Ultrafiltrations-Technologie zur Rückgewinnung von Wasserlack-Overspray

Projektbericht

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

Projektträger
W.L. Schwaab GmbH & Co.
Werner-Siemens-Str. 1
D-76356 Weingarten

Projektbegleiter
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik
und Automatisierung (IPA)
Nobelstr. 12
D-70569 Stuttgart

März 1996

Erarbeitung:
Dipl.-Ing. D. Ondratschek,
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart

Für die stets kooperative Mitwirkung an diesem Projekt bedankt sich das IPA bei allen Beteiligten des Hauses W.L. Schwaab GmbH & Co. in Weingarten und den Beteiligten der Anwenderfirmen, Fa. Menzolit-Fibron GmbH in Bretten, Fa. Otto Wöhr GmbH in Friolzheim und Fa ZF Friedrichshafen AG, Werk Schwäbisch Gmünd-Schießtal.

Einen besonders herzlichen Dank spricht das IPA gemeinsam mit der ABAG Frau E. Surnowski und den Herren R. Bartscherer, R. Ganser, H. Havran, E. Siegle, F. Sievers und R. Kühfusz aus.

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

Herausgeber:
ABAG-itm GmbH
vormals ABAG-Abfallberatungsagentur
Stauferstr. 15
70736 Fellbach
Tel.: 0711 / 95 19 11 - 0
Fax: 0711 / 95 19 11 - 20
E-Mail: info@abag-itm.de

Projektleitung:
Dipl.-Ing. Thomas Grupp

2. Auflage Mai 1999
1. Auflage März 1996

Gedruckt auf: weiß mattgestrichen Offset chlorfrei gebleicht (Umschlag)

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

Inhaltsverzeichnis

		Seite
Zusammenfassung		9
Allgemeiner Teil:	**Entwicklung ultrafiltrierbarer Wasserlacke und einer Technikumsanlage zum Oversprayrecycling**	11
1	**Stand der Technik**	12
1.1	Stand der Technik zur Rückgewinnung von Wasserlack-Overspray	12
1.2	Weiterentwicklung des Stands der Technik durch das vorliegende Projekt	14
2	**Entwicklung ultrafiltrierbarer Wasserlacke**	15
2.1	Charakterisierung geeigneter Wasserlacksysteme	15
2.2	Entwicklungsablauf für ultrafiltrierbare Wasserlacke	15
3	**Entwicklung einer Technikumsanlage für die Pilotversuche zum Wasserlackoverspray-Recycling**	17
3.1	Kriterien zur Gestaltung einer Spritzlackieranlage mit Ultrafiltrations-Technologie	17
3.2	Beschreibung der Technikumsanlage der Fa. Schwaab	19
Projektteil A:	**Einführung der Ultrafiltrations-Technologie bei der Lackierung von Fahrzeuglenkungen mit lufttrocknenden Wasserlacken (Anwender: ZF Friedrichshafen AG, Schw. Gmünd)**	A 1
1	**Kurzfassung**	A 2
2	**Kurzbeschreibung des Anwenders**	A 3
2.1	Allgemeine Betriebsdaten	A 3
2.2	Produkte	A 3

2.3	Produktionsverfahren in der Lackiererei	A 4
2.4	Entsorgungssituation im Bereich der Lackiererei	A 4
3	**Zustand der Lackiererei**	A 5
3.1	IST-Zustand in der betrachteten Lackiererei vor Projektbeginn	A 5
3.1.1	Verfahrensschritte	A 5
3.1.2	Materialeinsatz	A 8
3.1.3	Abfälle	A 9
3.1.4	Sonstige Emissionen und Umweltbelastungen	A 10
3.1.5	Lackierqualität	A 10
3.2	Geplanter SOLL-Zustand der betrachteten Lackiererei, insbesondere des Spritzlackierbereichs mit Lackoverspray - Rückgewinnung	A 12
3.2.1	Neukonzeption der gesamten Lackieranlage	A 12
3.2.2	Funktionsweise der Anlage zur Lackoverspray - Rückgewinnung	A 15
3.2.3	Änderung der Lackeinsatzmenge	A 15
3.2.4	VVV-Potential der Lackierabfälle	A 16
4	**Durchgeführte Untersuchungen und Ergebnisse**	A 17
4.1	Entwicklung eines lufttrocknenden Wasserlacks in Abstimmung mit der Ultrafiltrationstechnik	A 17
4.2	Erprobung und Optimierung des gesamten Lackrückgewinnungssystems	A 17
5	**Vergleich der realisierten Maßnahmen mit dem IST-Zustand vor Projektbeginn bei der Spritzlackierung**	A 21
6	**Wirtschaftlichkeitsbetrachtung**	A 22
7	**Übertragbarkeit der Projektergebnisse**	A 24

Projektteil B: **Untersuchung der Ultrafiltrations-Technologie bei der Lackierung von Kunststoff-Stoßfängern für Nutzfahrzeuge (Anwender: Menzolit-Fibron GmbH, Bretten)** B 1

1 Kurzfassung B 2

2 Kurzbeschreibung des Anwenders B 3

2.1 Allgemeine Betriebsdaten B 3
2.2 Produkte B 3
2.3 Produktionsverfahren in der Lackiererei B 4
2.4 Entsorgungssituation im Bereich der Lackiererei B 4

3 Zustand der Lackiererei B 5

3.1 IST-Zustand in der betrachteten Lackieanlage I vor Projektbeginn B 5
3.1.1 Verfahrensschritte B 5
3.1.2 Materialeinsatz B 8
3.1.3 Abfälle B 9
3.1.4 Sonstige Emissionen und Umweltbelastungen B 10
3.1.5 Lackierqualität B 10

3.2 Geplanter SOLL-Zustand der betrachteten Lackieranlage I, insbesondere des Spritzlackierbereichs mit Lackoverspray - Rückgewinnung B 11
3.2.1 Vorgehensweise zur Neukonzeption des Spritzlackierbereichs B 11
3.2.2 Funktionsweise der geplanten Anlage zur Lackoverspray - Rückgewinnung B 12
3.2.3 VVV-Potential der Lackierabfälle B 12

4 Durchgeführte Untersuchungen und Ergebnisse B 13

4.1 Entwicklung eines Einbrenn-Wasserlacks für SMC-Kunststoffteile in Abstimmung mit der Ultrafiltrationstechnik B 13
4.2 Erprobung des Einbrenn-Wasserlacks im Praxis-Großversuch und weitere Vorgehensweise B 13

5	**Vergleich der Untersuchungsergebnisse mit dem IST-Zustand vor Projektbeginn**	B 14
6	**Wirtschaftlichkeitsbetrachtung**	B 15
7	**Übertragbarkeit der Projektergebnisse**	B 15
Projektteil C:	**Untersuchung des Wasserlackeinsatzes mit Ultrafiltrations-Technologie im Vergleich zur Pulverbeschichtung bei der Lackierung von Autoparksystemen (Anwender: Otto Wöhr GmbH, Friolzheim)**	C 1
1	**Kurzfassung**	C 2
2	**Kurzbeschreibung des Anwenders**	C 4
2.1	Allgemeine Betriebsdaten	C 4
2.2	Produkte	C 4
2.3	Produktionsverfahren in der Lackiererei	C 5
2.4	Entsorgungssituation im Bereich der Lackiererei	C 5
3	**Zustand der Lackiererei**	C 6
3.1	IST-Zustand in der betrachteten Lackiererei vor Projektbeginn	C 6
3.1.1	Verfahrensschritte	C 6
3.1.2	Materialeinsatz	C 8
3.1.3	Abfälle	C 9
3.1.4	Sonstige Emissionen und Umweltbelastungen	C 9
3.1.5	Lackierqualität	C 10
3.2	Geplanter SOLL-Zustand der betrachteten Lackiererei	C 11
3.2.1	Neukonzeption der gesamten Lackieranlage	C 11
3.2.2	Funktionsweise der Anlagen zur Overspray -Rückgewinnung	C 15
3.2.2.1	Zweischicht-Wasserlackauftrag mit Lackrecycling über die Ultrafiltrationstechnik	C 15
3.2.2.2	Pulverlackbeschichtung	C 15
3.2.3	VVV-Potential der Lackierabfälle	C 15

4	**Durchgeführte Untersuchungen und Ergebnisse**	C 16
4.1	Entwicklung und Erprobung eines geeigneten Wasserlacks in Abstimmung mit der Ultrafiltrationstechnik	C 16
4.2	Erprobung von geeigneten Beschichtungspulvern	C 16
5	**Vergleich der Verfahrensalternativen mit dem IST-Zustand vor Projektbeginn bei Lackauftrag**	C 17
5.1	Stoffströme und Lackierqualität	C 17
5.2	Wirtschaftlichkeit	C 20
6	**Ergebnisse der Untersuchungen / Entscheidung für die Pulverbeschichtung**	C 22
7	**Übertragbarkeit der Projektergebnisse**	C 24

Anhang:

Anhang 1 Übersicht der Systeme zur direkten Rückgewinnung von Lackoverspray

Anhang 2 Praxiseinsatz und Erprobung der direkten Rückgewinnungssysteme von Wasserlack-Overspray

Anhang 3 Ansatzpunkte zur betriebsinternen Vermeidung und Verminderung von Lackschlämmen

