer Abluftströme in einem Adsorptionsrad (Aktivkohlefaser-Rotor) an. Dabei werden die Lösemittel adsorptiv gebunden und in einem kleinen Desorptionsluftstrom aufkonzentriert, der anschließend entsorgt werden muß. Die Entsorgung des aufkonzentrierten, reduzierten Abluftstroms kann über eine thermische Nachverbrennung (TNV) erfolgen. Eine Lösemittelrückgewinnung kommt im Lackierbereich (wegen hoher Investitionskosten, großer Störanfälligkeit und der meist ungelösten Wiederverwendung zurückgewonnener Lösemittel) in der Regel nur dann in Betracht, wenn absolut keine geeigneten Wärmeabnehmer vorhanden sind.

Nachfolgend wird die UV-Strahlungshärtung näher erläutert:

2.2.6.1 Aushärtevorgänge bei UV-härtenden Lacksystemen

UV-Strahlen sind elektromagnetische Wellen mit Wellenlängen von ca. 100 nm bis über 400 nm (Abb. 2-15). Für die Lackhärtung nützt man je nach Anwendungsfall und Lacksystem unterschiedliche Bereiche des UV-Spektrums, in der Praxis häufig zwischen 280 nm und 420 nm.

Die UV-Strahlen treten mit den Valenzelektronen der Lackmoleküle in Wechselwirkung und lösen photochemische Reaktionen aus. Im Lack zerfällt dabei der zugesetzte Photoinitiator (Sensibilisator) in hochaktive freie Radikale, die die Kettenpolymerisation des Bindemittels einleiten.

[18] Schmid, S.: Möbellackierstraßen aus der Sicht des Anlagenbauers; I-Lack 9/89, S. 311–316

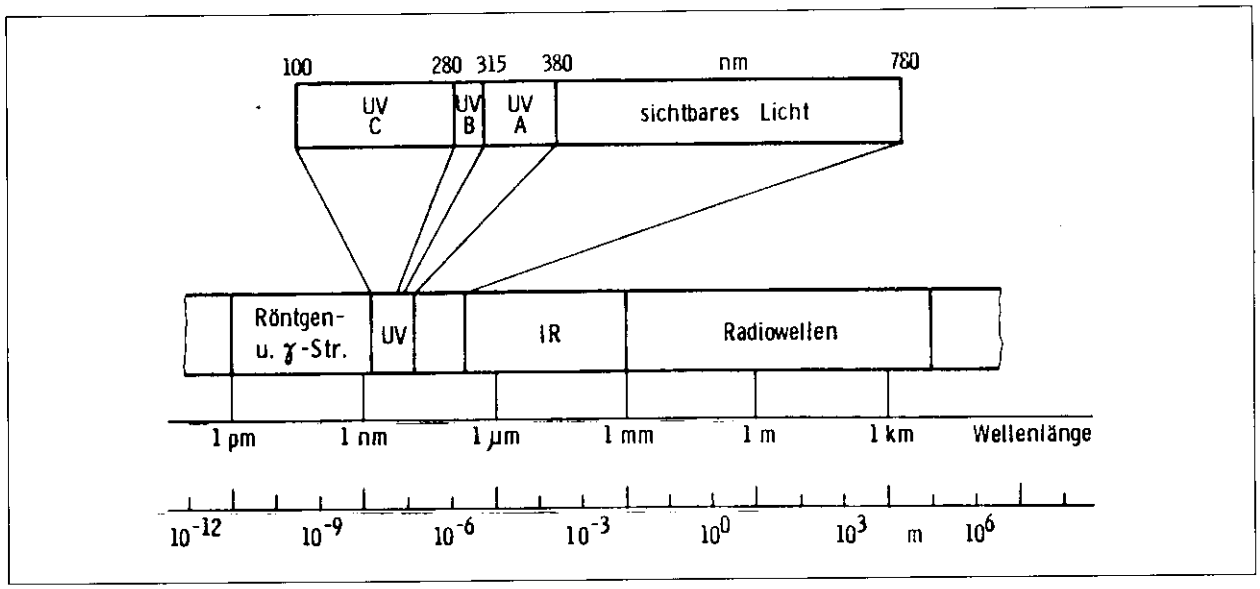


Abb. 2-15: UV-Anteil des elektromagnetischen Strahlenspektrums

Als UV-Quellen kommen zur Anwendung:

- Hg-Hochdruckstrahler (Wellenlänge 366 nm, Bestrahlungsintensität 3 W/cm^2),
- Hg-Niederdruckstrahler (kurzwellige Strahlung von 256 nm wird mit aufgebrachten Leuchtstoffen ins langwellige UV-Licht transformiert von 360 nm; Bestrahlungsintensität 0,2 W/cm^2).

Die Weiterentwicklung der UV-Härtungsverfahren auch für pigmentierte Lacke (Acrylate und ungesättigte Polyester) durch den Einsatz hochreaktiver Bindemittel, spezieller Pigmente sowie von im längerwelligen UV-Licht absorbierenden Photoinitiatoren ermöglicht heute farbige Hochglanz- und Mattlackierungen (Mono-Cure-Verfahren[19]).

Bevor die Teile mit UV-Licht bestrahlt werden, müssen die Lösemittel verdunstet sein. In der Reihenfolge werden zunächst UV-Strahler im langwelligen Bereich (z. B. handelsübliche Leuchtstoffröhren im Wellenbereich 300 bis 450 nm) eingesetzt, anschließend Hochdruckstrahler im kurzwelligen Bereich von 240 bis 260 nm zur Durchhärtung.

Die Aushärtezeiten liegen im Bereich weniger Sekunden. Durch Schutzgas-Inertisierung des Strahlenganges kann die Aushärtungszeit noch beschleunigt werden, da die UV-Strahlen von Sauerstoff absorbiert werden.

2.2.6.2 Verfahren mit Impuls-Strahlungs-Trockner (IST)

Die übliche UV-Trocknung nutzt Wellenlängen von rund 360 nm. Für manche Bindemittel ist aber ein Spektrum von 180 bis 240 nm (UV-C) für die Polymerisation wirkungsvoller.

Beim IST-Verfahren werden exotherm reagierende Lacke und Druckfarben durch UV-Impulse im Wellenlängenbereich von 197,4 nm ausgehärtet (Abb. 2-16). Wirkt ein Impuls dieser Wellenlänge auf den flüssigen Lack, so werden die Kohlenstoffdoppelbindungen aufgebrochen, da der Bereich des kurzwelligen UV-Lichtes der Resonanzfrequenz der C = C-Bindungen entspricht. In der ganzen Lackschicht beginnt eine Kettenreaktion, die in Bruchteilen von Sekunden zu ihrer Aushärtung führt.

[19] S. Brenni, Salchi, I-Burago Molgora (I-Lack 9/89)

Ein verfahrenstechnischer Vorteil des Verfahrens besteht darin, daß kein genauer Abstand des Strahlers zum Objekt vorgeschrieben ist. Es sind damit Objektabstände bis 1000 mm möglich, so daß auch Lacke auf stark profilierten Teilen gehärtet werden können.

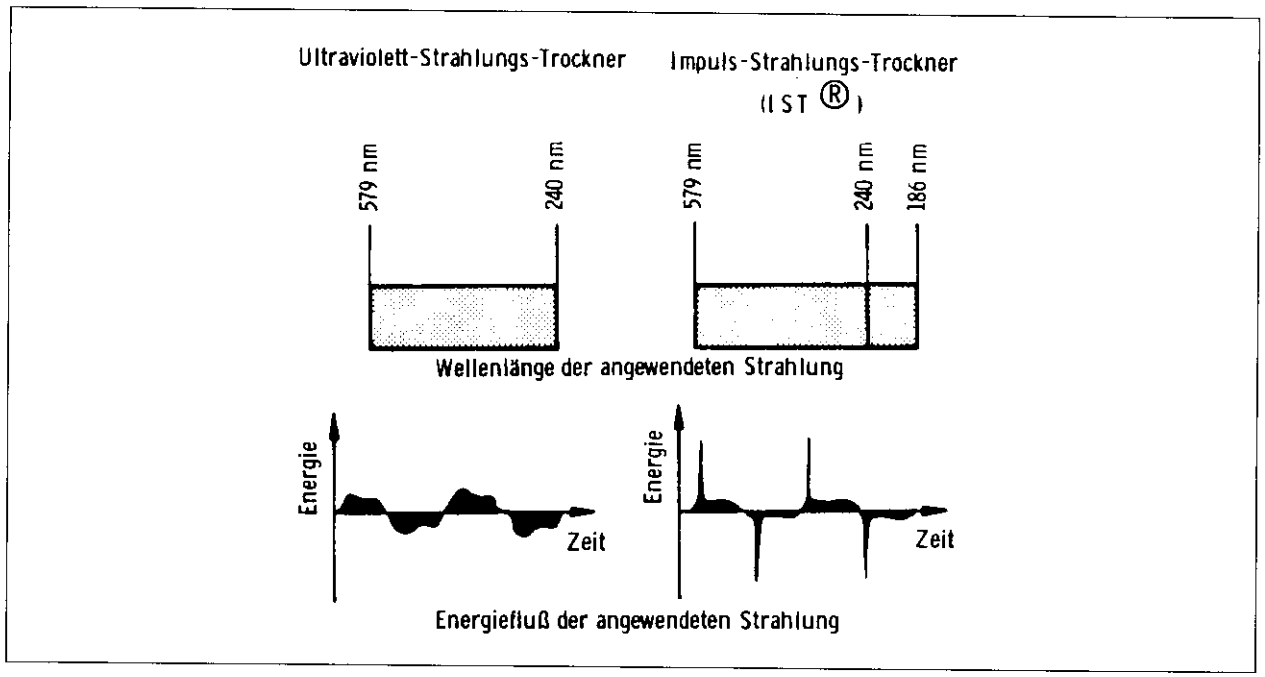


Abb. 2-16: Vergleich UV-Strahlungstrockner mit Impuls-Strahlungs-Trockner

3 Abfallarten-Entstehung, Aufkommen, Entsorgungsweg

In den folgenden Abschnitten werden die wichtigsten Abfallarten, die in den Lackierereien der holzverarbeitenden Industrie anfallen, nach Entstehung, Inhaltsstoffen und vorgeschriebenem Entsorgungsweg charakterisiert. Es handelt sich im wesentlichen um folgende Reststoffe und Abfallarten:

- Lackschlämme bzw. -koagulate,
- Lackreste,
- verunreinigte Lösemittel,
- Destillationsrückstände,
- Schleifstäube,
- Lackgebinde.

3.1 Abfälle durch Overspray-Abscheidung

Insbesondere bei der Lackierung von profilierten Holzteilen werden Grundierung und Decklack im Spritzverfahren aufgetragen. Dabei entstehen Overspray-Verluste in den Spritzkabinen.

Unter Overspray versteht man die verspritzte Lackmenge, die nicht auf der Werkstückoberfläche auftrifft und dort haftet, sondern am Werkstück vorbeigespritzt und mit der Spritzstrahlluft vor der Werkstückoberfläche abgelenkt wird.

Je nach Abscheideverfahren fällt der Overspray in unterschiedlicher Form als Abfall an:

Bei der Trockenabscheidung besteht der Abfall aus beladenen Glasfaserfiltermatten, wobei die Lackpartikel in der Regel sowohl ausgehärtet als auch lösemittelfrei sind. Ein Austausch der Filtermatten erfolgt, sobald der Abscheidewirkungsgrad sinkt bzw. der Druckverlust merklich ansteigt (Beladung 3 bis 4 kg Lack/m^2 Filtermatte). Der Lackanteil beladener Filtermatten liegt bei rund 90 Gew.-%. Vollständig ausgehärtete Filtermatten (Abfallschlüssel 55 511 nach LAGA-Katalog) sind nach der Abfallbestimmungs-Verordnung (AbfBestV) nicht als besonders überwachungsbedürftig eingestuft und können deshalb prinzipiell auf Hausmülldeponien bzw. in Hausmüllverbrennungsanlagen entsorgt werden, sofern die anlagenspezifischen Anforderungen erfüllt werden. Enthalten die Filtermatten nicht ausgehärtete Lackpartikel (Abfallschlüssel 55 510 nach LAGA-Katalog) oder sind sie – wie in einigen Gebietskörperschaften üblich – von der Hausmüllentsorgung ausgeschlossen, müssen sie in Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt werden.

Bei der Naßabscheidung fällt der Overspray als Lackschlamm an (Abfallschlüssel 55 503 nach LAGA-Katalog). Lackschlamm setzt sich aus Lackpartikeln, geringen Lösemittelmengen, Koaguliermitteln sowie Wasser zusammen. Nach der AbfBestV gelten Lackschlämme im Regelfall als besonders überwachungsbedürftige Abfälle und müssen nach den Vorgaben der TA Abfall in Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt werden.

Eine Hochrechnung aufgrund von Befragungen der DFO für den Zeitraum 1989/90 sagt aus, daß in der Holzindustrie der Bundesrepublik Deutschland (alte Bundesländer) ca. 70.000 t/a

Lacke verarbeitet werden und davon 29.492 t Lackkoagulate mit 50 % Wasseranteil anfallen. Das Gesamtaufkommen an Lackkoagulaten betrug lt. dieser Studie ca. 200.000 t/a mit 50 % Wasseranteil bei allen erfaßten Branchen. Somit liegt der Anteil der Holzindustrie am Gesamtaufkommen der Lackkoagulate bei ca. 15 %.

Nach dem Statistischen Bericht des Landes Baden-Württemberg sind in der Holzindustrie im Jahr 1987 1.788 t Lack- und Farbschlämme (Abfallschlüssel 55 503) von 118 Betrieben in Baden-Württemberg zur Entsorgung angefallen.

Der Wasseranteil in den Lack- und Farbschlämmen schwankt in den verschiedenen Unternehmen sehr stark. Häufig läßt man die Lack- und Farbschlämme in Lochblechkörben abtropfen und an der Luft trocknen. Dabei wird ein Wassergehalt von ca. 50 % erreicht, wobei dieser Wert ohne Trocknung bei ca. 70 % liegen kann, was als repräsentativ für die Holzmöbellackierung anzusehen ist. Eine weitere Alternative bietet die thermische Trocknung der Lack- und Farbschlämme, bei der Wasseranteile von 2 bis 4 % erreichbar sind.

3.2 Organische Reinigungslösemittelabfälle

Die Reinigung der Applikationsgeräte, Lackleitungen und -behälter, leerer Gebinde usw. erfolgt mit Lösemitteln, die als verunreinigte Lösemittel (Abfallschlüssel 55 220 (halogenhaltig) bzw. 55 370 (halogenfrei) nach LAGA-Katalog bzw. Rest BestV) anfallen. In den Lackierereien der holzverarbeitenden Industrie werden eine Vielzahl von Reinigungslösemitteln eingesetzt, die auf die jeweils verarbeiteten Lacke abgestimmt sein müssen. Diese Lösemittel werden nach dem Kenntnisstand in der holzverarbeitenden Industrie grundsätzlich durch Destillation zu wiederverwendbaren Reinigungslösemitteln aufbereitet.

Grundsätzlich handelt es sich bei verunreinigten Lösemitteln, die nicht verwertet werden können um besonders überwachungsbedürftige Abfälle (AbfBestV), die nach der TA Abfall in Sonderabfallverbrennungsanlagen zu entsorgen sind. Handelt es sich bei den Reinigungslösemitteln um Zubereitungen, die mehr als 5% Halogenkohlenwasserstoffe (Siedepunkt zwischen 20 und 150 °C) enthalten, sind die Lieferanten oder deren Beauftragte zur Rücknahme der gebrauchten Lösemittel nach der Maßgabe der Verordnung über die Entsorgung gebrauchter halogenierter Lösemittel (HKWAbfV) verpflichtet.

3.3 Destillationsrückstände

Bei der Destillation der überwiegend mit Lackrückständen verunreinigten Reinigungslösemittel fallen Destillationsrückstände an. Diese Abfallstoffe enthalten in erster Linie Lackfestkörper, die in fester, flüssiger oder pastöser Form vorliegen können und nach LAGA-Katalog bzw. RestBestV unter die Abfallschlüssel 59 702 (halogenhaltig) bzw. 59 703 (halogenfrei) fallen. Destillationsrückstände sind als besonders überwachungsbedürftig eingestuft (AbfBestV) und nach der TA Abfall in Sonderabfallverbrennungsanlagen zu entsorgen, sofern sie nicht stofflich verwertbar sind.