Abbildungsverzeichnis

Allgemeiner Teil:

Abbildung 1:	Einbindung der Ultrafiltrationstechnik in den Spritzbereich einer Lackieranlage	12
Abbildung 2:	Anwenderspezifische Lackentwicklung	15
Abbildung 3:	Spritzlackierkabine für Ultrafiltrations - Technikumsversuche	18
Abbildung 4:	Ultrafiltrationsanlage mit Aufkonzentrierbehälter	19

Projektteil A:

Abbildung A1:	Pkw - Servolenkung	A3
Abbildung A2:	Verfahrensablauf in der betrachteten Lackiererei	A7
Abbildung A3:	Schematische Darstellung der Lackiererei - Neukonzeption	A14
Abbildung A4:	Anordnung der ursprünglichen Ultrafiltrationsanlage zwischen den Spritzkabinen	A15
Abbildung A5:	Erhöhung des Lackverbrauchs durch Stückzahl- und Qualitätssteigerungen	A16
Abbildung A6:	Verfahrensdaten eines Aufkonzentrationsprozesses	A18

Projektteil B:

Abbildung B1:	Lkw - Stoßfänger	B3
Abbildung B2:	Verfahrensablauf in der betrachteten Lackieranlage I	B7

Projektteil C:

Abbildung C1:	Autoparksystem	C4
Abbildung C2:	Verfahrensablauf in der betrachteten Lackiererei	C7
Abbildung C3:	Grundsätzliche Verfahrensalternativen für die Lackiererei	C13
Abbildung C4:	Nutzwertanalyse bezüglich der Verfahrensalternativen	C14
Abbildung C5:	Nutzwertanalyse der Verfahrensalternativen bezüglich der Beschichtungsqualität	C19
Abbildung C6:	Kostenvergleich der Verfahrensalternativen	C21

Zusammenfassung

Zur Verringerung von Lackabfällen und aufgrund der bedeutenden Kosteneinsparpotentiale erlangen die Systeme zur direkten Rückgewinnung des Lackoversprays aus Spritzlackierprozessen eine zunehmende Bedeutung für lackverarbeitende Betriebe. Für Serienlackierungen, besonders bei Beschränkung auf einen oder wenige Farbtöne, bietet hierbei die Ultrafiltrationstechnologie zur Aufkonzentration des im koaguliermittelfreien, vollentsalzten Spritzkabinenwasser aufgefangenen Lackoversprays gute Voraussetzungen. Dieses für 1K-Wasserlacke geeignete Verfahren wurde bereits für einige Anwendungen mit Wasser-Einbrennlacken in der Praxis umgesetzt.

Zur Weiterentwicklung des Stands der Technik werden im vorliegenden Projekt anwendungsorientierte Arbeiten durchgeführt. Mit der Entwicklung ultrafiltrierbarer Wasserlacke und einer Technikumsanlage für Pilotversuche zum Wasserlackoversprayrecycling werden folgende Teilprojekte unterstützt:

- Einführung der Ultrafiltrations-Technologie bei der Lackierung von Fahrzeuglenkungen mit lufttrocknenden Wasserlacken,
- Untersuchung der Ultrafiltrations-Technologie bei der Lackierung von Kunststoff-Stoßfängern für Nutzfahrzeuge,
- Untersuchung des Wasserlackeinsatzes mit Ultrafiltrations-Technologie im Vergleich zur Pulverbeschichtung bei der Lackierung von Autoparksystemen.

Bei allen betrachteten Anwendungsfällen lassen sich durch die neuen Lackiertechnologien deutliche Abfall- und Emissionsverminderungen bei mindestens gleichwertiger Beschichtungsqualität und einer erhöhten Wirtschaftlichkeit erzielen:
So werden die Lackschlämme bei den untersuchten Anwendungsfällen um ca. 87 bis nahezu 100 % reduziert; die Umstellung auf lösemittelarme/-freie Lackmaterialien bringt darüber hinaus eine Verminderung der Lösemittelemissionen mit sich, die in jedem der betrachteten Fälle über 85 % liegt. Ebenso werden durch die Verminderung des Frischlackeinsatzes erhebliche Kosten eingespart; die erforderlichen Investitions- und Projektkosten für die Overspray-Rückgewinnungssysteme amortisieren sich im Rahmen einer Neuanschaffung der Lackieranlage innerhalb ein bis zwei Jahren.

Mit der Durchführung dieses Projekts eröffnen sich auch neue Anwendungsgebiete zur Lackoverspray-Rückgewinnung, insbesondere für industrielle Metall- und Kunststofflackierungen mit hohen funktionellen Anforderungen. Interessierte Betriebe haben die Möglichkeit zum Erfahrungsaustausch mit den am Projekt beteiligten Unternehmen (die Ansprechpersonen sind bei jedem Teilprojekt benannt), damit die erzielten Ergebnisse auch andernorts - unter Beachtung der anwendungspezifischen Gegebenheiten - umgesetzt werden können.

Allgemeiner Teil

Entwicklung ultrafiltrierbarer Wasserlacke und einer Technikumsanlage zum Oversprayrecycling

Projektträger:
W.L. Schwaab Lackfabriken KG
Werner-Siemens-Straße 1
76356 Weingarten

Ansprechpartner:
Herr R. Bartscherer, Tel.: (07244) 64-167

1 Stand der Technik

1.1 Stand der Technik zur Rückgewinnung von Wasserlack-Overspray

Die Rückgewinnung und der Wiedereinsatz von Overspray aus Spritzlackierprozessen werden in den letzten Jahren aufgrund der Umweltschutzbestimmungen und der meistens bedeutenden Kosteneinsparpotentiale zunehmend erprobt und in Lackierbetrieben umgesetzt. Entsprechend den unterschiedlichen Praxisanforderungen beim Lackieren wurden eine Reihe von Rückgewinnungssystemen für Lackoverspray entwickelt, die sich in drei Gruppen gliedern lassen (siehe Anhang 1):

1) Abscheidung des Lackoversprays in flüssigem Lackmaterial ("Lack-in-Lack"-Spritzkabine),
2) Auffangen und Abnehmen des Lackoversprays an Flächen, die hinter dem Lackierobjekt angeordnet sind,
3) Abscheidung des Lackoversprays im Spritzkabinen - Auswaschwasser mit anschließender Aufkonzentration (vor allem über die Ultrafiltrationstechnik).

Das im vorliegenden Projekt untersuchte Rückgewinnungssystem mit Hilfe der Ultrafiltrationstechnik ist der 3. Gruppe zuzuordnen.

Die Ultrafiltrations (UF)-Technik ist verfahrensbedingt nur für einkomponentige Wasserlacke geeignet; für Zweikomponenten (2K)-Systeme bestehen keine Anwendungsmöglichkeiten.
Mit UF-Anlagen rückgewinnbare Wasserlacke wurden bisher vor allem für ofentrocknende Anwendungen entwickelt. Die größten praktischen Erfahrungen sind hierbei mit Einbrennlacken auf der Basis Polyester und Alkydharz (vernetzt mit Aminoharz) sowie Polyurethan-Kombinationen vorhanden. Praxisumsetzungen mit Einbrennlacken erfolgten vor allem bei der Lackierung von Stahlteilen (u.a. Möbel, Behälter, Motorblöcke, Getriebe, etc.) sowie mit UV-Lacken bei der Holzmöbellackierung. Darüber hinaus laufen Verfahrenstests und Pilotanlagen in verschiedenen Branchen (siehe Anhang 2). Aktuelle Entwicklungen befassen sich mit der Ultrafiltrierbarkeit lufttrocknender Wasserlacke.

Die Ultrafiltrationstechnik ermöglicht die direkte Rückführung von 1K-Wasserlack-Overspray aus dem Spritzkabinen-Auswaschwasser (vollentsalztes Wasser ohne Koagulationsmittel) in den Applikationskreislauf (Abbildung 1). Hierzu wird das Lack -/ Wassergemisch der Auswaschung durch ein oder mehrere Module mit einer semipermeablen Membran gepumpt. Der Festkörper des Lackoversprays und das Auswaschwasser können mit diesem Verfahren in einen aufkonzentrierten Wasserlack (Retentat bzw. Recyclinglack) und eine klare, wäßrige Phase (Permeat) getrennt werden. Dabei besteht die Gefahr, daß wichtige Bestandteile des Wasserlackes ebenfalls entfernt werden und der Lack dadurch in seinen Eigenschaften verändert wird. Die optimale Abstimmung zwi-

schen verwendeter Membran und Art /Zusammensetzung des eingesetzten Lackes ist daher eine wesentliche Voraussetzung für die störungsfreie Funktion der angestrebten Kreislaufführung. Weitere Gesichtspunkte für einen störungsfreien Verfahrensablauf sind Materialverträglichkeiten, Reinigung bzw. Regeneration der Membran sowie die optimalen Betriebsbedingungen der Ultrafiltrationsanlage wie z.B. Druck, Durchflußgeschwindigkeit und Konzentration des Lack-/ Wassergemischs.
Das abgetrennte Wasser wird der Auswaschung wieder zugeführt, während die Rückführung des Recyclinglacks in den Applikationskreislauf direkt oder in Kombination mit dem Originallack erfolgen kann.
Voraussetzung für eine erfolgreiche Anwendung der Ultrafiltrationstechnik zur Rückgewinnung von Wasserlacken in der Praxis ist eine genaue Abstimmung der "Systemkomponenten" Wasserlack, UF-Anlage und Spritzkabine.