3.4 Lackreste und mit Lack verschmutzte Behälter

In den holzverarbeitenden Betrieben entstehen Lackreste hauptsächlich dadurch, daß bereits mit Härtern angemischte Zweikomponenten-Lacksysteme ihre Topfzeit überschritten haben und für die Verarbeitung unbrauchbar werden. Weitere Lackabfälle können z. B. in den Lackgebinden beim Überschreiten der vorgegebenen Lagerzeit des Lackmaterials anfallen.

Lackreste sind durch abgestimmte Lackansatzmengen und -dispositionen reduzierbar.

Nach dem Statistischen Bericht des Landes Baden-Württemberg fielen in der Holzindustrie im Jahr 1987 631 t Lackierereiabfälle, Altlacke sowie Altfarben (Abfallschlüssel 55 510 nach LAGA-Katalog) von 118 Betrieben zur Entsorgung an.

Zu stark geschädigte Lackreste (z. B. durch Aushärtung, Alterung und Schmutz) können nicht mehr zu reaktionsfähigen Lacken aufbereitet werden. Da ihre stofflichen Verwertungsmöglichkeiten zu anderen Zwecken, z. B. als Zuschlagsstoffe, derzeit erst in verschiedenen Forschungsvorhaben untersucht werden, müssen diese Abfälle in Sonderabfallverbrennungsanlagen entsorgt werden. Unvollständig ausgehärtete und lösemittelhaltige Lackreste sind nach der AbfBestV als besonders überwachungsbedürftiger Abfall einzustufen.

Überlagerte, nicht ausgehärtete Lacke (Abfallschlüssel 55 512 nach LAGA-Katalog) und Lackbehältnisse, die nicht ausgehärtete Lacke enthalten (Abfallschlüssel 35 106, 35 327 nach LAGA-Katalog) sind somit als besonders überwachungsbedürftiger Abfall eingestuft und müssen in Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt werden. Vollständig ausgehärtete Lacke (Abfallschlüssel 55 513 nach LAGA-Katalog), die keine Lösemittel mehr enthalten, sind nicht besonders überwachungsbedürftig und können mit dem Hausmüll entsorgt werden, sofern die spezifischen Anforderungen der Entsorgungsanlagen erfüllt werden.

Die entleerten Lackgebinde können als Schrott stofflich wiederverwertet werden. Um den Anforderungen der Recyclingfirmen zu entsprechen, sollten die Lackreste mit Reinigungslösemitteln ausgespült werden. Die verschmutzten Reinigungslösemittel sind über Destillation wieder aufzubereiten (vgl. Kap. 3.2 und 3.3).

3.5 Schleifstäube und Schleifmittel

Holzoberflächen mit hohen dekorativen Anforderungen werden vor dem Lackieren sowie nach jedem Grundier- bzw. Fülleraufrag zwischengeschliffen. Schleifarbeiten fallen zudem zur Verbesserung der Lackhaftung sowie zur Beseitigung von Schmutzeinschlüssen an.

Die trockenen Schleifstäube bestehen überwiegend aus Holzspänen und ausgehärtetem Lackfestkörper. Die in der Holzindustrie beim Lackierprozess anfallenden Schleifstäube (Abfallschlüssel 35 321 nach LAGA-Katalog) und verbrauchten Schleifmittel können auf einer Hausmülldeponie bzw. in einer Hausmüllverbrennungsanlage entsorgt werden, sofern die anlagenspezifischen Anforderungen erfüllt werden.

4 Vermeidung und Verwertung von Abfällen/Reststoffen aus der Holzlackierung

4.1 Vermeidung overspraybedingter Abfälle / Rohstoffe

4.1.1 Einsatz reststoffarmer Lackierverfahren

Grundsätzlich ist zunächst der Einsatz reststoffarmer Lackierverfahren zu prüfen. Hierzu zählen:

- Walzen,
- Gießen,
- Fluten,
- Tauchen,
- Trommeln,
- Zentrifugieren.

Die Auswahl und der Einsatz eines der o.g. Verfahren richtet sich nach den produktspezifischen Eigenschaften, z. B der Gestaltung der zu lackierenden Oberfläche oder den Abmessungen des Werkstückes. Besonders wirtschaftlich sind die Walz- und Gießverfahren für Flachteile ohne Profilierung. Hier werden Festkörpernutzungsgrade bis zu 100 % erreicht (vgl. (Abb. 4-1). Bei niedrigeren Anforderungen an die Oberflächenqualität, z. B. bei Tischbeinen, kann auch das Tauchverfahren zum Einsatz kommen (Festkörpernutzungsgrad ca. 90 %).

Schüttfähige Kleinteile werden im Trommelverfahren oder durch Zentrifugieren beschichtet. Die Beschichtungsqualität dieser wirtschaftlichen und verlustarmen Beschichtungsverfahren weist allerdings einige Schwachstellen auf. Beim Lackierprozeß verkleben die Werkstücke teilweise, so daß Markierungen zurückbleiben. Außerdem erzeugt der dünnflüssige Lack oftmals Überzüge, die nicht vollständig deckend sind.

4.1.2 Erhöhung des Festkörpernutzungsgrades

Bei profilierten Teilen sind die in Kap. 4.1.1 beschriebenen Verfahren meistens nicht oder nur für die Rückseiten der Werkstücke einsetzbar. Die Beschichtung erfolgt daher im Spritzauftrag, wobei stets Overspray-Verluste in unterschiedlicher Menge erzeugt werden. Daher ist die Auswahl eines geeigneten Spritzverfahrens mit möglichst hohem Festkörpernutzungsgrad von besonderer Bedeutung.

Zur Erhöhung des Festkörpernutzungsgrades beim Spritzlackieren sind besonders die mechanischen Zerstäubungsverfahren mit elektrostatischer Unterstützung beachtenswert, die z. T. Festkörpernutzungsgrade von bis zu 90 % erzielen.

Die Airlesszerstäubung ist dabei vom Festkörpernutzungsgrad her mit der Druckluftzerstäubung im Niederdruckverfahren vergleichbar, aber bei stärker profilierten Werkstücken aus Gründen der Fertigungssicherheit nur begrenzt einsetzbar.

Spritzverfahren sind einer ständigen Prozessoptimierung zu unterwerfen. Ansatzpunkte hierzu ergeben sich z. B. durch eine

- Anpassung der Spritzstrahlform an die Werkstückform bzw. -größe,
- optimale Belegung der Förderbänder,

- senkrechte Ausrichtung der Spritzpistolen zur Werkstückoberfläche und Anpassung der Pistolenbewegung an die Werkstückkontur,

- Optimierung der Spritzparameter (Lackdruck, Massenstrom, Viskosität, Luftvolumenstrom, Spritzabstand, etc.).

Abb. 4-1 zeigt das Potential der Verbesserung des Festkörpernutzungsgrades beim Spritzlakkieren im Vergleich zum Walzen und Gießen:

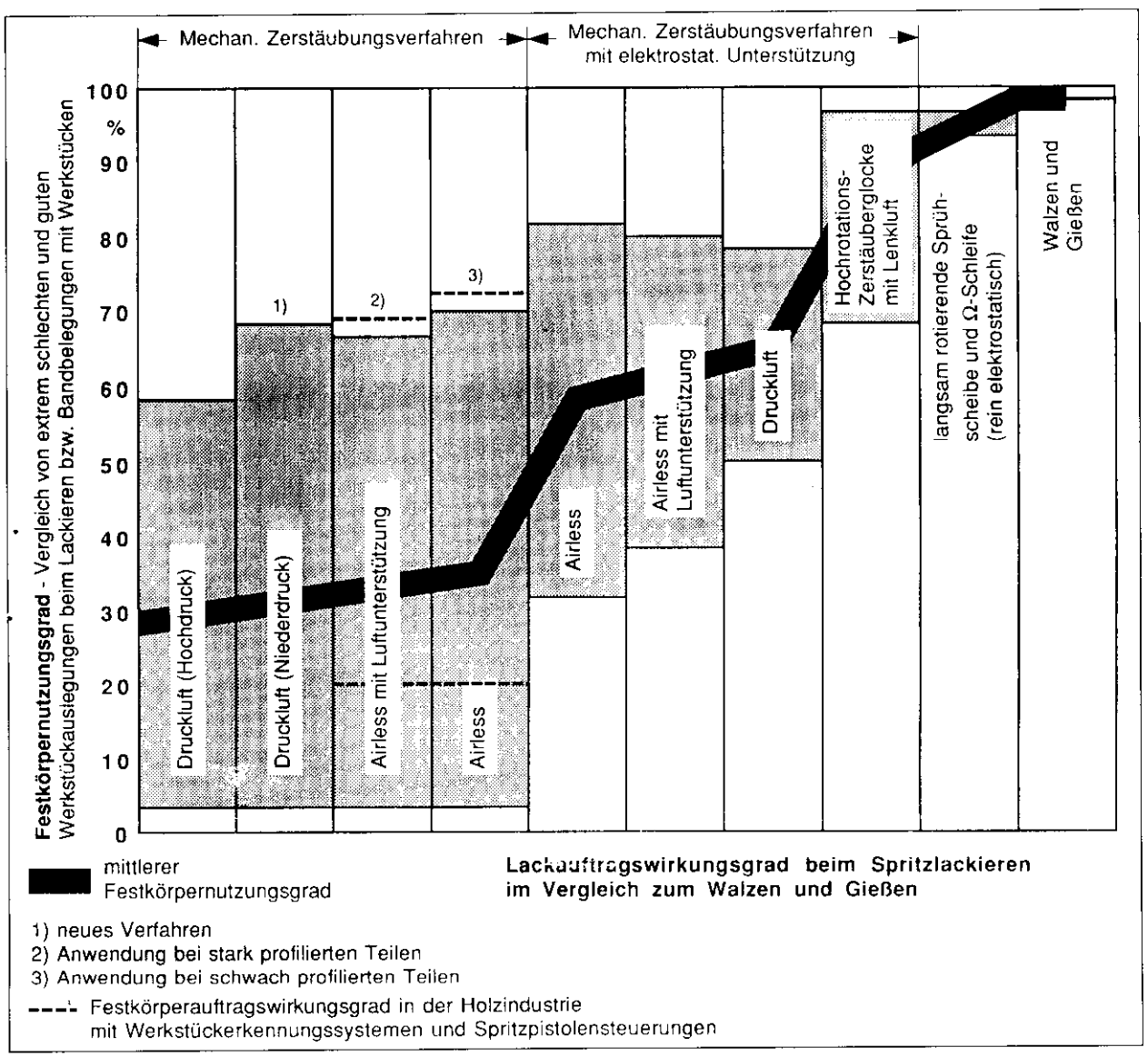


Abb. 4-1: Spritzlackieren im Vergleich zum Walz- und Gießverfahren

4.1.3 Rückgewinnung des Lackoversprays im Lackierprozeß

Abb. 4-2 zeigt allgemein die Möglichkeiten zur Lackabfallrückgewinnung und -verwertung beim Spritzauftrag von Naßlacken. Aus dieser Übersicht wird deutlich, daß sich derzeit bei der Holzlackierung die Overspray-Rückgewinnung auf die Verfahren des Direktrecyclings konzentriert.

Alternativen für die Lackabfallverwertung \ Lacksysteme	Allgemein				Holzlacke			
	Lösemittelhaltige Lacke	2K-Lacke auf Lösemittelbasis	Wasserlacke pigmentiert	Wasserklarlacke	Lösemittelhaltige NC-Lacke	2K-Lacke auf Lösemittelbasis	UV-Lacke auf Lösemittelbasis (ohne 2K-Härteranteile)	UV-Lacke auf Wasserbasis (ohne 2K-Härteranteile)
▪ Directrecycling (Lackoversprayrückgewinnung)								
- Ultrafiltration *) Lackoversprayrückgewinnung bis 100%	–	–	⊕ / +	⊕	–	–	–	⊕
- Auffangen des Oversprays in Wannen, auf Bändern, Scheiben usw. (bei begrenzten Werkstückspektren)	(+)	–	+/(+)	+/(+)	+	–	⊕	+
- Lackaufkonzentration *) über Wasserverdampfung aus dem Kabinenwasser	–	–	–	–	–	–	–	(+)
▪ Indirektes Recycling von Füllerkoagulaten								
- Anteilige Zugabe des Lackkoagulates bei Lackneuansätzen z.B. Füller	(+)	–	⊕	–	–	–	–	–
- Unterbodenschutzmaterial, untergeordnete Lackqualität	⊕	?	⊕	⊕	–	?	?	?
▪ Stoffliche Koagulatverwertung								
- Lackoverspray mit PU - Granulat binden und für Dämmatten, Formteile usw. verwenden (Fa. Adam Opel AG)	?	?	?	– /?	–	?	?	?
- Entpigmentierung, d. h. nicht bei Klarlacksystemen	⊕	–	⊕	–	?	?	?	?
- Koagulatverwertung für Dämmatten	+	(+)	+	+	–	?	?	?
- Bindemittelrückgewinnung bei geeigneten Koag. mittel über Dünnschichtverdampfer (Fa. Lack - Recycling)	+	?	⊕	⊕	–	?	?	?

Lackabfallverwertung beim Spritzauftrag von Naßlacken

*) ... Rückgewinnung aus dem Kabinenwasser
⊕ ... Entwicklungsarbeit erforderlich, aber denkbare Lösung
(+) ... bedingt geeignet
? ... bisher keine Aussage möglich
\+ ... geeignet
– ... nicht geeignet

Abb. 4-2: Möglichkeiten der Lackabfallverwertung beim Spritzauftrag von Naßlacken

4.1.3.1 Auffangen des Oversprays und Einarbeiten in neue Lackchargen

In einem Unternehmen der Holzindustrie werden bereits mit Erfolg Lackoverspray-Auffangwannen eingesetzt. Die Vorteile dieser Methode werden deutlich, wenn man die versprühten und nicht aufgetragenen Lacknebel nach der Applikation differenziert betrachtet (Abb. 4-3):

• Lösemittel	→ Abluft		
• Festkörper	→ Kabinenwasser	→ Koagulation	→ Lackschlamm
	oder		
	→ Auffangwanne	→ Recycling durch Einarbeiten	

Abb. 4-3: Wege der Lackpartikel nach der Spritzapplikation

Bei der Auffangvorichtung handelt es sich um eine Blechwanne, die in der Spritzkabine unterhalb des Transportbandes eingesetzt wird (Abb. 4-4). Diese Wanne kann zur einfacheren Entleerung mit Kunststoffolien ausgekleidet sein.

Bei einer exemplarischen Prüfung des Lackauftragwirkungsgrades zeigte sich, daß bei einer versprühten Naßlackmenge von 730 g (bzw. von 175 g Lackfestkörper bei 24 % Festkörperanteil) etwa 120 g Lackfestkörper durch die Wanne aufgefangen werden. Der Festkörpernutzungsgrad der Auffangwanne beträgt somit ca. 70 %. Das aufgefangene Lackmaterial ist wiederverwertbar.

Bei NC- und UV-härtenden Lacken kann das Ziel, mit Auffangwannen Lackoverspray aufzufangen und dieses im Prozeß neu einzusetzen, erreicht werden. Dies ist dann sinnvoll möglich, wenn Farbtonwechsel in großen Abständen stattfinden bzw. Klarlacke verarbeitet werden.

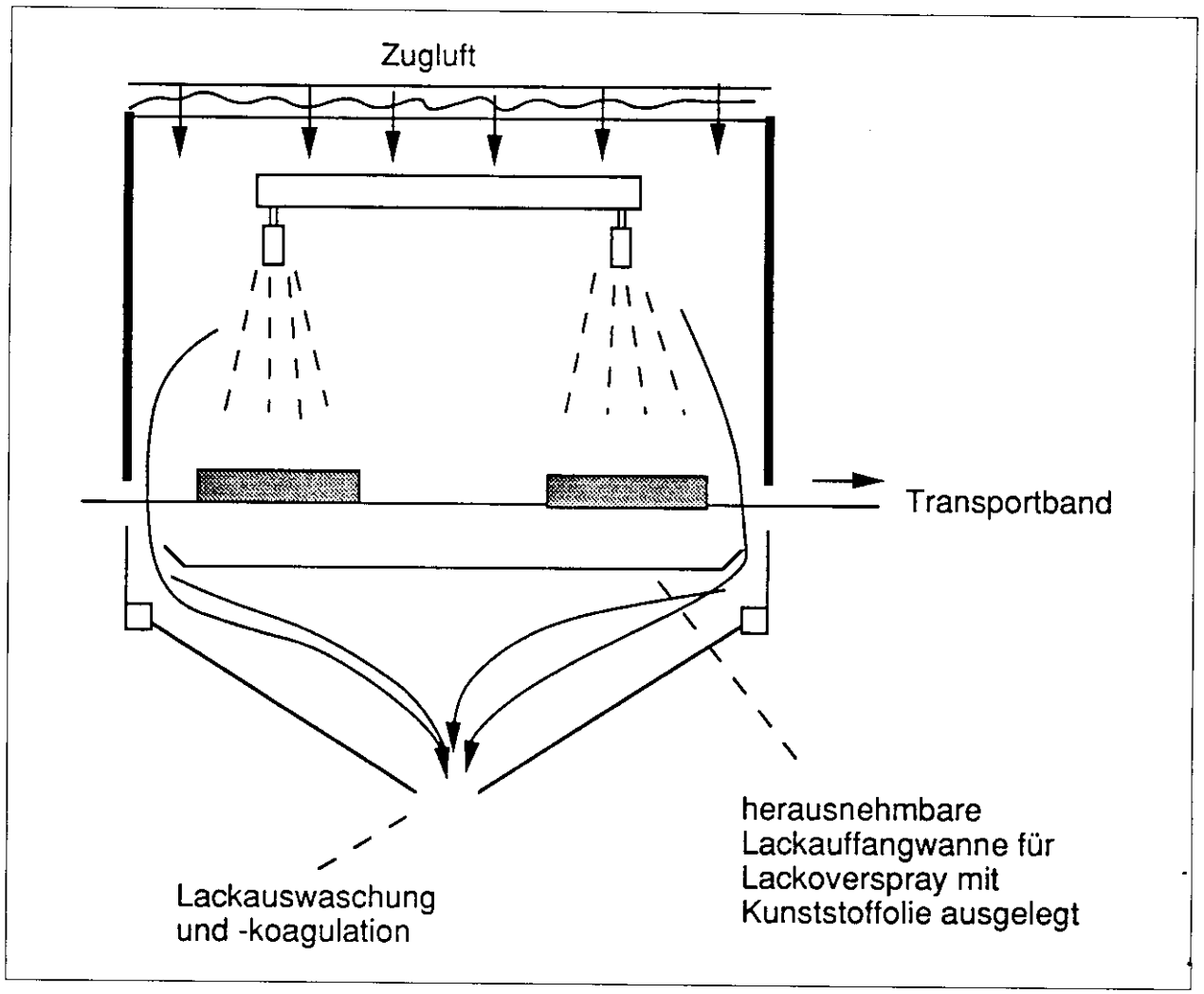


Abb. 4-4: Prinzipskizze einer Auffangwanne zum Einsatz in Spritzkabinen

Bei 2K-Lacken ist die Möglichkeit eines erneuten Lackeinsatzes kaum gegeben. Der Vorteil von Lackauffangwannen ergibt sich hier aus der mengenmäßigen Reduzierung des Lackabfalls in der Auswaschung, indem der Zusatz von Koaguliermittel sowie die Wasseranteile und damit im gesamten das Lackabfallvolumen verringert werden kann.

Weiterhin wird untersucht, ob das Lackoverspray, das durch Vorbeispritzen an den Werkstükken entsteht und auf den Förderbändern innerhalb des Beschichtungsbereiches anhaftet, ebenfalls zurückgewinnbar und wiederverwertbar ist.

Bei der in Abb. 4-5 dargestellten technischen Lösung liegen die Werkstücke während des Spritzauftrags auf einem geschlossen flächigen und lösemittelbeständigen Gurttransportsystem, welches das Lackoverspray zu großen Anteilen auffängt. Das auf dem Förderband angesammelte Lackoverspray kann nach der Beschichtungszone über eine Reinigungseinheit, die gegenläufige Kontaktwalzen (im Lösemittelbad laufend) sowie diverse Schabmesser umfaßt, entfernt und in einem Behälter aufgefangen werden. Anschließend durchläuft das Band mit geringeren Restlackbestandteilen ebenfalls einen Lösemittelbehälter zur vollständigen Reinigung. Nach einer Trockenstrecke läuft das Endlosband wieder in den Beschichtungsbereich.

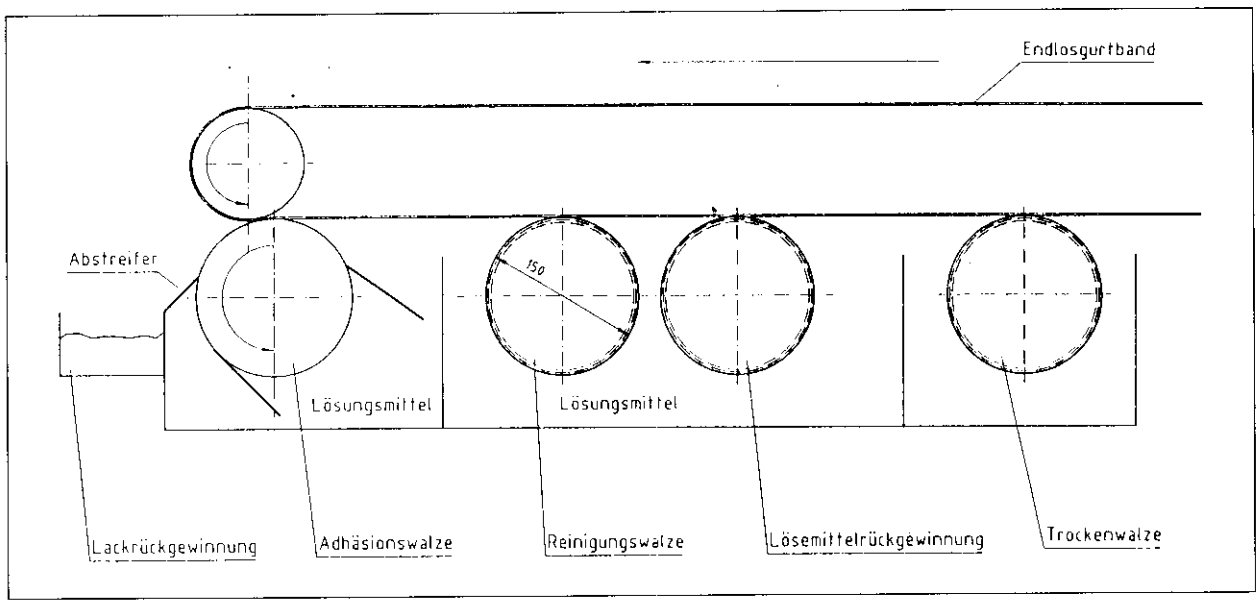


Abb. 4-5: Rückgewinnung mit speziellen Transportbändern[20]

Ist eine direkte Lackrückgewinnung nicht möglich, sind Reinigungs- bzw. Aufbereitungsschritte nachzuschalten. Hierfür bietet sich zum Beispiel das Verfahren der Fa. Envilack an. Mit diesem Verfahren können Lackkoagulate zu einem Bindemittel- und einem Pigmentkonzentrat aufbereitet werden, die erneut zur Herstellung von Lacken einsetzbar sind.

Für diese Rückgewinnung ist prinzipiell der Overspray folgender 1K-Lackarten geeignet:

- Alkyd/Aminoharzeinbrennlacke
- Acrylatharzlacke oder Acrylat-Aminokombinationen
- Oxidativ trocknende Lacke
- Physikalisch trocknende Lacke (**Nitrolacke**/PVD-Lacke)

Bei Mischformen gibt die Kenntnis von Rezeptur und Verfahrenstechnik Aufschluß über die Rückgewinnbarkeit. Für eine Rückgewinnung weniger gut geeignet sind Zweikomponenten-Lacke. Die Reaktion der beiden Komponenten führt zu Kunststoffprodukten, deren Trennung in Lackrohstoffe nur noch bedingt möglich ist.

Das Verfahren wird in zwei Abschnitte untergliedert:

1. die mechanische Aufbereitung (a) und
2. die thermische Nachentwässerung (b).

Im Verfahrensabschnitt (a) (Abb. 4-6) werden die dem Lackkoagulat anhaftenden Wassermengen zunächst mittels Knetmaschinen ausgeknetet. Hier können auch anorganische, wasserlösliche Koaguliermittel (wie z. B. $CaCl_2$, $AlCl_3$, $ZnCl_2$ etc.) entfernt werden.

Danach erfolgt die Überführung des weitgehend wasserfreien Koagulates (Restwassergehalt $< 8\,\%$) in die Lösemittelphase mit anschließender Viskositätseinstellung sowie die Abtrennung lackfremder Feststoffe (Metalle, Sand, Verpackungsmittel etc.) mittels geeigneter Siebmaschinen. Der vierte Verfahrensschritt ist die Teilentpigmentierung des grobgereinigten Zwischenproduktes.

[20] Quelle: Fa. Venjakob, Rheda

Man erhält zwei Produkte „A“ und „B“:

A ein Bindemittelkonzentrat mit folgenden Eigenschaften:
- weitgehend frei von Pigmenten und Füllstoffen
- geringe Deckkraft
- hoher Glanzgrad
- hoher Bindemittelanteil

B ein Pigmentkonzentrat mit folgenden Eigenschaften:
- geringer Bindemittelanteil
- hohe Deckkraft
- hoher Pigmentanteil
- geringer Glanzgrad

Für den Verfahrensabschnitt (b) wird entweder das grobgereinigte Zwischenprodukt oder das Produkt „A“ eingesetzt, um nach Einstellung des Festkörpergehaltes eine thermische Nachentwässerung dieser Produkte über eine Dünnschichtverdampferanlage durchzuführen. Hier werden Restwassergehalte von < 1 % erreicht.

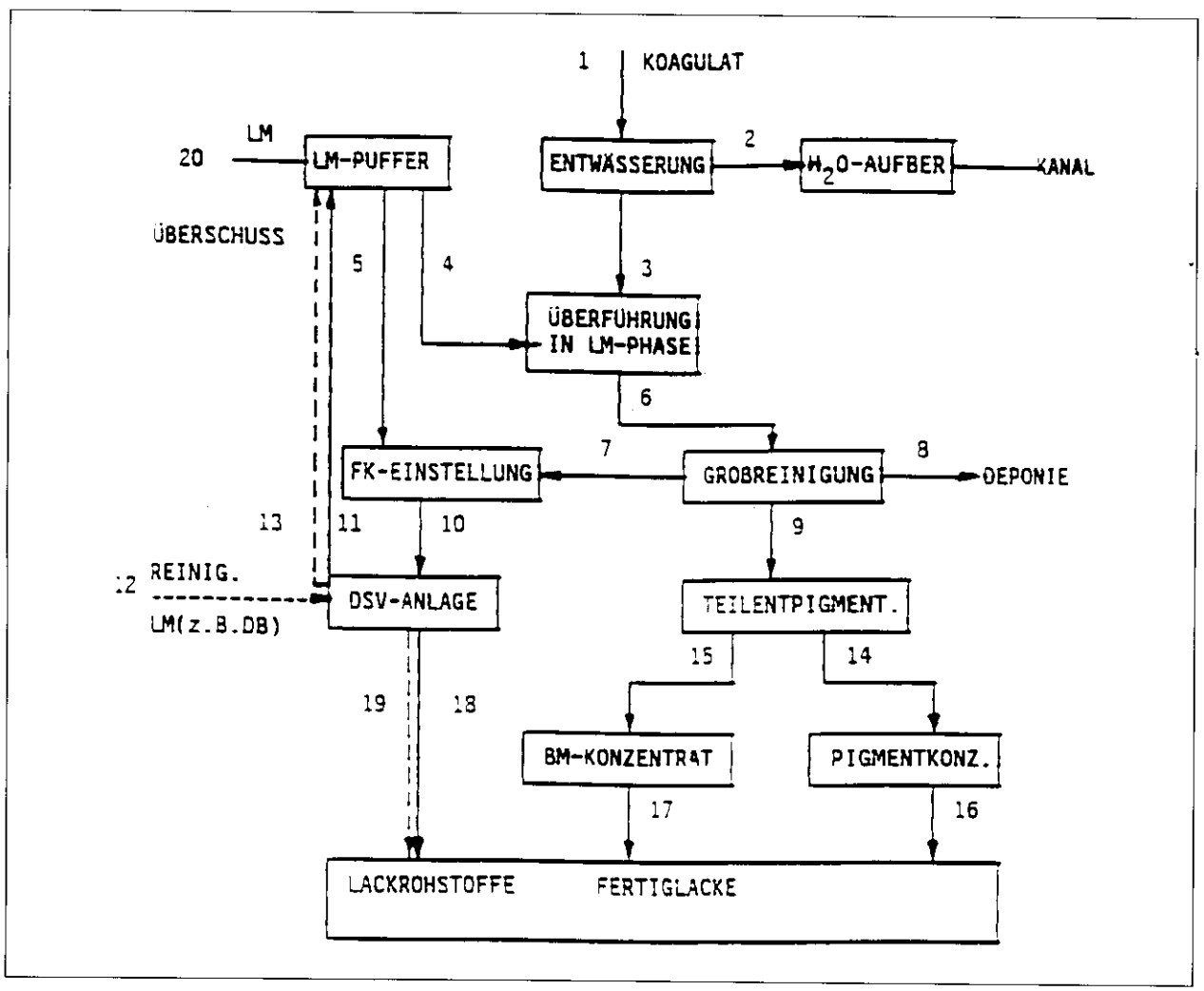


Abb. 4-6: Teilprozesse des „Envilack“-Verfahrens

Die bei diesem Recyclingprozess hergestellten Produkte werden in Neulackrezepturen eingearbeitet. Die Qualität der durch diesen Prozess produzierten Fertiglacke entspricht bei „recyclinggerechter Behandlung der Rohstoffe“ (Koagulate) derjenigen von Lacken, die ausschließlich aus Neurohstoffen produziert wurden.

Für die Verwertung der Koagulate werden folgende Koaguliermittel als unkritisch definiert:

- Koaguliermittel dürfen mit den in den zu koagulierenden Lacken enthaltenen Bindemitteln nicht reagieren bzw. diese denaturieren,

- die zur Koagulation eingesetzten Mengen an Koaguliermittel sollten $< 5\,\%$ des Koagulates liegen,

- als unkritisch gelten die Koaguliermittel:

- $CaCl_2$ / Polyelektrolyt,

- $ZnCl_2$ / Polyelektrolyt,

- $AlCl_3$ / Polyelektrolyt,

- Bentonit,

- Mischungen aus o.g. Produkten.

Vor Einsatz dieses Verfahrens sind auf den Anwendungsfall und mit dem Lacklieferanten abgestimmte Versuche durchzuführen.

4.1.3.2 Verdampfung für UV-Lacke

Die Eindickung bzw. Stofftrennung nach dem Verdampferprinzip stellt eine weitere verfahrenstechnische Möglichkeit zur Rückgewinnung von UV-härtenden Wasserlacken und Abwasser dar. Die Verdampfung findet unter Vakuum bei einer Betriebstemperatur von ca. 40 °C statt. Dabei wird das Spritzkabinen-Umlaufwasser im Bypass über die Verdampferanlage gefahren und das durch Kondensation gewonnene Konzentrat zurückgeführt. Die aufkonzentrierte Lacksubstanz kann bei Lacklieferanten ohne Qualitätsverlust eingearbeitet werden, so daß keine Reststoffe zurückbleiben.