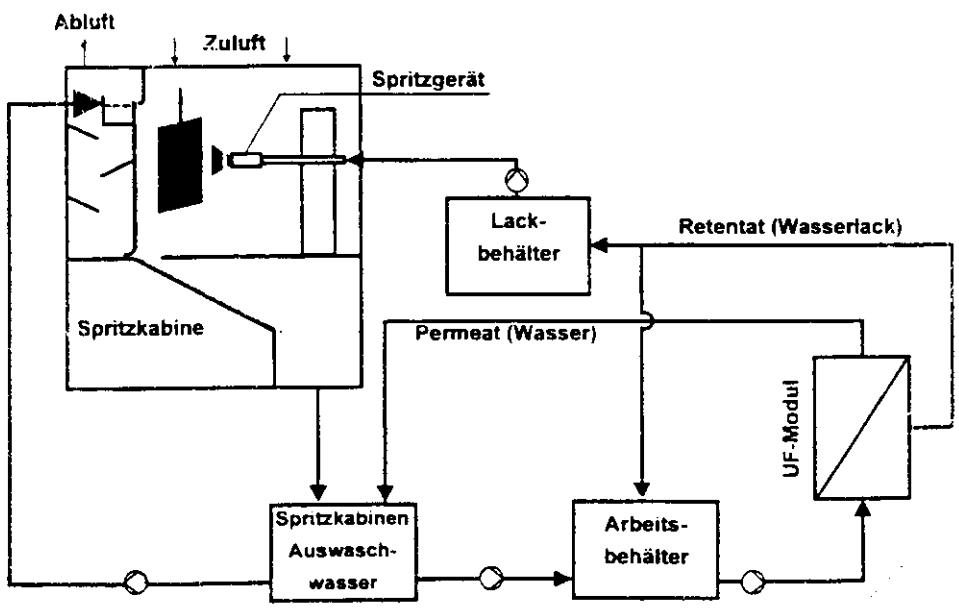


Abbildung 1: Einbindung der Ultrafiltrationstechnik in den Spritzbereich einer Lackieranlage

Da heute eine große Vielfalt von Wasserlacken mit unterschiedlichen chemischen und physikalischen Eigenschaften im Einsatz sind, muß im Einzelfall die Anwendbarkeit der Ultrafiltrationstechnik im Vorfeld der betriebsspezifischen Realisierung geprüft werden. Dabei sind alle Ansatzpunkte zur betriebsinternen Vermeidung bzw. Verminderung der Lackierabfälle, insbesondere der Lackschlämme, zu berücksichtigen (siehe Anhang 3).
Die betriebliche Umsetzung erfordert weiterhin produkt- und produktionsspezifische Anpassungen des Rückgewinnungssystems, vor allem bezüglich folgender Gegebenheiten und Anforderungen:

- Anfallende Overspraymengen,
- Farbtonvielfalt der Lackierungen; schneller Farbwechsel,
- Stabilität und Beanspruchbarkeit (Scherung, Temperatur etc.) des Lacksystems,
- Trocknungsgeschwindigkeit des aufgefangenen Oversprays,
- Verwertungsmöglichkeiten des Recyclinglacks,
- Sauberkeit und Sortenreinheit des anfallenden Lackoversprays,
- Wirkungsgrad des Rückgewinnungssystems,
- Anbaufähigkeit des Rückgewinnungssystems an bestehende Anlagen,
- Vermeidung von Störungen des Spritzprozesses,
- chargenweiser oder kontinuierlicher Betrieb.

1.2 Weiterentwicklung des Stands der Technik durch das vorliegende Projekt

In diesem Projekt werden weitere Einsatzmöglichkeiten der Ultrafiltrations-Technologie zur Rückgewinnung von Wasserlack-Overspray untersucht. Dies erfolgt jeweils in folgenden Bearbeitungsstufen:

1) Entwicklung anwendungsspezifischer, ultrafiltrierbarer Wasserlacke,
2) Ermittlung der Maßnahmen zum Umbau bzw. Neubau der Spritzkabinen,
3) Anwendungsgerechte Simulation und Erprobung der Ultrafiltrationstechnik.

Das Rückgewinnungsprinzip der Ultrafiltrationstechnik wird in der Lackierpraxis bereits in mehreren Lackierereien angewendet. Der dort vor Beginn dieses Projektes erreichte Stand der Technik wird aufgrund der durchgeführten Arbeiten wie folgt weiterentwickelt:

- Die mit positiven Ergebnissen abgeschlossenen Entwicklungen mit dem Schwerpunkt der Ultrafiltration von Einbrenn - Wasserlacken werden durch das vorliegende Projekt mit der einstufigen Ultrafiltration von lufttrocknenden Wasserlacken zur Aufkonzentration von ca. 5 % Festkörper - Anfangsgehalt auf ca. 50 % Festkörper - Endgehalt erweitert. Damit eröffnen sich neue Anwendungsgebiete der Oversprayrückgewinnung bei der industriellen Metall-Lackierung, u.a. bei der Serienfertigung temperaturempfindlicher Geräte und montierter Aggregate.
- Die mit den Recyclinglacken erzielten Lackfilmqualitäten entsprechen den vorgegebenen Anforderungen; darüber hinaus konnten in einem Fall Qualitätsverbesserungen erzielt werden.
- Die konkreten Erfahrungen bei der Anpassung der Anlagentechnik bzw. anlagentechnischer Details im Applikationsbereich an die Ultrafiltrationstechnik sind vor allem für mittelständische Unternehmen mit vergleichbaren Projektierungen verwertbar. Dies betrifft insbesondere die Gestaltung der Spritzkabine, die Oversprayauswaschung sowie die Lack- und Prozeßwassserversorgung.

2 Entwicklung ultrafiltrierbarer Wasserlacke

2.1 Charakterisierung geeigneter Wasserlacksysteme

Als Voraussetzung für das Overspray-Recycling von Wasserlacken sind bereits bei der Lackentwicklung die Rohstoffe und Rezeptkombinationen auf die Ultrafiltrationstechnik abzustimmen. Dabei sind vor allem folgende Anforderungen an den Wasserlack zu beachten:

- Extreme Verdünnbarkeit und homogene Verteilbarkeit im Spritzkabinen- Auswaschwasser (vollentsalztes Wasser),
- Beibehaltung eines stabilen Zustands bei geringer Schaumneigung unter den jeweiligen Betriebsbedingungen beim Zerstäuben und im Auswaschwasser (hohe Scherstabilität),
- Ausschluß der Membrangängigkeit für die Lackkomponenten beim Durchgang der Ultrafiltrations (UF)-Module; signifikante Konzentrationsveränderungen der Lackkomponenten, welche die Lackschichteigenschaften bestimmen, dürfen nicht stattfinden,
- Aufkonzentrierbarkeit mit (marktüblichen) UF-Modulen.

Zur Vermeidung von ungewollten Lackveränderungen im Kabinenwasser (z.B. Koagulieren) wird dem VE-Wasser vor Betriebsbeginn ein kleiner Anteil sogen. "Masterbachlösung" zugesetzt. Durch die Zugabe dieser auf den jeweiligen Lack abgestimmten Lösung wird somit die Affinität von Wasserlack und Kabinenwasser deutlich erhöht.

2.2 Entwicklungsablauf für ultrafiltrierbare Wasserlacke

Zur Entwicklung eines ultrafiltrierbaren Wasserlacks ist zunächst ein für den jeweiligen Anwendungsfall geeignet erscheinendes Lacksystem auszuwählen. Mit den anwendungstechnisch vorgegebenen Applikationsparametern werden praxisorientierte Beschichtungsversuche im Labormaßstab durchgeführt; das erhaltene Qualitätsprofil der Lackfilme dient als Grundlage für erste Rezeptoptimierungen des ausgewählten Lackmaterials.

Die anschließenden Untersuchungen befassen sich mit der Ultrafiltrierbarkeit und dem Prozeßverhalten des Wasserlacks. Im Rahmen dieses Projekts wurden die eingesetzten Materialien aufeinander abgestimmt:

- ca. 20 Komponenten des Lackmaterials,
- ca. 5 Komponenten der Masterbatchlösung,
- Ultrafiltrations (UF)-Membran.

Diese Versuche sollen vor allem Aufschluß zu folgenden Fragen geben:

- Verbleib der Lackkomponenten beim UF-Prozeß und der Einfluß auf die Lackfilmqualität in Verbindung mit den Filtrierparametern (u.a. Membrantyp, Strömungsgeschwindigkeiten, Lackviskosität, Druckdifferenz, Spülzyklen),
- Übertreten von Komponenten der Masterbatchlösung in den Wasserlackkreislauf,
- Reaktivitätsveränderungen der Bindemittelkomponenten des Wasserlacks,
- Verkleben/Verblocken der UF-Membran,
- erreichbare Festkörperkonzentration des Recyclats.