Erfahrungen hinsichtlich der Arbeitsweise derartiger Anlagen bestehen in der holzverarbeitenden Industrie bei einem Profilholz-Hersteller. Bei dem verarbeiteten Lacksystem handelt es sich um ein UV-aushärtendes Wasserlacksystem, das keine Lösungsmittel oder Schwermetalle enthält und für den Klarlackbereich eingesetzt wird.

Der Hauptenergiebedarf der Anlage, der sich auf ca. 20 kWh/m^3 zu entsorgendem Abwasser beläuft, liegt im Stromverbrauch für die Umwälzpumpen sowie der Erzeugung des Vakuums.

Der mögliche Einsatz dieses Verfahrens ist für den jeweiligen Anwendungsfall zu prüfen, wobei nach den derzeitigen Kenntnissen den neuen Lackchargen als Obergrenze ca. 5 bis 6 % an Konzentrat zugegeben werden können.

4.1.3.3 Ultrafiltration für Wasserlacke

Das beim Spritzlackieren enstehende Lackoverspray könnte bei wasserlöslichen Holzlacken aus dem Spritzkabinen-Auswaschwasser ohne Zusatz von Koaguliermitteln vollständig zurückgewonnen und wiederverwendet werden. Um dies zu realisieren, sind Lackoverspray und vollentsalztes Auswaschwasser voneinander zu trennen. Hierzu bietet sich die Technik der Ultrafiltration an.

Bei der Ultrafiltration wird das Lack-Wasser-Gemisch durch ein oder mehrere Module mit einer semipermeablen Membran gepumpt. Für niedermolekulare Bestandteile wie Wasser, aber auch die meisten Salze bzw. Ionen, ist diese Membran durchlässig, während hochmolekulare Lackkomponenten wie Bindemittel und Pigmente zurückgehalten werden.

Lackoverspray und Auswaschwasser können somit mit diesem Verfahren getrennt werden, wobei aber die Gefahr besteht, daß wichtige Bestandteile des Wasserlackes ebenfalls entfernt werden und der Lack dadurch in seinen Eigenschaften verändert wird. Die Trenngrenze ist durch die Art der verwendeten Membran bzw. deren Porengröße festgelegt. Die optimale Abstimmung zwischen verwendeter Membran und Art sowie Zusammensetzung des eingesetzten Lackes ist daher eine wesentliche Voraussetzung für die störungsfreie Funktion der angestrebten Kreislaufführung. Weitere Gesichtspunkte sind Materialverträglichkeiten, Reinigung bzw. Regeneration der Membran sowie die optimalen Betriebsbedingungen der Ultrafiltrationsanlage wie Druck, Durchflußgeschwindigkeit, Konzentrationen usw.

Der Aufbau einer Anlage zur batchweisen Kreislaufführung von vollentsalztem Auswaschwasser wäre entsprechend der Graphik (Abb. 4-7) zu realisieren. Die wesentlichen Komponenten sind eine Spritzkabine mit Naßauswaschung, der Auswaschwasserkreislauf, eine Ultrafiltrationsanlage und ein Lackkreislauf, bestehend aus Lackvorrat und Applikation. Das Overspray gelangt in das Auswaschwasser und wird mit diesem einem separaten Vorratsbehälter diskontinuierlich wieder zugeführt. Der Lack bzw. die stark verdünnte Lack-Wasser-Lösung wird dann ständig im Kreislauf durch die Ultrafiltration gepumpt. Das Filtrat (Wasser und niedermolekulare Bestandteile) wird entzogen und dem Auswaschwasser zugeführt.

Die Rückgewinnung von lufttrocknenden, wasserverdünnbaren Dispersionssystemen aus dem Spritzkabinen-Auswaschwasser ist mit besonderen Schwierigkeiten behaftet, da der Trocknungsprozeß dieser Lackmaterialien frühzeitig einsetzt.

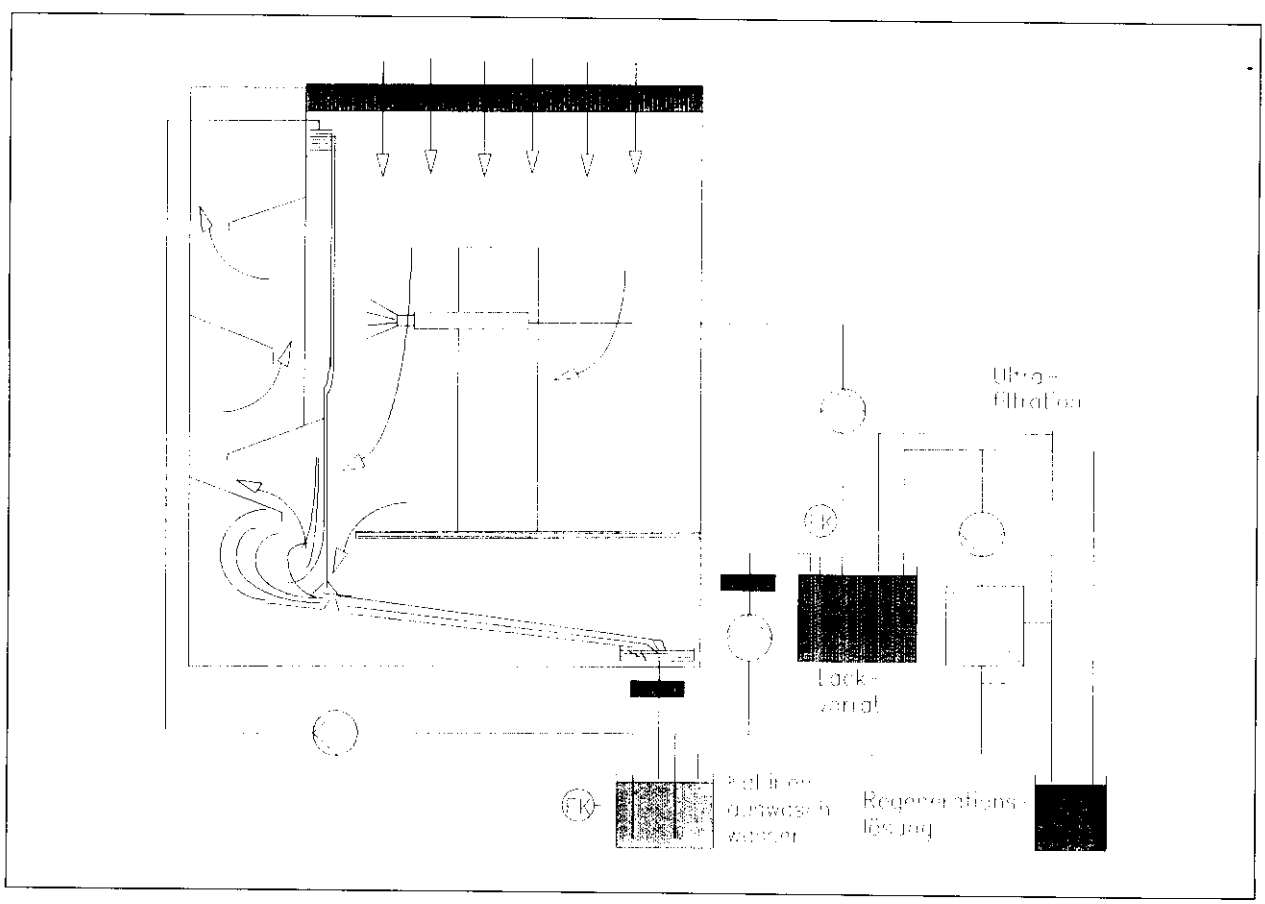


Abb. 4-7: Einbindung einer Ultrafiltrationsanlage zur Overspray-Rückgewinnung bei Wasserlacken

Bei den UV-härtenden Wasserlacken wird grundsätzlich zwischen zwei Systemen unterschieden:

- UV-Lacke auf Dispersionsbasis,

- UV-Lacke auf Emulsionsbasis.

Nach dem derzeitigen theoretischen Kenntnisstand sind Lacksysteme auf Emulsionsbasis für den Einsatz der Ultrafiltration besser geeignet, was durch entsprechende Praxisversuche noch nachgewiesen werden muß.

4.2 Vermeidung sonstiger Abfälle/Reststoffe

4.2.1 Verunreinigte Lösemittel aus der Pistolenreinigung[21]

4.2.1.1 Reinigungsgeräte

Zur Reinigung von Spritzpistolen sind Geräte verfügbar, mit denen der Verbrauch von Reinigungslösemitteln reduziert werden kann. Das Reinigungslösemittel wird mit der Spritzpistole gegen eine Prallwand gespritzt, wird dort aufgefangen und gelangt nach einer Filtration zur Entfernung grober Verunreinigungen in einen Vorratsbehälter zurück. Die Endreinigung der Pistolen erfolgt mit frischem Lösemittel. Das im Kreislauf geführte Lösemittel, in dem sich die Verunreinigungen anreichern, muß von Zeit zu Zeit ausgetauscht werden. Eine Aufbereitung des verunreinigten Kreislauflösemittels durch Destillation ist möglich (vgl. Abschnitt 4.2.1.2 und 4.2.1.3). Die Kosten für derartige Reinigungsgeräte belaufen sich auf ca. 1700 DM.

4.2.1.2 Destillierapparate

Zur Aufbereitung von verunreinigten Lösemitteln lassen sich in den Holzlackierereien Destillierapparate einsetzen. Bei diesem Verfahren werden die verunreinigten Lösemittel verdampft und anschließend auskondensiert. Während das Lösemittel-Kondensat wieder im Betrieb eingesetzt werden kann, verbleiben die Schmutzstoffe (überwiegend Lackfestkörper) als Rückstand im Destillierapparat (siehe Kap. 4.2.2).

Angaben von Anwendern über den Rückgewinnungsgrad liegen zwischen 33 % und 80 %. Die Investitionskosten für einen Destillierapparat liegen bei ca. 4.000 DM und amortisieren sich nach den Erfahrungen der befragten Anwender durch die Einsparung von Reinigungslösemitteln innerhalb von 2 bis 3 Jahren.

4.2.1.3 Externe Destillation

In einigen Betrieben werden die Lösemittel von Lieferanten bezogen, die die verschmutzten Lösemittel wieder zurücknehmen und durch Destillation aufbereiten.

[21] ... in Anlehnung an: Corley, M.; Toussaint, D.: „Vermeidung von Abfällen durch abfallarme Produktionsverfahren in der Autoreperaturlackierung", Abschlußbericht, FhG-Institut ISI, 7/1991

4.2.2 Destillationsrückstände

Die Verwertung von lackhaltigen Destillationsrückständen in Hydrieranlagen ist prinzipiell möglich.[22]

4.2.3 Lackreste

Bei den Vermeidungs- und Verwertungsmöglichkeiten von Lackresten ist zwischen unvernetzten Lackresten (z. B. flüssige 1K-Lacke, unvernetzte 2K-Lacke) und bereits mit Härter versetzten 2K-Lacken zu unterscheiden.

In der Holzindustrie werden für die Lackierung von Küchenmöbeln überwiegend 2K-Lacke eingesetzt. Dadurch fallen häufig angemischte und z. T. ausgehärtete Lackreste zur Entsorgung an. Durch den Einsatz von 1K-UV-härtenden Lacken (Lösemittel- oder Wasserbasis) besteht die o.g. Problematik der Lackreste nicht, da der Lack eine wesentlich längere Haltbarkeit besitzt.

Bei Restposten von speziellen Farbtönen ist die Aufarbeitung der Lackreste in neue Lackchargen zu prüfen. Hierbei ist es erforderlich, daß die Lackreste nach Farbtönen sortiert an den Lacklieferanten zurückgegeben werden, damit eine Umtönung für Lackchargen in ähnliche Farbtöne möglich ist.

Eine stoffliche Verwertung von vernetzten und unvernetzten Lackresten ist in Hydrieranlagen von Raffinerien möglich. Hierbei werden die Lackreste zu kurzkettigen Kohlenwasserstoffen umgewandelt.

4.2.4 Schleifabfälle

Möglichkeiten zur Vermeidung oder Verwertung von Schleifabfällen und Schleifschlämmen sind derzeit nicht bekannt.

[22] Duhms: Fa. Ruhrkohle Öl und Gas GmbH; Persönliche Mitteilung; 1991

Teil B – IST-Analyse des untersuchten Betriebes

5 Beschreibung des untersuchten Betriebes

5.1 Produktionsparameter

In dem untersuchten Betrieb werden Kücheneinrichtungen hergestellt. Das Unternehmen beschäftigt derzeit etwa 2000 Mitarbeiter.

Die Produktion kann im wesentlichen in drei Fertigungsbereiche gegliedert werden:

- Mechanische Holzteilebearbeitung,
- Lackierung der Holzteile,
- Montage.

Im Rahmen der Studie wurde die Lackiererei untersucht. Diese umfaßt neben drei manuellen Handspritzständen drei Durchlaufanlagen mit Bandfördereinrichtungen zur Beschichtung von profilierten Flach- und Rahmenteilen sowie eine offene Spritzanlage für Leistenteile (Leistenautomat). Der Lackauftrag erfolgt in der Regel durch Spritzen in geschlossenen Kabinen.

Für nicht profilierte Teile werden teilweise werkstückspezifische Sonderverfahren, z. B. Walz- und Gießprozesse, angewandt. Für die Beschichtung von Tischbeinen werden die Werkstücke in einer geschlossenen Anlage (an Gehängen) tauchlackiert. Die erzielte Oberflächengüte genügt den Qualitätsanforderungen.

Kleinteile werden in der Regel in Trommeln lackiert. Griffe werden manuell auf Gestelle gelegt und in einer geschlossenen Spritzkabine beschichtet.

Für die Spritzprozesse im Airlessverfahren mit Luftunterstützung werden in der gesamten Lakkiererei etwa 60 von Automaten geführte Spritzpistolen und etwa 10 Handspritzpistolen jeweils ohne Elektrostatik eingesetzt.

5.2 Verarbeitete Werkstoff- und Werkstückarten mit deren spezifischen Beschichtungsverfahren

Bei dem untersuchten Küchenmöbelhersteller werden jährlich etwa 1,1 Millionen Stück furnierte Holzbauteile, Massivholzteile und MDF-Platten sowie etwa 2 Millionen Stück Kunststoff-, Klein- und Profilteile verarbeitet.

Die nachfolgende Übersicht (Abb. 5-1) zeigt eine Zusammenfassung der verwendeten Materialien, verarbeiteten und beschichteten Werkstücke sowie der hauptsächlich eingesetzten Beschichtungsverfahren. Die hergestellten Produkte sind mit den Kurzzeichen P1 bis P5 [23] gekennzeichnet.

[23] vgl. Kap. 6

Material	Werkstückausführungen	Pro-dukt	Beschichtungsverfahren
Massivholz (E7)	• Profilierte Fronten • Profilierte Glastürrahmen • Profilleisten • Sonderteile (z. B. Tischbeine) • ebene Leisten / Fronten	P2 P2 P2 P2 P4	Spritzen Spritzen Spritzen Tauchen Walzen / Gießen
Spanplatte (E8)	• kunststoffbeschichtet	P5	außerhalb Lackierei
MDF-Platten (E9)	• Ebene Fronten • Fronten mit runden Kanten	P1 P1	Walzen / Gießen Spritzen + Walzen
Kleinteile aus Kunststoff oder Massivholz (E12)	• Beschläge, Türgriffe, Knöpfe	P3	Spritzen / Trommeln / Zentrifugieren

Abb. 5-1: Tabelle der verschiedenen Werkstückausführungen mit den spezifischen Beschichtungsverfahren

Die zu lackierenden Holzteile weisen durchschnittlich folgende Abmessungen auf (Abb. 5-2):

Werkstückgruppe	Abmessungen [mm]
Profilierte Flachteile	450 × 600 × 20
Flächige Teile	300 × 400 × 16
Schüttgut	40 × 50 × 3

Abb. 5-2: Werkstückgruppen und Abmessungen

5.3 Eingesetzte Lackarten

Das Unternehmen setzt grundsätzlich Zweikomponenten-Polyurethan (PUR)-Lacke ein, die durch Härterzugabe nach einer gewissen Zeit, der sog. Topfzeit, aushärten und somit nur kurzfristig (zwischen wenigen Stunden und 2 Tagen) verarbeitbar sind.

Die eingesetzten 2K-UV-Lacke nehmen eine Sonderstellung ein. Diesen wird, um eine vollständige Aushärtung auch in UV-Strahlungsschatten zu erreichen, Härter zugesetzt, jedoch in so geringen Anteilen, daß die Topfzeit bis zu 2 Tagen beträgt. Die Aushärtung wird unmittelbar nach der Lackapplikation durch gezielte Bestrahlung mit UV-Licht ausgelöst und erfolgt in we-

nigen Minuten. Bei einer Bahnbreite von 1300 mm werden Lampenlängen von 1500 mm eingesetzt. Die Lampen haben eine spezifische Leistung von 80 W/cm und können bei Bedarf in der Leistung um bis zu 30 % reduziert werden.

Bisher werden nur im Klarlackbereich bei flächigen Teilen UV-härtende Lacke eingesetzt, da das Remissionsverhalten der Pigmente problematisch ist.

5.4 Ablauf der Arbeiten

Die drei wichtigsten Arbeitsabläufe sind in den Abb. 5-3 bis 5-5 schematisch dargestellt, wobei die verwendeten Einsatzstoffe (Lacke, Beizen, Lösemittel, etc.) mit den Kurzzeichen[24] E1 bis E12 gekennzeichnet sind. Sie unterscheiden sich je nach Werkstückausführung bzw. dem aufzutragenden Lacksystem.

1. Schritt:	–	automatisches Entstauben mit rotierenden Bürsten und Absaugung
2. Schritt:	E1	Beizen (nach Bedarf)
3. Schritt:	–	Abdunstzone
4. Schritt:	E3 E6	Grundieren mit lösemittelhaltigem UV-Lack und Härterzusatz (Topfzeit 1-2 Tage)
5. Schritt:	–	Abdunsten und Aushärten im UV-Licht
6. Schritt:	E10	Zwischenschleifen
7. Schritt:	–	automatisches Entstauben mit rotierenden Bürsten und Absaugung
8. Schritt:	E3 E6	Decklackieren mit lösemittelhaltigem UV-Lack und Härterzusatz (Topfzeit 1-2 Tage)
9. Schritt:	–	Abdunsten und Aushärten im UV-Licht

Abb. 5-3: Offenporiges Klarlackbeschichten von profilierten Massivholzfronten mit optionalem Beizen für eine Werkstückseite

[24] vgl. Kap. 6

1. Schritt:	–	automatisches Entstauben mit rotierenden Bürsten und Absaugung
2. Schritt:	E2 E3 E6	Füller: offenporiger Spritzauftrag des pigmentierten lösemittelhaltigen PUR-Lackes und Härterzusatz bzw. UV-Lack
3. Schritt:	–	Abdunsten und Umlufttrocknen
4. Schritt:	E10	Zwischenschleifen
5. Schritt:	–	automatisches Entstauben mit rotierenden Bürsten und Absaugung
6. Schritt:	E2 E6	Decklackieren mit lösemittelhaltigem PUR-Klarlack und Härterzusatz
7. Schritt:	–	Abdunsten und Umlufttrocknen

Abb. 5-4: Offenporiges Beschichten mit pigmentierter (farbiger) Grundierung und klarer Decklackierung für eine Werkstückseite

1. Schritt:	–	automatisches Entstauben mit rotierenden Bürsten und Absaugung
2. Schritt:	E1	Beizen (nach Bedarf)
3. Schritt:	E2	Grundieren mit lösemittelhaltigem PUR-Klarlackgrund mit Härterzusatz
4. Schritt:	–	Lufttrocknen
6. Schritt:	E2	Decklackieren mit Klarlack (lufttrocknender 2K-PUR-Lack)
7. Schritt:	–	Lufttrocknen

Abb. 5-5: Offenporiges Klarlackbeschichten von Profilleisten aus Massivholz mit optionalem Beizen auf dem Leistenautomat

5.4.1 Erläuterungen zu den Applikationsverfahren

Die Holzbeschichtung erfolgt bei dem betrachteten Unternehmen, bedingt durch die Werkstückformen, in der Regel im Airless-Spritzverfahren mit Luftunterstützung.

Mit Ausnahme der Leistenbeschichtung werden zum Lackieren von profilierten Flachteilen die Spritzpistolen entweder im Ovalumlauf (Abb. 5-6) oder mit mechanischem Hubgetriebe als Schlittenläufer (Abb. 5-7) geführt. Bei diesen Systemen kann an den Spritzpistolen Lackausflußrate, Spritzabstand, Spritzstrahlbreite und Neigung eingestellt werden.

Bei einer Arbeitsbreite von 1,3 m werden im Ovalumlauf maximal 16 Spritzpistolen angetrieben, bei Schlittenläufern werden 4 Spritzpistolen geradlinig quer zur Förderrichtung der Werkstücke bewegt.

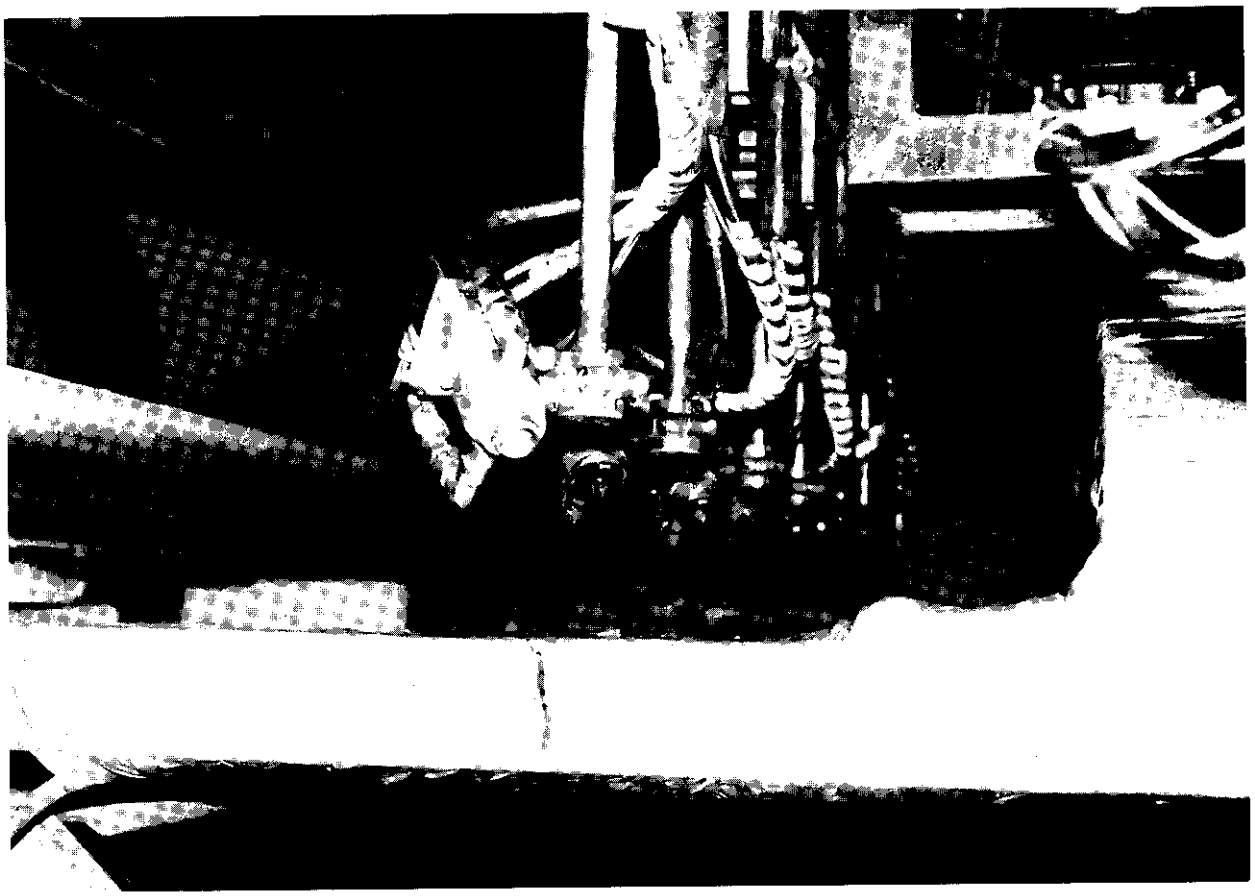


Abb. 5-6: Spritzpistolen im Ovalumlauf

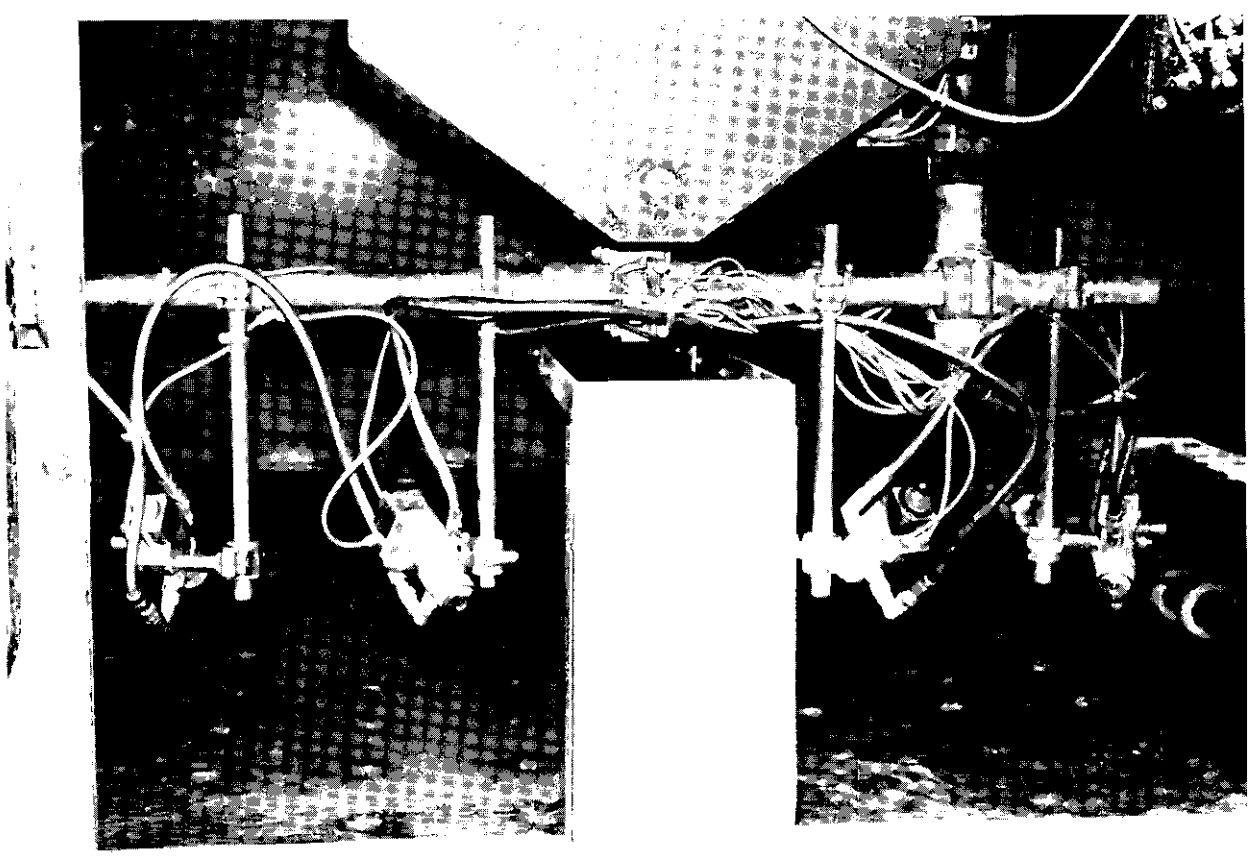


Abb. 5-7: Spritzpistolen mit Schlittenläufer

Zur Entsorgung der anfallenden Lackoverspray-Mengen sind folgende Maßnahmen verwirklicht:

- Wasserberieselte Absaugung mit Naßauswaschung über die gesamte Arbeitsbreite unterhalb des Transportbandes,
- Lackkoagulation,
- Vorrichtungen zum Oversprayaustrag an jeder Maschine.

Als Transportsysteme werden im wesentlichen Querstab- oder Stahlband-Förderer eingesetzt. Für den Übergang zu nachfolgenden Förderanlagen bzw. zur problemlosen manuellen Werkstückabnahme nach der Spritzkabine sind angetriebene Flachriemen vorhanden. Rücklaufende Förderabschnitte werden mittels mechanischer Schabvorrichtungen vom Lackoverspray befreit und kommen gereinigt zur Aufgabestelle zurück. Das entfernte Spritzmaterial wird aufgefangen und entsorgt.

Zum Beizen werden 2 × 8 Pistolen im Ovalumlauf eingesetzt. Das Overspray wird vom Kabinenwasser ausgewaschen. Aufgrund des geringen Festkörperanteils in der Beize wird dem Kabinenwasser kein Koaguliermittel zugesetzt.

Im Klarlackbereich (Grundierung und Decklack) wird im Ovalumlauf mit 1 × 8 Pistolen beschichtet. Der Naßauswaschung werden pro Stunde etwa 0,5 l Koaguliermittel zugesetzt. Das aufschwimmende Lackkoagulat wird mittels einer Schabvorrichtung aus dem Kabinenwasser kontinuierlich ausgetragen.

Beim Leistenautomat sind die Pistolen fest montiert. Die Leisten werden von angetriebenen Gummirollen unter den Spritzstrahlen hindurchgezogen. Über mechanische Kontakte werden die Pistolen für Beize und Klarlack automatisch ein- und ausgeschaltet. Das Klarlackoverspray mit einer mehrstündigen Topfzeit wird mit Hilfe von Trichtern aufgefangen und bei großen Werkstückchargen erneut verspritzt.

Bei zweifarbigen Flachteilen mit (höherliegenden) ebenen Flächen werden die abgerundeten Werkstückkanten bzw. die profilierten Bereiche im gewünschten Farbton im Spritzverfahren vorbeschichtet. Danach werden in einem anderen Farbton die (höherliegenden) ebenen Flächen des Werkstücks mittels einer Walze lackiert.

5.4.2 Steuerung der Spritzpistolen

Die Lackapplikation erfolgt mit automatisch gesteuerten Spritzpistolen. Die Steuerung ermöglicht eine Erfassung der jeweiligen Werkstückform und -lage im Durchlauf vor der Spritzkabine mit Hilfe einer Fotozellenbrücke. Diese Informationen werden in einer Mikroprozessor-Steuerung gespeichert und dann an die jeweiligen Spritzpistolen weitergegeben, wenn das Werkstück die Spritzposition erreicht hat. Somit wird nur gespritzt, wenn sich das Werkstück im Bereich des Spritzstrahls befindet.

Jede Pistole wird einzeln eingestellt und kann bei geänderter Pistolensteuerung auf einfache Weise nachjustiert werden. Das erfaßte Spritzbild kann nach Bedarf vergrößert (z. B. bei hohen Werkstückkanten) oder verkleinert werden. Eine Verlagerung des Spritzbildes seitlich oder in Laufrichtung ist ebenfalls möglich. Zur Standardausführung der Steuerung gehört zusätzlich eine Digitalanzeige für den lackierten Oberflächendurchsatz. Außerdem kann die Anzahl der gespritzten Teile abgelesen werden. Für besondere Anwendungen sind außerdem Spezialeffekte, z. B. Sprenkeln, Intervallspritzen, Wechsel- oder Einweg-Spritzen erzielbar. Alle Spritzanlagen sind standardmäßig auch für den nachträglichen Einbau dieser Steuerung ausgelegt.