Entsprechend der Versuchs- und Langzeit-Testergebnisse wird das System Wasserlack / Masterbatchlösung / Membran weiter optimiert. Mit den optimierten Materialien werden Beschichtungen auf Originalteilen des jeweiligen Anwenders vorgenommen und bemustert; soweit möglich, sind hierbei Kundenfreigaben zu erzielen.
In vorhandenen Produktionsanlagen bzw. in geeigneten Technikumseinrichtungen werden in einer abschließenden Entwicklungsstufe ausführliche Umlauf- und Beschichtungsversuche mit dem optimierten Wasserlack durchgeführt. Dabei erfolgt die Abstimmung der Anlagentechnik (UF-Anlage, Spritzkabine mit Auswaschung) und der Betriebsparameter mit den Lackanforderungen bezüglich Verdünnbarkeit, Verteilbarkeit und Stabilität bei geringer Schaumbildung (siehe Abs. 2.1). Nach Bedarf werden hierbei weitere Modifizierungen am Lackmaterial vorgenommen und das System erneut getestet. Für die betrachteten Teilprojekte A bis C wurden entsprechend den geforderten Beschichtungsspezifikationen Lacksysteme mit unterschiedlichen Formulierungen entwickelt und bezüglich der Ultrafiltrierbarkeit gemeinsam mit dem jeweiligen Lackanwender im Rahmen dieses Projekts erprobt (Abbildung 2).

Entwicklungskriterien	Projektteil A: Fahrzeuglenkungen	Projektteil B: Kunststoff-Formteile	Projektteil C: Autoparksysteme
Polymerbasis der Lackmaterialien	Acrylat	Polyurethan	Alkyd/CoPolymer/Melamin
Trocknung	Lufttrocknung 60 °C, 20 min	140 °C, 20 min	130-150 °C, 20 min
Schichtaufbau	1-Schicht-Industrielackierung	1-Schicht-Decklackierung	2-Schichtlackierung (Grundierung-Decklackierung)
Anzahl der Farbtöne	1 Hauptfarbton, 2 Nebenfarbtöne	1 Hauptfarbton	Grundierung: 1 Hauptfarbton Decklack: 1 Hauptfarbton, ca. 5 Nebenfarbtöne
Zu beschichtende Werkstoffe	Stahlteile, Graugußteile, Aluminiumteile	SMC-Kunststoffteile	Stahl- und Schweißteile

Abbildung 2: Anwendungsspezifische Lackentwicklungen

3 Entwicklung einer Technikumsanlage für die Pilotversuche zum Wasserlackoverspray-Recycling

3.1 Kriterien zur Gestaltung einer Spritzlackieranlage mit Ultrafiltrations-Technologie

Beim Einsatz der Ultrafiltrations (UF)-technik zur Lackoverspray-Rückgewinnung sind Konstruktion und Auslegung der verwendeten Spritzkabinen bzw. -stände speziellen Anforderungen, insbesondere der Umwälzung eines "stark verdünnten Lackes" unterworfen; herkömmliche Auswascheinrichtungen haben sich hierbei nicht bewährt. Die folgenden, stichwortartigen Hinweise stellen eine Grundlage für die Gestaltung von UF-recyclinggerechten Spritzkabinen dar:

- **Werkstoffe der Anlagenkomponenten**
  Nichtrostender Stahl für Spritzkabine, Gitterroste, Rohrleitungen, Behälter, Pumpen etc. ist erforderlich.
  Alternativ können wasserführende Rohrleitungen und Behälter in Kunststoffausführung gehalten werden. Zinkhaltige Legierungen sind generell nicht einsetzbar.

- **Vermeidung von schaumerzeugenden Bereichen**
  Das mit Overspray angereicherte Kabinenwasser neigt gegenüber der herkömmlichen Methode der Lackkoagulierung, unter Einsatz von Koagulierungsmitteln, bei Scherbeanspruchungen und Strömungsturbulenzen verstärkt zur Schaumbildung. Die Ursache für diesen Effekt ist im spezifischen Verhalten von Wasserlack in Verbindung mit dem niedrigen Festkörper im Kabinenwasser zu sehen.
  Neben der rezeptiven Abstimmung des Wasserlacks sind konstruktive Maßnahmen erforderlich, z.B. zur Vermeidung von Turbulenzen des Wassers in der Spritzkabine, im Auswaschbereich und Arbeitsbehälter sowie von "stürzendem" Wasser in Schächten und Rohrleitungen, etc. Anzustreben ist die Erzeugung laminarer Strömungen des Kabinenwassers.

- **Vermeidung von Sedimentationen**
  Das mit Lackoverspray angereicherte Kabinenwasser neigt in Ruhephasen zu Ablagerungen. Die feinverteilten Lackpartikel, die im Originallack ggf. durch rheologische Zusätze ausreichend stabilisiert werden, sind in der stark verdünnten Phase durch anlagentechnische Maßnahmen in Schwebe zu halten, z.B. durch
  - permanente Umwälzung des Kabinenwassers,
  - Vermeidung von Ecken und Kanten und anderen "toten" Strömungsbereichen,
  - Einsatz eines Ausgleichbehälters mit Rührwerk bei längerem Betriebsstillstand.

3 Entwicklung einer Technikumsanlage für die Pilotversuche zum Wasserlackoverspray-Recycling

3.1 Kriterien zur Gestaltung einer Spritzlackieranlage mit Ultrafiltrations-Technologie

Beim Einsatz der Ultrafiltrations (UF)-technik zur Lackoverspray-Rückgewinnung sind Konstruktion und Auslegung der verwendeten Spritzkabinen bzw. -stände speziellen Anforderungen, insbesondere der Umwälzung eines "stark verdünnten Lackes" unterworfen; herkömmliche Auswascheinrichtungen haben sich hierbei nicht bewährt. Die folgenden, stichwortartigen Hinweise stellen eine Grundlage für die Gestaltung von UF-recyclinggerechten Spritzkabinen dar:

- **Werkstoffe der Anlagenkomponenten**
  Nichtrostender Stahl für Spritzkabine, Gitterroste, Rohrleitungen, Behälter, Pumpen etc. ist erforderlich.
  Alternativ können wasserführende Rohrleitungen und Behälter in Kunststoffausführung gehalten werden. Zinkhaltige Legierungen sind generell nicht einsetzbar.

- **Vermeidung von schaumerzeugenden Bereichen**
  Das mit Overspray angereicherte Kabinenwasser neigt gegenüber der herkömmlichen Methode der Lackkoagulierung, unter Einsatz von Koagulierungsmitteln, bei Scherbeanspruchungen und Strömungsturbulenzen verstärkt zur Schaumbildung. Die Ursache für diesen Effekt ist im spezifischen Verhalten von Wasserlack in Verbindung mit dem niedrigen Festkörper im Kabinenwasser zu sehen.
  Neben der rezeptiven Abstimmung des Wasserlacks sind konstruktive Maßnahmen erforderlich, z.B. zur Vermeidung von Turbulenzen des Wassers in der Spritzkabine, im Auswaschbereich und Arbeitsbehälter sowie von "stürzendem" Wasser in Schächten und Rohrleitungen, etc. Anzustreben ist die Erzeugung laminarer Strömungen des Kabinenwassers.

- **Vermeidung von Sedimentationen**
  Das mit Lackoverspray angereicherte Kabinenwasser neigt in Ruhephasen zu Ablagerungen. Die feinverteilten Lackpartikel, die im Originallack ggf. durch rheologische Zusätze ausreichend stabilisiert werden, sind in der stark verdünnten Phase durch anlagentechnische Maßnahmen in Schwebe zu halten, z.B. durch
  - permanente Umwälzung des Kabinenwassers,
  - Vermeidung von Ecken und Kanten und anderen "toten" Strömungsbereichen,
  - Einsatz eines Ausgleichbehälters mit Rührwerk bei längerem Betriebsstillstand.

Der Einsatz eines Ausgleichbehälters hat folgende Vorteile gegenüber dem Verbleib des Kabinenwassers in der Spritzkabine:
- Reduzierte Verdunstungsverluste,
- Reduzierter Energiebedarf,
- Gleichmäßige Strömungsbedingungen.

- **Entleerung und Reinigung der Spritzkabine**

Die Spritzkabine muß zur Overspray-Aufkonzentrierung vollständig entleerbar sein, d.h. das restlose Umpumpen in den Arbeitsbehälter bzw. Ausgleichsbehälter ist zu gewährleisten. Besondere Beachtung sind der Konstruktion von Wasserkästen, Überlaufrinnen usw. zu widmen.
Zur Reinigung sollten alle Bereiche der Spritzkabine, die mit Overspray beaufschlagt werden können, mit Kabinenwasser überflutbar bzw. spülbar sein.
Zur Sicherstellung einer störungsfreien Lackoverspray-Rückgewinnung sind alle nicht ständig flutbaren Kabinenbereiche, abhängig von den physikalischen Trocknungseigenschaften der eingesetzten Lacke, regelmäßig mit Ultrafiltrat zu reinigen.
Vor der Aufkonzentrierung des Kabinenwassers ist das lackhaltige Umlaufwasser über eine Filtereinheit von Verschmutzungen und Grobpartikeln zu befreien.