5.5 Festkörpernutzungsgrade bei den untersuchten Spritzprozessen

Das IPA ermittelte an den untersuchten Anlagen folgende Festkörpernutzungsgrade (Abb. 5-8):

Anlage	Bauteil	2K-Lacksystem (Klarlacke)	Band-belegungs-faktor	FK-Nutzungs-grad
Ovalläufer				
– Grundierung	Fronten	UV-Lack	hoch	69 %
– Decklack	Fronten	UV-Lack	hoch	69 %
– Grundierung	Rahmenteile	UV-Lack	niedrig	20 %
– Decklack	Rahmenteile	UV-Lack	niedrig	20 %
Schlittenläufer				
– Decklack	Fronten	PUR-Lack	hoch	43 %
Leistenautomat[25]				
– Grundierung	Leisten	PUR-Lack	hoch[26]	34 %
– Decklack	Leisten	PUR-Lack	hoch[27]	34 %

Abb. 5-8: Festkörpernutzungsgrade bei verschiedenen Anlagen, Bauteilen und Lacksystemen

[25] Bei diesen Festkörpernutzungsgraden ist die Lackrückgewinnung bei großen Chargen nicht berücksichtigt.
[26] Rückgewinnung mit Trichter nicht eingeschlossen
[27] Rückgewinnung mit Trichter nicht eingeschlossen

6 Bilanzierung der Stoffströme

Die Bilanzierung der Einsatzstoffe und ihre Verteilung auf Produkte und Reststoffe (Abfall, Abluft, Abwasser) dient dazu, einen Überblick über die Stoffflüsse eines Betriebes oder eines Betriebsteils zu geben, und den Verbleib der Einsatzstoffe transparent zu machen.

Im vorliegenden Fall wird die Lackiererei des untersuchten Küchenmöbelherstellers als Bilanzraum gewählt. Die Stoffströme der drei wichtigsten Beschichtungsanlagen sind in den Abb. 6-1 bis Abb. 6-3 im Überblick dargestellt. In den Tabellen (Abb. 6-4 und Abb. 6-5) sind die Einsatzstoffe und Abfälle/Reststoffe für den Bilanzzeitraum 1989 aufgeführt. Erläuterungen zu den Tabellen sind beigefügt. In der Abb. 6-4 sind neben den Einsatzstoffen und deren Jahresverbrauch die Abfälle/Reststoffe angegeben, auf die sich der Einsatzstoff oder seine Bestandteile verteilen. Sofern möglich, sind diese Anteile quantifiziert.

In der Abb. 6-5 sind alle entstehenden Abfall-/Reststoffgruppen und die verursachenden Einsatzstoffe aufgeführt. Bei den festen und flüssigen Abfällen/Reststoffen wird zur Bezeichnung auf die Nomenklatur des Abfallartenkatalogs der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA; Stand 1991) zurückgegriffen sowie die entsprechende Codierung (Abfallschlüssel) und die anfallende Menge angegeben. Für alle Abfälle/Reststoffe ist der derzeitige Verbleib bzw. Entsorgungsweg angegeben. Bei festen und flüssigen Abfällen, die in der AbfBestV genannt sind (besonders überwachungsbedürftige Reststoffe/Abfälle), wird in Klammern der in der TA Abfall vorgeschriebene Entsorgungsweg genannt. Weiter sind in der Tabelle Angaben über die Herkunft bzw. Zusammensetzung der Abfall-/Reststoffströme gemacht.

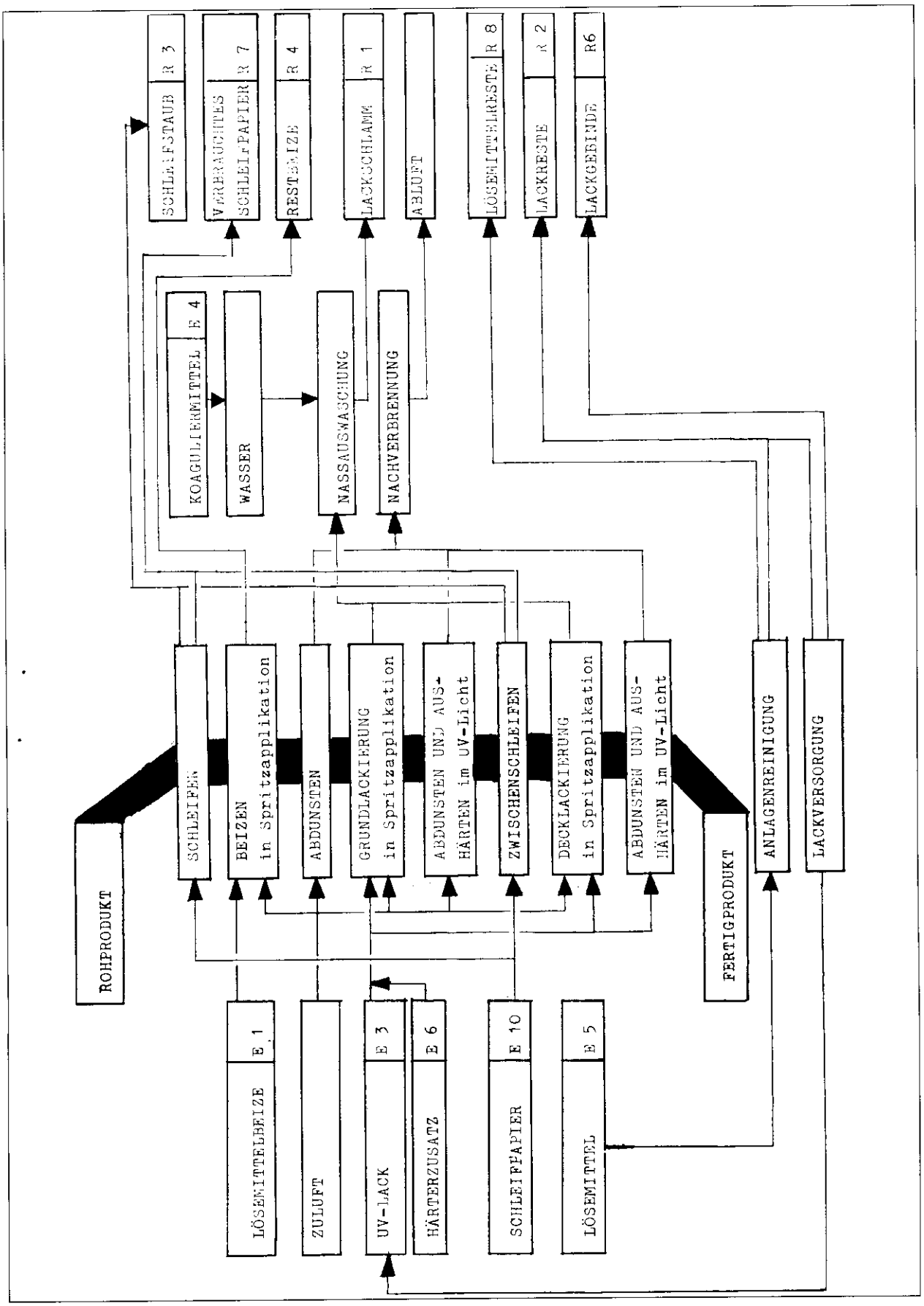


Abb. 6-1: Schematischer Überblick über die Stoffströme beim Beizen und offenporigen Klarlackbeschichten von Massivholzfronten[28]

[28] Quelle: Ministerium für Umwelt, Baden-Württemberg

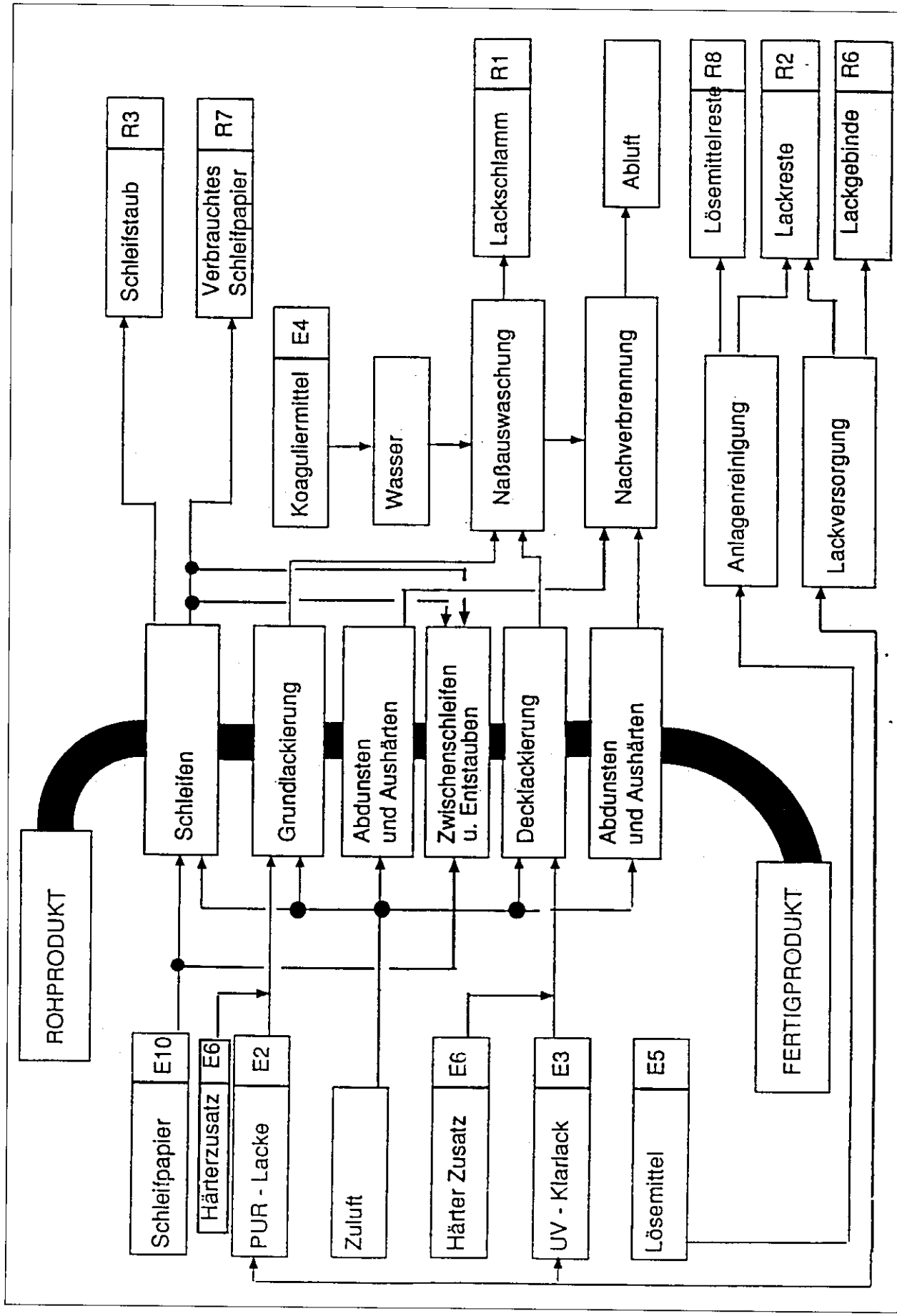


Abb. 6-2: Schematischer Überblick über die Stoffströme beim offenporigen Beschichten mit pigmentierter/farbiger Grundierung und klarer Decklackierung

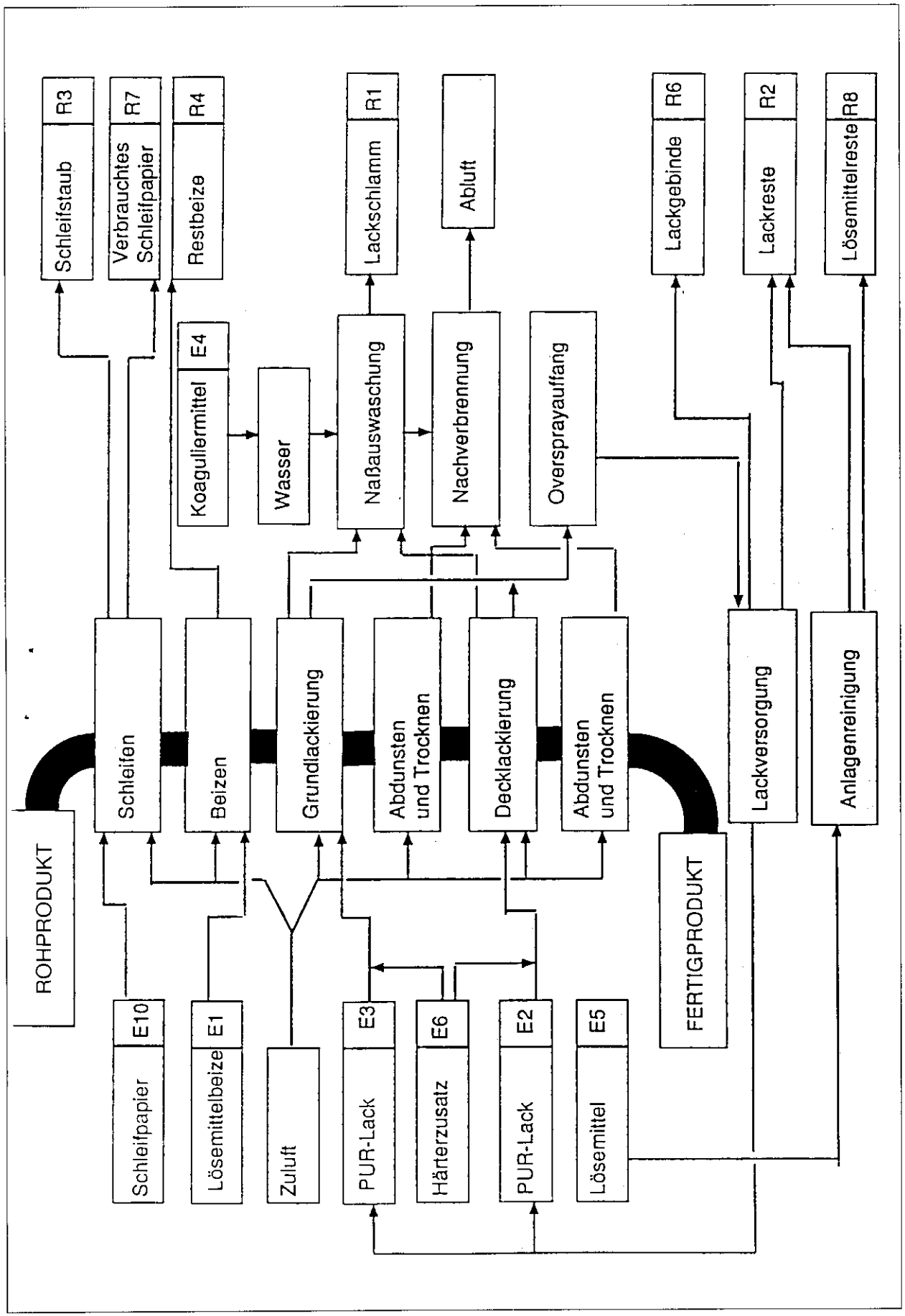


Abb. 6-3: Schematischer Überblick über die Stoffströme beim Beizen und offenporigen Klarlackbeschichten von Profilleisten mit optimalem Beizauftrag

Abb. 6-4: Einsatzstoffe und deren Verbleib im untersuchten Unternehmen

Einsatz-stoff-gruppe	Bezeichnung	Menge/ Jahr	entstehende Reststoffe/ Produkte	Menge/ Jahr	Produkt-/ Reststoff-gruppe
E1	Lösemittelbeize	62 t	– Restbeize	0 t	R4
			– Behälter für Beize	(in R6!)	R5
E2	2K-PUR-Lacke	388 t	– applizierter Lackfilm	–	–
			– Lackschlamm (naß)	200 t	R1
E3	UV-Lacke	270 t	– Lackreste (nicht verspritzt)	9,6 t	R2
			– Lösemittelreste (nicht verspritzt)	n. b.	R8
E4	Koaguliermittel	20 t	– Lackgebinde	40 t	R6
E5	Lösemittel	n. b.	– Lösemittelreste (nicht verspritzt)	n. b.	R8
E6	Härter	n. b.	– im Lackschlamm enthalten	(in R1!)	R1
E7–E9	Holzmaterial	1,1 Mio. Stück	– lackierte Produkte	1,1 Mio. Stück	P1, P2, P3, P4, P5
E10	Schleifpapier	n. b.	– verbrauchtes Schleifpapier	200 000 Stück	R7
			– Schleifstaub	6,6 m^3	R3
E11	Glasfiltermatten	n. b.	– verschmutzte Filtermatten	n. b.	R9
E12	Kleinteile	2 Mio. Stück	– lackierte Produkte	2 Mio. Stück	P3

Einsatzstoffe – Erläuterungen zu Abb. 6-4

E1: **Lösemittelbeize:** Im untersuchten Unternehmen werden 62,3 t/a an Beizen mit einem Festkörper (FK)-Gehalt von ca. 2 % eingesetzt.

E2–E3: **Lacke:** Bei den eingesetzten Lacksystemen handelt es sich um 2K-PUR-Lacke (E2), von denen im Untersuchungszeitraum 387,6 t/a mit einem FK-Gehalt von ca. 40 % verbraucht werden, sowie um UV-Lacke (E3) mit einem jährlichen Verbrauch von 269,5 t bei einem FK-Gehalt von ca. 25 %.

E4: **Koaguliermittel:** Der Bedarf an Koaguliermittel zur Koagulation von Lacken in den Kabinenauswaschungen betrug 1990 ca. 19,8 t.

E5: **Lösemittel:** Im untersuchten Unternehmen werden Lösemittel zur Reinigung von Anlagen und Spritzpistolen eingesetzt. Der Verbrauch ist nicht bekannt.

E6: **Härter:** Härter wird den PUR-Lacken als 2. Komponente zugegeben. Der Verbrauch ist nicht bekannt.

E7–E9: **Holzmaterial:** Es werden Werkstücke aus Massivholz (E7), sowie Spanplatten (E8) und MDF-Platten (E9) lackiert. Der Gesamtverbrauch wurde mit ca. 1,1 Mio. Stück angegeben.

E10: **Schleifpapier:** Vor der Oberflächenbehandlung wird das Holzmaterial geschliffen, um Unebenheiten und Verschmutzungen zu beseitigen. Desweiteren wird nach der Grundierung ein Zwischenschliff ausgeführt. Der Verbrauch ist nicht bekannt.

E11: **Glasfiltermatten:** Die Filtermatten werden zur Trockenabscheidung des Lackoversprays eingesetzt. Der Verbrauch ist nicht bekannt.

E12: **Kleinteile:** Bei den Kleinteilen handelt es sich um Kunststoff- oder Holzwerkstücke, z. B. Beschläge, Türgriffe, Knöpfe. Die Zahl der beschichteten Kleinteile wurde mit ca. 2 Mio. Stück angegeben.

Abb. 6-5: Übersicht über anfallende Reststoffe in der Holzlackiererei

Rest-stoff-gruppe	Bezeichnung des Reststoffes	Abfall-schlüssel nach LAGA	Menge/ Jahr	Entsorgungs-weg	Zusammensetzung	Einsatz-stoffgruppe
R1	Lackschlamm	55503	200 t (1989) 160 t (1990)	SAD (SAV)	Wasser, Harz, Lösemittel, Pigment, Zinkstearat, Koagulier-mittel	E2, E3, E4
R2	Lackreste (nicht verspritzt)	55512	9,6 t	SAV	Pigmente, Lackfestkörper, Lösemittel	E2, E3
R8	Lösemittelreste (nicht verspritzt)	55220 55370	n. b.	SAV	Pigmente, Lackfestkörper, Lösemittel	E5
R4	Restbeize	52102 52402	0 t	SAV	Lösemittel u. a.	E1
R5	Behälter für Beize	35106 35327	in R6 enthalten	SAV	Blech u. a.	E1
R3	Schleifstaub (naß)	35321	6,6 m^3	HMD (SAD)	Harz, Lösemittel (halogenfrei), Pigment, Zinkstearat	P1, P2, P3, P4, P5, E7, E8, E9, E10
R7	Verbrauchtes Schleifpapier		200 000 Stück	–	Schleifpapier, Lackreste	E10
R6	Lackgebinde	35106 35327	40 t	SAV	Kunststoff, Metall, Stoffreste	E2, E3
R9	verschmutzte Filtermatten	55511 55510	n. b.	HMD SAV	Lackoverspray	E2, E3, E11

Der untersuchte Betrieb hat durch gezielte Maßnahmen, z. B. verbesserte Bandbelegung und Einhaltung der Prozeßdaten, trotz höherer Werkstückdurchsätze die Lackkoagulat-Menge im Jahr 1990 von 200 t auf 160 t gegenüber dem Vorjahr reduzieren können.

Der Wasseranteil in den Lackschlämmen wurde in Anlehnung an die Bestimmung des Festkörpergehalts in Lacken ermittelt. Dazu wurden Proben aus den gelochten Auffangkörben der Austragvorrichtung entnommen, die nach 1-tägiger Lufttrocknung für die Entsorgung bereitstanden. Nach etwa 4-tägiger Trocknung im Exsikkator wurde ein Wasseranteil von ca. 50 % in der zu entsorgenden Reststoffmenge bestimmt. Es ist also davon auszugehen, daß im betrachteten Unternehmen 80–100 t Lackkoagulat (Lackfestkörper und Koaguliermittel ohne Wasseranteil) anfallen.

Teil C – Betriebsbezogene Konzepte zur Vermeidung und Verwertung von Abfällen/Reststoffen

7 Bereits durchgeführte Maßnahmen zur Vermeidung und Verwertung von Abfällen/Reststoffen

7.1 Umweltstrategie des untersuchten Unternehmens

Der untersuchte Betrieb hat eine neue Vorgehensweise für eine abfall- und emissionsarme Fertigung konzipiert („Umweltstrategie"). Die bei der Untersuchung erarbeiteten Anregungen wurden bereits in die neue Umweltstrategie aufgenommen und sollen realisiert werden. Derzeit laufen bereits Untersuchungen für den Einsatz von UV-härtenden Wasserlacken. Das untersuchte Unternehmen sucht darüber hinaus branchenübergreifende Möglichkeiten der Zusammenarbeit, um die anstehenden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten möglichst kurzfristig und effektiv bearbeiten zu können.

Folgende Maßnahmen zur Vermeidung und Verwertung von Abfällen/Reststoffen aus der Lakkiererei wurden bereits mit Erfolg umgesetzt:

7.2 Vermeidung von Overspray (E2 bis E4 → R1)

7.2.1 Bandbelegungsfaktor mit Werkstücken

Um einen hohen Festkörpernutzungsgrad zu erreichen, ist ein maximaler Belegungsfaktor bei den Förderbändern der Lackieranlagen besonders wichtig. Dieser Grundsatz der dichten Bandbelegung mit Werkstücken wird beim untersuchten Betrieb eingehalten.

Bei der IST-Zustandsaufnahme wurde z. B. festgestellt, daß bei einer Bandbelegung mit Fronten ein Festkörpernutzungsgrad von 69 % und bei Rahmenteilen von nur 20 % erreicht wurde. Die beiden Messungen wurden an der gleichen Anlage und dem Einsatz der gleichen Lacksysteme vorgenommen. Die Unterschiede ergaben sich durch

- die unzureichende Belegung des Förderbandes und
- die Werkstückform (z. B. Rahmen).

Im betrachteten Unternehmen wird aufgrund der erkannten Problematik jetzt besonders Wert auf eine optimale Belegung der Bänder mit Werkstücken gelegt. Zur Auslegung der Innenbereiche der Rahmen mit kleineren Werkstücken sind noch Optimierungsversuche, u.a. bzgl. der Spritzpistolensteuerung, durchzuführen (siehe auch Kap. 8).

In Abb. 7-1 sind die Beschichtungskosten in Abhängigkeit vom Belegungsfaktor des Förderbandes sowie dem Festkörpernutzungsgrad pro Anlagendurchlauf und m^2 beschichteter Oberfläche für Ovalläufer mit Spritzpistolensteuerung durch Werkstückerkennung dargestellt. Es zeigt sich, daß sich die Beschichtungskosten bei verbesserter Ausnutzung der Belegungsfläche in Verbindung mit einer Erhöhung des Festkörpernutzungsgrades deutlich reduzieren lassen. Diese Kostenreduzierung ist insbesondere durch eine wesentlich verbesserte Anlagenausnutzung sowie geringere Lohnkosten bedingt.

Zu unterscheiden ist dabei zwischen der unzureichenden Bandbelegung auf Grund

- der mangelhaften Bestückung durch den Werker und
- der Werkstückgeometrie, z. B. bei Rahmen.

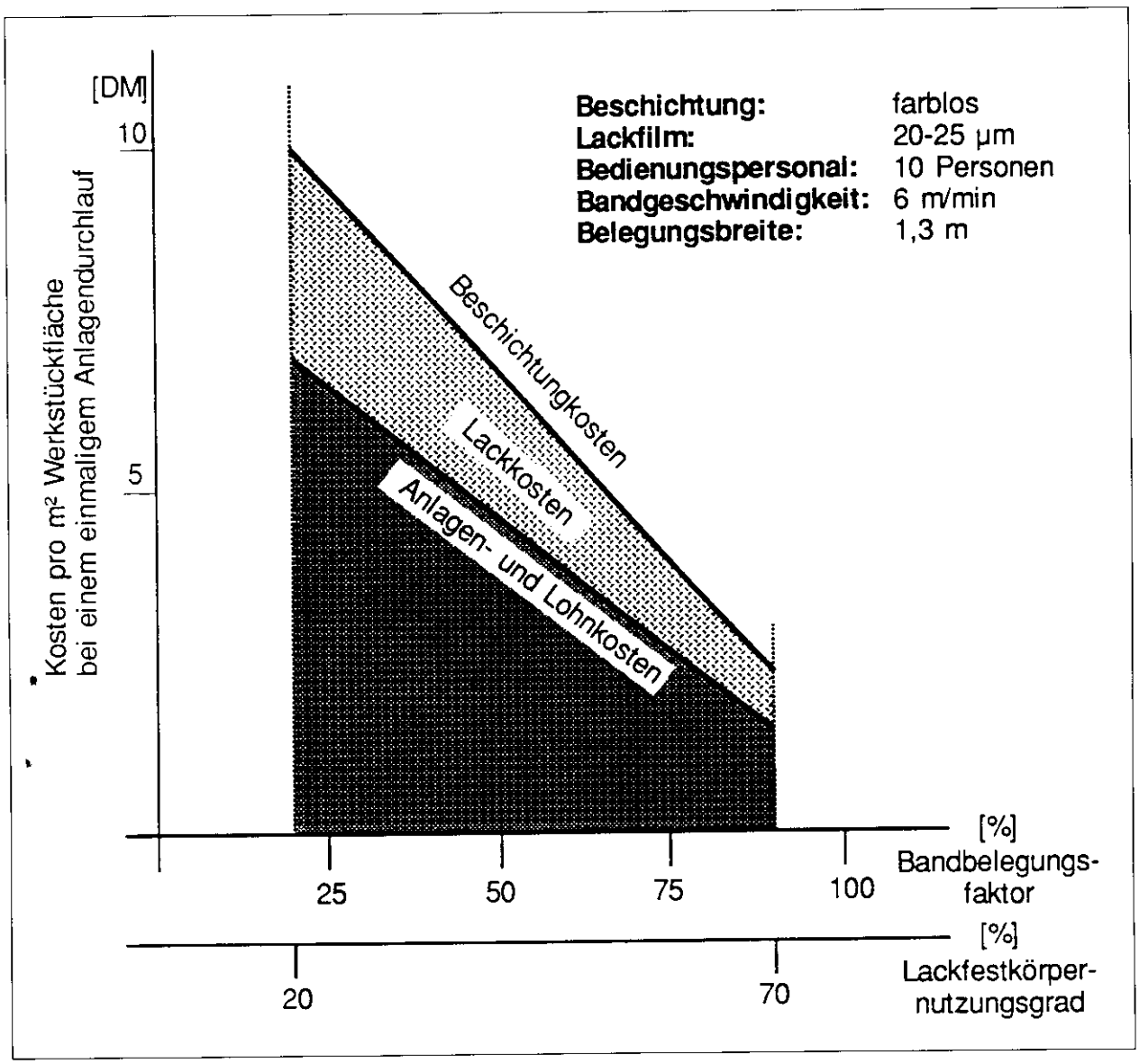


Abb. 7-1: Beschichtungskosten in Abhängigkeit vom Belegungsfaktor des Förderbandes sowie dem Festkörpernutzungsgrad pro Anlagendurchlauf und m^2 beschichteter Oberfläche

7.2.2 Leistenautomat mit Prallblechen

Zur Reduzierung der Overspraymengen sind an dem eingesetzten Leistenautomat Prallbleche angebracht, die 70 bis 80 % des Oversprays der verarbeiteten lösemittelhaltigen Polyurethanlacke auffangen. Hierzu sind unterhalb des Förderbandes Auffangtrichter installiert, die mit Folien ausgelegt sind, so daß der Naßlack in einen Sammelbehälter ablaufen kann. Durch Antrocknung z. B. an den Folien oder Verschmutzung gehen ca. 10 bis 20 % des aufgefangenen Lackes verloren; der restliche (noch spritzfähige) Lack wird aus dem Sammelbehälter gepumpt und den Gebinden wieder zugeleitet. Die aufgefangenen Lacke werden umgehend wieder eingesetzt, so daß die Rückgewinnungsrate beim Einsatz von Prallblechen bei ca. 50 bis 60 % liegt. Diese Vorgehensweise wird derzeit insbesondere bei großen Werkstück-Chargen ohne Farbwechsel praktiziert.

7.2.3 Walzen und Gießen von Flachteilen

Alle nicht profilierten Teile werden im untersuchten Betrieb durch Walzen und Gießen mit hohen Festkörpernutzungsgraden (90 bis 95 %) beschichtet.

Zur Erzielung von Spezialeffekten durch Farbtonunterschiede der lackierten Oberflächen wird z. T. auch bei profilierten Frontteilen ein spezieller Walzauftrag durchgeführt, nachdem die Randbereiche zuvor spritzlackiert wurden. Dadurch kommt es, in Abhängigkeit von den Abmessungen der lackierten Oberfläche, zu Overspray-Einsparungen von bis zu 20 bis 30 % gegenüber einer reinen Spritzlackierung. Mit dieser Maßnahme können auch die beim alleinigen Spritzauftrag notwendigen Abdeckarbeiten entfallen. Bei den eingesetzten Lackarten handelt es sich z. B. um weiß pigmentierte lösemittelhaltige 2K-PUR-Lacke.

7.3 Einsatz von UV-härtenden Klarlackmaterialien auf Lösemittelbasis (E2 bis E4 → R1)

In dem betrachteten Unternehmen werden bereits UV-härtende Klarlacksysteme auf Lösemittelbasis mit verlängerten Topfzeiten für Grundierung und Decklack eingesetzt. Durch die längere Verarbeitungszeit und damit bessere Wiederverwertbarkeit wird die anfallende Restlackmenge reduziert, die bisher jedoch noch nicht erfaßt wurde.

Der Einsatz der UV-härtenden Lacksysteme wird dadurch eingegrenzt, daß diese aus Gründen des Arbeitsschutzes nur in automatischen Lackieranlagen zu verarbeiten sind. Die reaktiven Verdünnungen führen zu Hautverätzungen, so daß jeder Hautkontakt auszuschließen ist.

7.4 Aufbereitung von Altlösemitteln und Reinigungsverdünnungen (E1 → R8)

Die Aufbereitung aller verschmutzten Lösemittel erfolgt im untersuchten Betrieb über Destillationsverfahren, welche derzeit überwiegend von externen Lohnbetrieben übernommen werden.

Verunreinigte Lösemittel werden im betrachteten Unternehmen somit grundsätzlich wiederverwertet. Wenn ihr Einsatz als Lackverdünnung aus qualitativen Gründen Probleme bereitet, ist die Wiederverwendung als Reinigungsverdünnung jederzeit gegeben.

7.5 Lackschlammtrocknung (E2 bis E4 → R1)

Nach dem Austrag aus der Naßauswaschung wird der Lackschlamm in Siebkörben bei Raumtemperatur getrocknet. Mit dieser einfachen Maßnahme kann der Wasseranteil im Lackschlamm von 70 % auf ca. 50 % und damit das Lackschlammvolumen insgesamt um ca. 40 % reduziert werden.