- **Volumen des Kabinenumlaufwassers**

Die Wassermenge der Spritzkabine sollte zur Erreichung kurzer Aufkonzentrierintervalle vergleichsweise gering gehalten werden.
Die optimale Wassermenge ist neben anlagentechnischen Parametern (Luftsinkgeschwindigkeit, Wirkungsgrad der Auswaschung) vom Overspray-Eintrag abhängig.
Sind "große" Wassermengen gegenüber "niedrigen" Overspray-Eintrag unvermeidbar, kann die Aufkonzentrierung auch durch ein Zweistufen-Verfahren erfolgen.

Einstufen-Verfahren:	Aufkonzentrierung des Oversprays im Kabinenwasser zu Lack in einem Arbeitsschritt	
Zweistufen-Verfahren:	1.Schritt:	Aufkonzentrierung des Oversprays im Kabinenwasser auf einen Festkörpergehalt von z.B. 10%
	2.Schritt:	Weitere Aufkonzentrierung von z.B. 10% auf den angestrebten Lack-Festkörpergehalt

3.2 Beschreibung der Technikumsanlage der Fa. Schwaab

Zur Durchführung von Umlauf- und Spritzversuchen zum Wasserlack-Recycling unter praxisnahen Bedingungen wurde bei Fa. Schwaab in Weingarten eine Technikumsanlage aufgebaut. Die Einrichtungen sind entsprechend den in Abs. 3.1 aufgeführten Kriterien für anwendungsorientierte Pilotvorhaben ausgelegt. Folgende Anlagenkomponenten sind vorhanden:

- Spritzlackierkabine (siehe Abbildung 2):
  - einseitig offen, Seitenwände und Rückwand wasserbeflutet, auf Gitterrosten begehbar über wasserbeflutetem Boden, spülbares Lacktröpfchen-Abscheidesystem im Rückwandteil,
  - Gesamtkonstruktion aus nichtrostendem Edelstahl St 4301,
  - Abmessungen B x H (begehbar) x T = 2,5 m x 2,15 m x 2,5 m,
  - Luftvolumenstrom : 7.000 m^3/h, Zuluftmengenregelung mit Jalousieklappen und Stellmotor, Erwärmung möglich,
  - Volumen des Umlaufwassers: max. ca. 350 l.

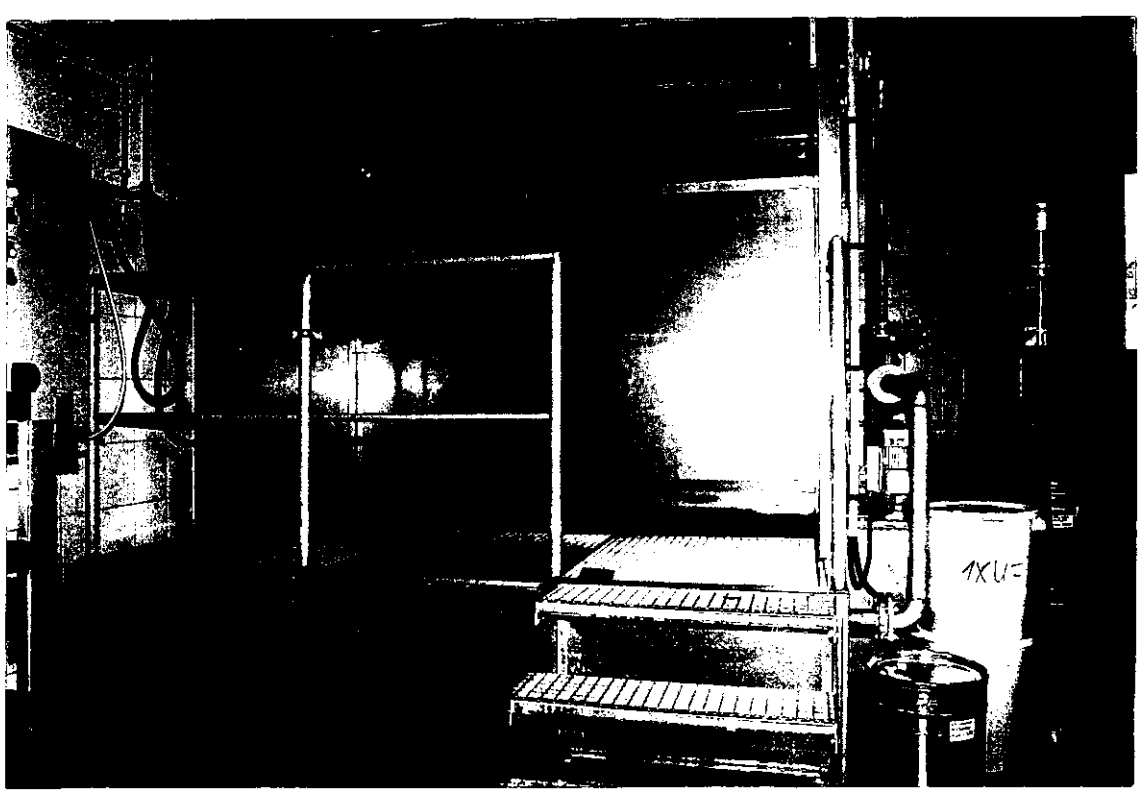


Abbildung 3: Spritzlackierkabine für Ultrafiltrations-Technikumsversuche

- Stapelbehälter zur Zwischenlagerung des mit Lackoverspray angereicherten Kabinenwassers:
  - Rundbehälter mit konischem Boden aus Edelstahl St 4301 mit Rührwerk,
  - Volumen: 650 l,
  - Drehzahl des Rührwerks: 20 - 200 U/min, regelbar,
  - Befüllung und Entleerung mittels Doppelkammermembranpumpe, Pumpleistung 20 - 120 l/min.

- Filtereinrichtung für das angereicherte Kabinenwasser, bestehend aus zwei Beutelfiltern mit Kontrollmanometern.

- Ultrafiltrationsanlage zur Aufkonzentrierung des mit Lackoverspray angereicherten Kabinenwassers bis zum Festkörpergehalts des Frischlackes (Typ Unicolor UD 4 - 1 SP) (Abbildung 3):
  - Ausführung: 4 Module, 1 Spülbehälter, 1 Filter, SPS-Steuerung ohne Spülprogramm,
  - Schnittstellen: 2"-Kupplungen für die Arbeitslösung, 1,5"-Kupplungen für den Recyclinglack und das Filtrat, Drehstrom ca. 15 kW, Wechselstromspannung 220 V, Druckluft min. 8 bar,

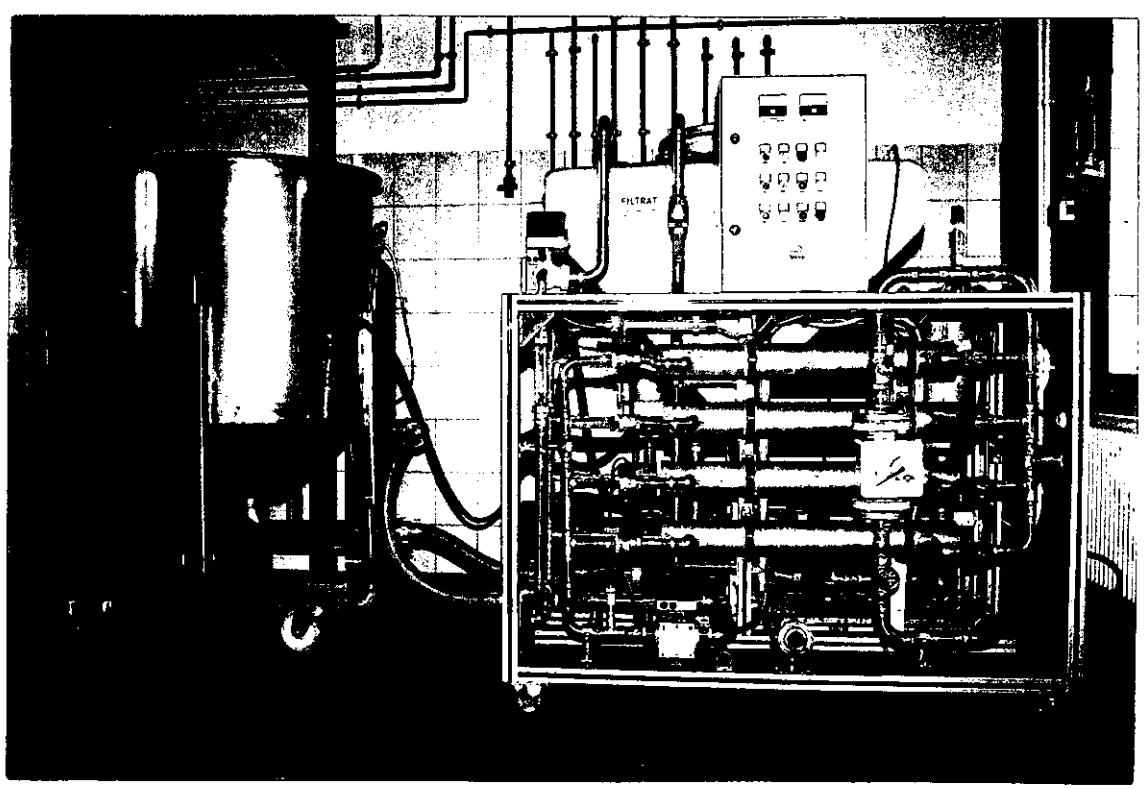


Abbildung 4: Ultrafiltrationsanlage mit Aufkonzentrierbehälter

- Betriebszustände:
  - Aufkonzentrierung
  - Spülen über den Spülbehälter
  - Auspumpen des Recyclinglacks
  - Auspumpen des Filtrats
- Filterfläche: ca. 4 m^2 je Modul
- Fluxleistung: max. 800 l/h (Gesamtanlage)
- Recyclingleistung: bei 4 - Modulbetrieb ca. 500 kg Recyclinglack aus 5 t Kabinenwasser in 24 h.