8 Konzepte zur Vermeidung und Verwertung weiterer Abfall-/Reststoffarten

Im folgenden werden weitere Vermeidungs- und Verwertungsmöglichkeiten vorgeschlagen. Abfälle/Reststoffe, die nur in geringfügigen Mengen anfallen oder für die derzeit keine Vermeidungs- oder Verwertungsmöglichkeiten bekannt sind, werden nicht betrachtet, z. B.:

- R3: Schleifstäube

- R7: verbrauchtes Schleifmittel

8.1 Vermeidung von Overspray (R1)

8.1.1 Trommeln von Kleinteilen

Im untersuchten Unternehmen sollen Kleinteile (Griffe, Knöpfe) zukünftig in Trommeln mit hohem Festkörpernutzungsgrad beschichtet werden. Als einzusetzende Lackarten kommen spezielle, schnell trocknende Lacke in Frage.

8.1.2 Beschichtung der Rückseiten von profilierten Werkstücken

In Kap. 7 wurde bereits beschrieben, daß die Beschichtungsprozesse in dem untersuchten Unternehmen weitgehend auf abfallarme Lackierverfahren umgestellt wurden, soweit dies unter den produktspezifischen Gegebenheiten realisierbar erschien.

Als weitere Verbesserungsmaßnahme werden vorgeschlagen, die derzeit noch im Spritzauftrag lackierten Rückseiten von profilierten Werkstücken durch Walz- oder Gießverfahren zu ersetzen. Diese Umstellung verursacht zwar einen erhöhten Aufwand bei der Organisation des Materialflusses, ergibt jedoch bei der hohen Zahl zu beschichtender profilierter Werkstücke eine erhebliche Reduzierung der zu entsorgenden Lackschlamm-Mengen.

Im untersuchten Unternehmen könnten durch diese Maßnahme ca. 10 bis 15 % Lackschlamm eingespart werden.

8.1.3 Spritzpistolenanordnung und -bewegung

Bei der IST-Zustandsaufnahme wurde festgestellt, daß der Schlittenläufer gegenüber den Ovalläufern einen wesentlich geringeren Festkörpernutzungsgrad bei ähnlichen Werkstückbelegungen der Förderbänder erreicht.

Der Schlittenläufer sollte durch Beschichtungsversuche mit alternativen Pistolenanordnungen und -einstellungen hinsichtlich vergleichbarer Festkörpernutzungsgrade wie beim Spritzen mit dem Ovalläufer optimiert werden.

8.1.4 Bandbelegungsfaktor mit Werkstücken

Unabhängig von den derzeitigen Bemühungen zur Verbesserung der Förderbandbelegung sollte ein grundsätzliches Optimierungsprogramm für die Bandbelegung mit Werkstücken in Verbindung mit dem Festkörpernutzungsgrad erarbeitet werden. Insbesondere ist dabei auf eine Abstimmung bezüglich der Teileanlieferung (Logistik) mit der bisherigen komissionsgebundenen Beschichtung zu achten.

8.1.5 Rückgewinnung vom Lackoverspray bei speziellen Transportbändern

In Kapitel 4.1.3.1 wurde ein Rückgewinnungsverfahren bereits vorgestellt, bei dem die Werkstücke während des Spritzauftrags auf einem geschlossen flächigen Gurtförderband liegen, das den Lackoverspray zu großen Anteilen auffängt. Das auf dem Förderband angesammelte Lackoverspray kann nach der Beschichtungszone entfernt und in einem Behälter aufgefangen werden. Anschließend durchläuft das Band mit geringeren Restlackbestandteilen einen Lösemittelbehälter zur vollständigen Reinigung. Nach einer Trockenstrecke läuft das Endlosband wieder in den Beschichtungsbereich.

Wird die Overspraymenge nachfolgend zu 100 % gesetzt, so lassen sich durch eine Rückgewinnung mit speziellen Transportbändern 85 bis 90 % des Oversprays wiederverwerten.

8.1.6 Einführung von UV-härtenden Lackmaterialien

Es wird empfohlen, zunächst bei den eingesetzten UV-härtenden, lösemittelhaltigen Klarlacken nach den bereits realisierten verlängerten Topfzeiten zukünftig ganz auf die Härterzusätze zu verzichten. Dadurch können die Lackoverspray-Verluste nicht ausreagieren und mit geeigneten Maßnahmen zurückgewonnen werden. Durch den Einsatz von Auffangvorrichtungen wäre es z. B. möglich, die Lackoversprayanteile zu sammeln und dem Lackierprozeß direkt wieder zuzuführen.

Bei einem Verzicht auf die Härterzusätze sollte die UV-Strahlertechnik hinsichtlich der produktionsspezifischen Gegebenheiten optimiert werden, um sicherzustellen, daß die Beschichtungen vollkommen aushärten. Dabei sind geräte- und verfahrenstechnische Parameter, wie Anzahl und Ausrichtung der Strahler, Wellenlänge des UV-Lichts, etc. zu beachten.

Als weiterer, zukünftiger Schritt ist der Einsatz von wasserlöslichen, UV-härtenden Beschichtungsmaterialien in Versuchsreihen zu überprüfen und die Realisierung zu beurteilen. Endziel ist die Einführung von wasserlöslichen Beizen sowie von Grund- und Decklacken, wobei die Lacksysteme vollständig auf UV-härtende Basis umzustellen sind.

Die Hauptprobleme beim Einsatz von wässrigen Beizen und Grundierungen entstehen durch zu starke Anquellungen der Holzporen, wobei sich durch den Benetzungsprozeß teilweise Holzfasern aufrichten. Bei Flachteilen ist es nach der Grundierung und vor dem Decklackauftrag möglich, durch einen intensiven Schliff die aufgestellten Holzfasern abzuschleifen. Bei profilierten Werkstücken besteht dagegen das Problem, daß beim Schleifprozeß auf grundierten Werkstücken die vorstehenden Kanten bis auf den Holzuntergrund durchgeschliffen werden. Derartige Fehler sind nicht mehr reparabel.

Um die Porenanquellung beim Einsatz von wässrigen Beizen und Lacken auf ein tolerierbares Maß zu reduzieren, ist das sogenannte „Vorwässern" der Holzoberflächen vor der Beschichtung zu überprüfen. Bei diesem Verfahren wird die Holzoberfläche wie bisher geschliffen und anschließend mit erwärmtem Wasser besprüht, damit sich die später störenden Holzfasern aufrichten. Wenn die gewässerten Holzoberflächen vollkommen getrocknet sind, werden diese in Faserrichtung mit einer feineren Körnung intensiv nachgeschliffen.

Erst wenn die Wirksamkeit des Vorwässerns in Versuchsreihen einwandfrei geklärt ist, kann über den Einsatz von wasserlöslichen Beizen entschieden werden. Bis zu diesem Zeitpunkt ist der Einsatz von lösemittelhaltigen Beizen erforderlich, wobei als Alternative auch die Anwendung von lösemittelhaltigen Beizen mit Lackbindemittelanteilen denkbar ist, um eine Faserbindung vor dem Auftrag von wäßrigen Grundierungen zu erzielen. In Versuchsreihen sind lösemittelhaltige Beizen mit Lackbindemitteln, besonders unter Berücksichtigung unterschiedlicher Farbtöne, zu prüfen. Vor allem bei dunklen Farbtönen ist auf Grund der erforderlichen Eindringtiefe und Materialmenge mit Problemen zu rechnen.

Als erster Schritt zur Einführung wasserlöslicher, UV-härtender Lacke bietet sich der Auftrag eines UV-härtenden, wasserlöslichen Klarlacks auf konventionellen, pigmentierten Grundierungen an. Der Einsatz pigmentierter, UV-härtender Wasserlacke erfordert noch Grundsatzuntersuchungen:

Spezielle, pigmentierte UV-härtende Lacke werden bereits mit einem begrenzten Naßschichtauftrag von 150 bis 160 g/m^2 und Strahlerwellenlängen von 410 bis 420 nm verarbeitet. Es sind aber keine allgemein übertragbaren Aussagen auf andere Lacksysteme möglich, da die verschiedenen Lackpigmente und damit Farbtöne unterschiedliche Remissionsverhalten gegenüber der UV-Strahlung aufweisen.

Bei den spezifischen Farbtönen des untersuchten Betriebs müssen deshalb folgende Fragen vorab beantworten werden:

- Sind geeignete Pigmente für alle benötigten Farbtöne, die die Herstellung von UV-härtenden Lacken ermöglichen verfügbar?
- Ist mit einem Lackauftrag eine ausreichende und deckfähige Schichtdicke erreichbar?
- Besitzen die UV-härtenden Lacke eine für das Anforderungsspektrum ausreichende Lichtbeständigkeit?
- Besitzen die Klarlacke eine für die Überlackierung der pigmentierten Grundierung ausreichende Lichtbeständigkeit?

Nach der Klärung dieser spezifischen Fragen können die verarbeitungstechnischen Probleme erfaßt und mit aussagefähigen Versuchsreihen überprüft werden.

Allgemein ist es beim Einsatz von wasserlöslichen Lacksystemen erforderlich, daß die Lackieranlagen ausreichende Trockenstrecken für die Abdunstung der Wasseranteile des Lackes besitzen, z. B. mit Hilfe von Turmtrocknern bzw. Verlängerung der Trocknerzone.

Bei UV-härtenden Wasserlacksystemen ergeben sich darüber hinaus neben dem Vorteil des stark eingeschränkten Lösemitteleinsatzes theoretische Ansatzpunkte, das Lackoverspray mittels Ultrafiltration aus den Spritzkabinenwässern zurückzugewinnen.

Bei der Ultrafiltrationstechnik für Wasserlacke handelt es sich um eine für die gesamte Holzindustrie richtungsweisende Verfahrenstechnologie, die eine nahezu abfallfreie Spritzlackierung ermöglicht. Deshalb sollten die notwendigen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten möglichst unternehmensübergreifend realisiert werden.

Es wird empfohlen, in Zusammenarbeit mit geeigneten Lacklieferanten die erforderlichen Aktivitäten durchzuführen.

Bis zur Einführung UV-härtender Wasserlacke, die auch ultrafiltrierbar sind, sollte das untersuchte Unternehmen zunächst Lackauffangvorrichtungen für das Wasserlack-Overspray in den Spritzautomatenzonen einsetzen.

Eine Zusammenfassung der Verbesserungsalternativen zur Oversprayvermeidung für profilierte Holzteile ist in Abb. 8-1 dargestellt.

Verfahrensablauf \ Verbesserungsalternativen		IST-Zustand			Stufe 1				Stufe 2		
		Verfahrensstufen	Lösemittelbeize	2K- und UV-2K Lackkomb. Lösemittelbasis	Verfahrensstufen	Lösemittelbeize	UV-Lösemittellack	UV-Wasserlack	Verfahrensstufen	Wasserbeize	UV-Wasserlack
Holzfertigung	Schleifen	●			●				●		
	Entstauben	●			●				●		
	Wässern								?		
	Trocknen								?		
	Feinschliff								?		
Lackierstraße mit automat. Lackauftrag	Beizen	● →	●		● →	●			● →	?	
	Trocknen	●			●				●		
	Grundieren	● →		●	● →		●○		● →		●⊠
	Abdunsten	●			●				●		
	Trocknen bzw.	●			●				●		
	UV-Härtung	●			●				●		
	Schleifen	●			●				●		
	Entstauben	●			●				●		
	Decklackieren	● →		●	● →			●⊠	● →		●⊠
	Abdunsten	●			●				●		
	Trocknen bzw.	●			●				●		
	UV-Härtung	●			●				●		

Verbesserungsalternativen für profilierte Werkstücke

○ Lackrückgewinnung mit Auffangblechen
⊠ Lackrückgewinnung mit Auffangblechen oder eventuell mit Ultrafiltration
? bisher keine Lösung vorhanden
● notwendiger Verfahrensschritt

Abb. 8-1: Verbesserungsalternativen für profilierte Werkstücke

8.2 Vermeidung und Verwertung von Abfällen- / Reststoffen

8.2.1 Lackreste (R2)

Besonders bei Zweikomponentenlacken ist es unvermeidlich, daß teilweise ausreagierte Altlacke anfallen. Lackreste aus Einkomponentenlacken können häufig verwertet werden. Restposten von speziellen Farbtönen sollten in neue Lackchargen eingearbeitet werden. Hierbei ist es erforderlich, daß die Lackreste nach Farbtönen sortiert an den Lacklieferanten zurückgegeben werden, damit eine Umtönung für Lackchargen in ähnliche Farbtöne möglich ist.

Im untersuchten Betrieb werden die Lackreste zum Untersuchungszeitpunkt durch ein externes Unternehmen entsorgt und auf einer Sonderabfalldeponie (SAD) gelagert.

Im allgemeinen ist bei Lackresten in Gebinden (ohne Härterzugaben) das Verfalldatum zu beachten. Vor Erreichen des Verfalldatums ist mit den Lacklieferanten zu klären, wie eine anteilige Zugabe der Altlacke bei Lackneuchargen möglich ist.

8.2.2 Gebinde-Abfallreduzierung (R5, R6)

Beim betrachteten Unternehmen enthalten die leeren Gebinde nicht ausreagierte Lackreste. Somit bestehen zukünftig Probleme bei den Verwertungsmöglichkeiten, z. B. der Schrottverwertung.

Das Unternehmen sollte deshalb so weit als möglich Mehrweggebinde (Container) einsetzen, die von den Lacklieferanten vor der Wiederbefüllung gereinigt werden. Dies gilt auch für kleinere Lackchargen.

Nicht mehr verwendungsfähige Gebinde sind vor der Entsorgung zu entleeren, mit Lösemitteln auszuspülen und zu Schrottpaketen zu pressen. Es sollte geprüft werden, ob diese Arbeiten von einer speziell eingerichteten Abfallverwertungsfirma ausgeführt werden können.

8.2.3 Thermische Lackschlammtrocknung (R1)

Bei dem derzeit angewandten Trocknungsverfahren für die Lackschlämme enthalten diese noch einen Wasseranteil von ca. 50 %, der mit entsorgt wird. Hier sollten die Anwendungsmöglichkeiten der bekannten Ansatzpunkte, über den Wasseraustrag aus dem Lackschlamm zu einer wesentlichen Reduzierung des Entsorgungsvolumens zu kommen, untersucht werden.

Verfahrenstechnisch könnte diese Aufgabe z. B. durch eine Beheizung des Lackschlammes gelöst werden. Die notwendige Temperaturerhöhung könnte über Wärmerohre in den Lackschlammbehältern erfolgen.

Um zu einer energetisch sinnvollen Lösung zu gelangen, ist zu untersuchen, inwieweit Wärmequellen, z. B. die Abwärme aus der Umluft der Trockner, im Hause verfügbar sind und genutzt werden können.

Durch thermische Lackschlammtrocknung sollte der Wasseranteil auf ca. 10 % reduziert werden. Dieser Restanteil ist notwendig, um den Lackschlamm pumpfähig zu halten.

8.3 Abschätzung des wirtschaftlichen Umstellungsaufwandes

Bei der untersuchten Firma betrugen die Kosten für Lackoversprayverlust zuzüglich der Entsorgungskosten im Jahr 1989 etwa 2 Mio. DM. Nach neuesten Informationen konnte das Unternehmen im Jahr 1990 durch gezielte Maßnahmen, z. B. verbesserte Bandbelegung und Einhaltung der Prozeßdaten, trotz höherer Durchsätze an Werkstücken die Lackschlämme von 200 auf 160 t reduzieren. Somit betragen die Kosten für Lackmaterialverluste und Entsorgung derzeit ca. 1,6 Mio. DM/Jahr.

Durch Einführung der kurzfristig umsetzbaren Maßnahmen wie beispielsweise:

- Trommeln von Kleinstteilen,
- Ausrüstung der Spritzkabinen mit Auffangwannen,
- Rückseitenbeschichtung durch Gießen oder Walzen,
- usw.,

liegt das Einsparungspotential hinsichtlich der Lackschlämme im untersuchten Unternehmen bei 25 bis 30 % (entspricht 40 bis 60 t/a). Nach Einführung der Ultrafiltration in Verbindung mit Wasserlacken wäre die Lackiererei bezüglich Lackschlämmen nahezu reststofffrei.