- Aufkonzentrierbehälter für den Recyclinglack (Abbildung 3):
  - Rundbehälter mit konischem Boden aus Edelstahl St 4301, Boden in Doppelmantelausführung mit Kühlungmöglichkeit,
  - schaumfreier Rücklauf aus der UF-Anlage,
  - Volumen: 650 l.

Projektteil A

Einführung der Ultrafiltrations-Technologie bei der Lackierung von Fahrzeuglenkungen mit lufttrocknenden Wasserlacken

Anwender:

ZF Friedrichshafen AG
Werk Schießtal
Richard Bullinger Straße 77
73527 Schwäbisch Gmünd

Ansprechpartner:

Herr H. Havran, Tel.: (07171) 31-2197
Frau E. Sumowski, Tel.: (07171) 31-2831

1 Kurzfassung

Die ZF Friedrichshafen AG stellt in Schwäbisch Gmünd Fahrzeuglenkungen für Automobile her. Bei der einschichtigen Spritzlackierung dieser Teile fallen jährlich ca. 60 t an Lackschlämmen an, die hauptsächlich durch die Oversprayverluste beim Spritzprozeß entstehen.

Ziel dieses Projekts ist die weitgehende Vermeidung der anfallenden Lackschlämme bei gleichzeitiger Kostenreduzierung durch den verminderten Einsatz an Frischlack.

Im Rahmen einer Neuplanung der gesamten Lackieranlage wurde die verfahrens- und anlagentechnische Entwicklung der Rückgewinnung des Lackoversprays mit Hilfe der Ultrafiltrationstechnik eingebunden. Aufbauend auf den bisherigen Erfahrungen mit der Ultrafiltration von Einbrenn-Wasserlacken wird im vorliegenden Projekt die einstufige Ultrafiltration von lufttrocknenden Wasserlacken in die Lackierpraxis eingeführt.

Die Betriebserfahrungen zeigen, daß in der betrachteten Spritzlackieranlage ca. 87 % des Wasserlack-Obersprays farbtonrein zurückgewonnen werden können; ca. 13% gehen als Ablagerungen und Antrocknungen verloren. Der Recyclinglack (ca. 46 t/a) wurde im ersten Schritt nach einer Aufarbeitung beim Lacklieferanten ohne Minderung der Beschichtungsqualität dem Spritzlackierprozeß wieder zugeführt. Seit September 1995 kann der Recyclinglack durch weitere Verbesserungsmaßnahmen an der Anlagentechnik direkt betriebsintern wieder eingesetzt werden.

Durch das Lack-Rückgewinnungssystem verringert sich die Menge an erforderlichem Frischlack für den untersuchten Spritzbereich um ca. 50 %. Die Koaguliermittel zur Lackschlammbehandlung werden vollständig eingespart. Die Material- und Entsorgungskosten werden dabei derart reduziert, daß sich die Investitionen für die Ultrafiltrationstechnik als Teilkomponente der gesamten Lackieranlage und die Projektkosten in 1,1 Jahren amortisieren.

Mit der erfolgreichen Durchführung dieses Vorhabens eröffnen sich neue Anwendungsgebiete der Oversprayrückgewinnung für die industrielle Metall-Lackierung, u.a. bei der Serienlackierung temperaturempfindlicher Geräte und montierter Aggregate. Ebenso wurden weitere, konkrete Erfahrungen bei der Auslegung der Anlagentechnik im Applikationsbereich für vergleichbare Projektierungen gewonnen. Dies betrifft insbesondere die Gestaltung der Spritzkabine, die Oversprayauswaschung sowie die Lack- und Prozeßwasserversorgung.

2 Kurzbeschreibung des Anwender-Unternehmens

2.1 Allgemeine Betriebsdaten

Die ZF Friedrichshafen AG, 73522 Schwäbisch Gmünd, stellt im Werk Schießtal Fahrzeuglenkungen für Pkw und Nutzfahrzeuge her.

Im Geschäftsbereich Lenkungstechnik sind insgesamt ca. 5.100 Mitarbeiter in einem Zweischichtbetrieb beschäftigt, von denen 31 in der teilautomatisierten Lackiererei, insbesondere sechs im untersuchten Spritzbereich, tätig sind. Der jährliche Gesamtumsatz beträgt ca. 886 Mio DM.

2.2 Produkte

In zwei Produktbereichen werden Zahnstangen - Lenkungen und Kugelmutter - Hydrolenkungen hergestellt. Für das vorliegende Projekt ist die Lackierung der Kugelmutter-Hydrolenkungen relevant; das zu lackierende Produktspektrum umfaßt hier verschiedenartige, komplett montierte Fahrzeuglenkungen aus den Werkstoffen Stahl, Grauguß und Aluminium. Bis zum Juni 1994 wurden jährlich über 600.000 Teile (Beispiel in Abbildung A1) gefertigt, insbesondere:

- Servolenkungen für Pkw, Masse 12 - 15 kg , 344.500 St./a
- Servolenkungen für Nutzfahrzeuge, Masse 15 - 50 kg , 206.200 St./a
- Hydrostatische Lenkungen, Masse 6 - 10 kg , 50.000 St./a

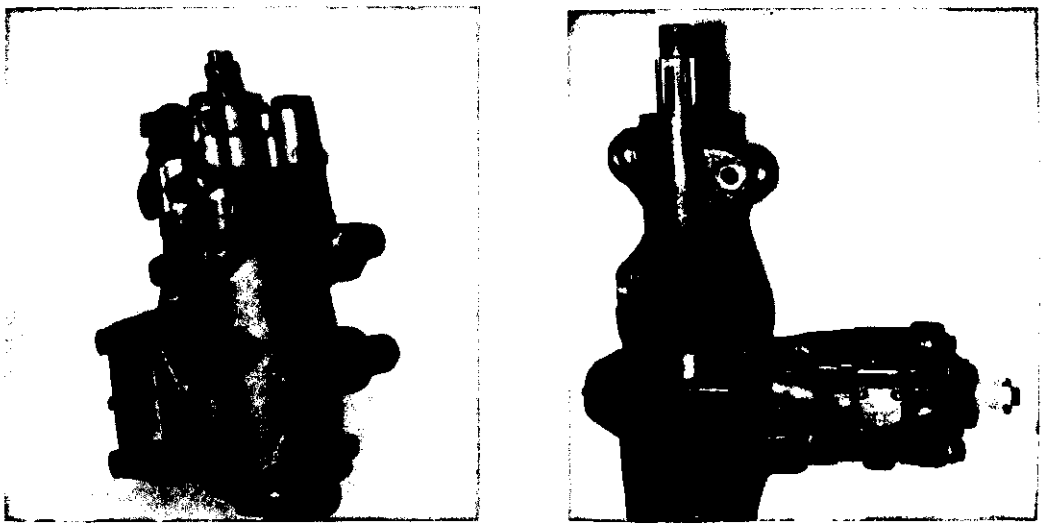


Abbildung A1: Pkw - Servolenkung (montierter Rohling / lackiertes Aggregat)

2.3 Produktionsverfahren in der Lackiererei

Die fertig bearbeiteten und montierten Kugelmutter - Hydrolenkungen werden mit Hilfe von Flurförderzeugen der Lackiererei zugeführt. Durch die vorgeschalteten Montage- und Endprüfprozesse sind die Teile mit Öl, Raumschmutz, etc. verunreinigt.

In der alten Lackiererei wurden die Lenkungen aufgrund ihres Anlieferungszustands mit Methylenchlorid gereinigt, nach Abdeckung der nicht zu lackierenden Bereiche einschichtig spritzlackiert, mit der Beschichtung thermisch getrocknet und wieder abgekühlt. Der gesamte Prozeß erfolgte in einer teilautomatisierten Durchlaufanlage mit einem kontinuierlich betriebenen Hänge - Kreisförderer (siehe auch Abs. 3.1.1).

2.4 Entsorgungssituation im Bereich der Lackiererei

Die betrachtete Lackiererei ist nach BImSchG nicht genehmigungsbedürftig. Die Entsorgungsproblematik in der alten Lackiererei wurde überwiegend durch die ca. 60 t/a an Lackschlämmen verursacht. Diese sind besonders überwachungsbedürftige Sonderabfälle und werden wie folgt verwertet oder beseitigt:

- Der aus den Naßauswaschungen der Spritzzonen anfallende Lackschlamm wird ca. neun mal jährlich ausgetragen, grob entwässert und gemeinsam mit den Abfällen von der Anlagenreinigung entsorgt (Abfallschlüsselnummer 555 03). Das Spritzkabinenwasser wird in einer Abwasserreinigungsanlage aufbereitet und in die öffentliche Kanalisation eingeleitet.
- Die aus der Teilevorbehandlung anfallenden öl- und fettverunreinigten Putzlappen werden gemeinsam mit entsprechenden Werkstattabfällen entsorgt (Abfallschlüsselnummer 542 09).

Die Abfälle aus der Teilevorbehandlung werden über folgende Wege zurückgewonnen und dem Reinigungsprozeß wieder zugeführt:

- Wiederaufbereitung des verunreinigten Methylenchlorids beim Lieferanten
- Desorption der belasteten Aktivkohle aus der Adsorptionsanlage der Teileentfettung beim Lieferanten

Die zur Reinigung der Applikationseinrichtungen und Lackieranlagen eingesetzte Verdünnung wird extern bei Lohndestillateuren destilliert und wiederverwendet.
Lackgebinde werden intern verwertet oder entsorgt; Abdeckmaterialien wie Kunststoffkappen und Papieretiketten werden auf der Hausmülldeponie entsorgt.

3 Zustand der Lackiererei

3.1 IST-Zustand in der betrachteten Lackiererei vor Projektbeginn

3.1.1 Verfahrensschritte

Der untersuchte Spritzbereich ist in den Lackierprozeß für Fahrzeuglenkungen integriert. Die Lackiererei mit Bandgeschwindigkeiten von ca. 2,2 m/min wurde 1969 in Betrieb genommen; zwischenzeitliche Änderungen betrafen hauptsächlich den Umbau der Handspritzkabine im Jahre 1992. Der Verfahrensablauf gliedert sich in folgende Schritte (siehe auch Abbildung A2):

Verfahrensschritt 1: Teileaufgabe
Die in Teilegruppen angelieferten und bereitgestellten Fahrzeuglenkungen werden je nach Größe manuell oder mit einer Hebevorrichtung am Hänge - Kreisförderer der Lackiererei befestigt.

Verfahrensschritt 2: Vorbehandlung
In einer offenen Durchlaufanlage zur Dampfentfettung mit Methylenchlorid (sogen. Y - Anlage) werden die Fahrzeuglenkungen gereinigt. In einer integrierten Aktivkohleanlage werden die abdunstenden Lösemittel durch Adsorption zurückgewonnen.

Verfahrensschritt 3: Maskieren
Die nicht zu lackierenden Bereiche der Fahrzeuglenkungen werden manuell mit geeigneten Materialien (Kunststofformteile und Papieretiketten) abgedeckt.

Verfahrensschritt 4: Spritzlackierung
Mit diesem Verfahrensschritt befassen sich die Projektuntersuchungen:
In einer Automatik - Spritzkabine werden die durchlaufenden Fahrzeuglenkungen vor einer wasserbefluteten Wand mit sechs elektrostatikunterstützten Druckluftpistolen vorlackiert (Verfahrensschritt 4.1: Vorspritzen). Jede Pistole ist an einem Hubautomaten befestigt; diese Handhabungseinrichtungen sind linear in zwei Dreier-Gruppen angeordnet. Die Lackversorgung erfolgt über eine Ringleitung. Entsprechend der Form bzw. Größe der zu lackierenden Teile werden die Pistolen für jede Teilegruppe durch manuelle Programmvorwahl auf ihre spezielle Position gefahren und bleiben während des Spritzvorgangs starr stehen. In der unmittelbar daran anschließenden Handspritzkabine werden die Fahrzeuglenkungen, besonders die beim automatischen Spritzen unzureichend lackierten Stellen, vor einer wasserbefluteten Spritzwand manuell fertiggespritzt (Verfahrensschritt 4.2 : Nachlackieren). Ein bzw. nach Bedarf auch zwei Spritzlackierer benutzen für diese Arbeiten Hochdruck - Druckluftpistolen. Der insgesamt erreichte Auftragswirkungsgrad kann aus den erfaßten Lackverbrauchs- und abfallmengen mit max. ca. 30% angegeben werden. Dieser relativ geringe

Wert wird durch den großen Anteil des manuellen Fertigspritzens beim Spritzprozeß plausibel.

Das anfallende und ausgewaschene Lackoverspray aus beiden Spritzzonen (Wasservolumen je Spritzkabine ca. 3 m^3) wird gemeinsam mit Koaguliermitteln behandelt und als Lackschlamm im Rahmen von neun Reinigungsintervallen je Jahr entsorgt.

Verfahrensschritt 5: Lackschichtabdunstung

In einer geschlossenen Abdunstzone werden die Lackierungen über ca. 3 min bei Raumtemperatur abgelüftet.

Verfahrensschritt 6: Lackschichthärtung

Die abgelüfteten Lackierungen werden in einem Umlufttrockner über ca. 3 min bei 100 °C ausgehärtet.

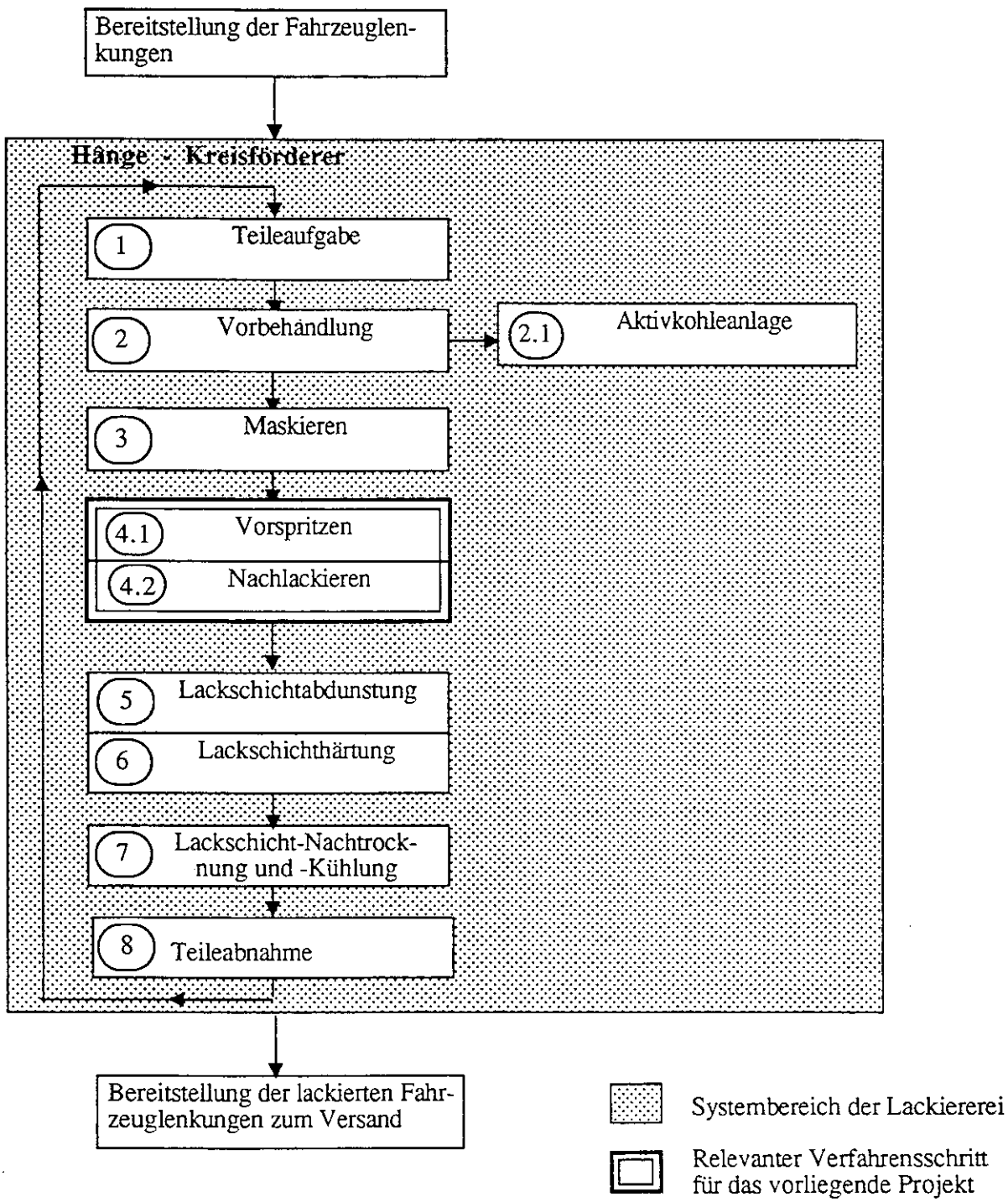
Verfahrensschritt 7: Lackschicht - Nachtrocknung und -Kühlung

Die im Umlufttrockner gehärteten Lackschichten werden beim Weitertransport der Fahrzeuglenkungen durch den Hallenbereich am Hänge - Kreisförderer über ca. 30 min nachgetrocknet und abgekühlt. Dabei werden auch die Abdeckmaterialien entfernt.

Verfahrensschritt 8: Teileabnahme

Die fertig lackierten Teile werden manuell oder mit einer Hebevorrichtung vom Hänge-Kreisförderer abgenommen und für den Versand bereitgestellt.

Abbildung A2: Verfahrensablauf in der betrachteten Lackiererei



3.1.2 Materialeinsatz

Als Einsatzstoffe sind im folgenden die Lackmaterialien und Hilfsstoffe, die zum Betrieb der gesamten Lackiererei erforderlich sind, aufgeführt.

Einsatzstoffe	Menge (Zustand bis 06 /94)	Verfahrensschritte (entspr. Abs. 3.1.1)
- Methylenchlorid	ca. 8,2 t/a (ca. 3,7 t/a Frischmaterial, ca. 4,5 t/a Recyclingmaterial vom Lieferanten)	2: Vorbehandlung
- Aktivkohle für die Adsorptionsanlage	nicht bekannt	
- Reinigungsverdünnung	ca. 8,3 t/a	
- Putzlappen	nicht bekannt	
- Abdeckmaterialien (Kunststoffkappen, Papieretiketten)	nicht bekannt	3: Maskieren
- Lösemittelhaltige Einkomponenten-Alkydharz-Kombinationslacke:		4: Spritzlackierung (gemeinsame Betrachtung der Bereiche 4.1 (Vorspritzen) und 4.2 (Nachlackierung)
- Farbton schwarz	ca. 59,2 t/a ⎤	
- Farbton oxidrot	ca. 11,6 t/a ⎥ 77,8 t/a	
- Farbton schilfgrün	ca. 7,0 t/a ⎦	
- Zweikomponenten - Lacke inkl. Härter für Sonderfarben (z.B. Bundeswehr)	ca. 0,7 t/a	
- Lackverdünnung	ca. 5,3 t/a	
- Spritzkabinenwasser (Stadtwasser zum Ausgleich der Verdunstungsverluste)	ca. 1.800 t/a (geschätzt)	
- Koagulationsmittel zur Behandlung des Lackoversprays	ca. 1,2 t/a	

Anmerkung:

Das Potential zum Lackoversprayrecycling besteht bei den ca. 77,8 t/a Einkomponentenlacken

3.1.3 Abfälle

Die aus dem Lackierbereich anfallenden Abfälle sind im folgenden erfaßt. Zu ihrer Charakterisierung ist neben der Abfall-Schlüsselnummer nach dem LAGA-Code auch die zukünftig relevante europäische Abfall-Schlüsselnummer (EWC) angegeben.

Bezeichnung der Abfälle	Schlüsselnummer		Menge (Zustand bis 06/94)	Entsorgung[1)]	Verfahrensschritte (entspr. Abs. 3.1.1)
	LAGA-Code	EWC			
- Verunreinigtes Methylenchlorid	552 06	1401 02	ca. 4,5 t/a (Rest verdunstet bzw. in Aktivkohle gebunden)	V	2: Vorbehandlung
- Belastete Aktivkohle aus der Adsorptionsanlage	314 35	0707 09	nicht bekannt (externe Regenerierung)	V	
- Öl- und fettverunreinigte Putzlappen inkl. Werkstattabfälle	542 09	- - -	ca. 2,5 t/a	V	
- Lackschlamm inkl. der festen Lackreste von der Gitterrostentlackung und Anlagenreinigung (Wassergehalt ca. 50 %)	555 03	0801 08	ca. 60 t/a	B	4: Spritzlackierung (gemeinsame Betrachtung der Bereiche 4.1 (Vorspritzen) und 4.2 (Nachlackierung)
- Lackgebinde (Einwegbehälter)	351 05	1501 04	ca. 50 St/a	B	
- Abwasser (behandelt)	- - -	- - -	geschätzt ca. 50 t/a (Einleitung in die Kanalisation mit andern Prozeßabwässern)	- - -	
- Verunreinigte Reinigungsverdünnung	553 70	1401 03 0706 04	ca. 0,2 t/a (Rest von 8,1 t/a verdunstet)	V	
- Kunststoffkappen und Papieretiketten (mit ausgehärtetem Lack verunreinigt)	571 29 187 18	2001 03 2001 01	nicht bekannt	B	7: Lackschicht-Nachtrocknung und -Kühlung

1) V: Verwertung
B: Beseitigung

3.1.4 Sonstige Emissionen und Umweltbelastungen

Der durchschnittliche Lösemittelgehalt der verarbeitungsfertig eingestellten Lackmaterialien beträgt ca. 55 Gewichts - %. Bei einem Lackeinsatz inkl. Lackverdünnung von insgesamt 83,8 t/a werden somit auch ca. 46 t/a an Lösemitteln verarbeitet, die beim Spritzprozeß und während der Lackfilmtrocknung in die Umwelt emittieren. Darüber hinaus verdunsten aus der Teilevorbehandlung bei den manuellen Reinigungsarbeiten und durch undichte Anlagenbereiche ca. 12 t/a organische Lösemittel.
Geruchsbelastungen aus der betrachteten Lackieranlage sind nicht bekannt.

3.1.5 Lackierqualität

Es bestehen folgende Anforderungen an die funktionelle und optische Lackschichtqualität:

Lackschichtdicke	:	40 µm (geforderte Mindestdicke); der IST-Zustand beträgt durchschnittlich ca. 60 µm
Mechanische Beständigkeit		
- Haftfestigkeit bei Gitterschnitt, DIN 53151- B	:	- Gt 0B nach 7 Tagen bei Raumtemperatur, - Gt 1B nach 48 h bei 80 °C
- Kratzfestigkeit	:	max. K 2
- Wärmebeanspruchung	:	24 h bei 150 °C
- Kältebeanspruchung	:	12 Zyklen 2 h bei +50 °C, 2h bei -20 °C
- Härte (Eindruckwiderstand nach Buchholz, DIN 53153)	:	71 - 100
- Haftfestigkeit / Elastizität beim Dornbiegetest, DIN 53152	:	- 6 mm Ø rißfrei nach 7 Tagen bei Raumtemperatur - 8 mm Ø rißfrei nach 48 h bei 80 °C

Korrosionsbeständigkeit

Rostgrad (DIN 53210), Blasengrad (DIN 53209), Unterwanderung (DIN 53167) und Gitterschnitt (DIN 53151-B), jeweils für:

-	Schwitzwasserbeständigkeit DIN 50017 Konstantklima	: 150 h (ab 01.07.1994)
-	Salzsprühnebelbeständigkeit DIN 50 021 SS	: 240 h (ab 01.07.1994); zuvor 96 h
-	VDA - Wechseltest, VDA-Prüfblatt 621-415	: 5 Zyklen

Medienbeständigkeit

-	Ölbeständigkeit (SAE 15 - W40)	: 1 h bei 100 °C
-	Super-Kraftstoffbeständigkeit	: - 5 - 10 s Reiben - 30 min Eintauchen
-	Kaltreinigerbeständigkeit	: 3 mal 10 s im Abstand von 2 min

Überlackierbarbeit : Kein Auftreten von Oberflächenstörungen

Dekorativität

-	Gesamteindruck	: entsprechend dem Motorenbereich von Kfz
-	Glanzvermögen (Skala nach Boller, Typ 258)	: 40 - 80 %

Sämtliche Qualitätsanforderungen werden erfüllt mit Ausnahme der ab 01.07.1994 erhöhten Forderung auf 240 h Salzsprühnebelbeständigkeit. Die Erfüllung dieser Vorgabe kann mit einer entsprechenden Steigerung der Lackschichtdicke und einer Phosphatierung erfolgen. Beide Maßnahmen werden beim geplanten SOLL-Zustand der neuen Lackieranlage (siehe Abs. 3.2) berücksichtigt.

3.2 Geplanter SOLL-Zustand der betrachteten Lackiererei, insbesondere des Spritzlackierbereichs mit Lackoverspray-Rückgewinnung

3.2.1 Neukonzeption der gesamten Lackieranlage

Unabhängig vom vorliegenden Projekt zur Lackoverspray-Rückgewinnung war vorgesehen, die Anlagentechnik der bestehenden Lackiererei (siehe Abs. 3.1.1) neu zu konzipieren und aufzubauen. Ausschlaggebend für diese Entscheidung waren hauptsächlich folgende Ziele:

- Steigerung der Kapazität,
- Steigerung der Produktivität,
- Verbesserung der Lackierqualität und des Korrosionsschutzes,
- Ersatz der offenen CKW-Reinigungsanlage,
- Verringerung der organischen Lösemittelemissionen,
- Verringerung der Lackierereiabfälle, besonders der Lackschlämme.

In den Rahmen der auf diesen Forderungen aufbauenden Neukonzeption wurde die verfahrens- und anlagentechnische Entwicklung der Rückgewinnung des Lackoversprays eingebunden. Bei dem entspr. Abs. 3.1.1 prinzipiell gleichbleibenden Verfahrensablauf ergeben sich die im folgenden beschriebenen, neuen Inhalte der Verfahrensschritte. Anschließend ist in Abbildung A3 der Materialfluß der neuen Lackiererei schematisch dargestellt.

Verfahrensschritt 1: Teileaufgabe

Zur Aufgabe der Fahrzeuglenkungen auf das Fördersystem im Stillstand ist an der Peripherie der Lackieranlage ein 360 m langer Power + Free - Förderer installiert. An den Aufgabeplätzen werden die Power + Free - Wagenzüge beladen und entsprechend den Applikationsdaten der jeweiligen Teilegruppe codiert. Nach Startfreigabe erfolgt eine Übergabe der Teile über Dreh - Umsetzer auf den 450 m langen Kreisförderer der Lackieranlage. Dabei werden die Teile mitsamt den aushebbaren Werkstückaufnahmen von den Drehgehängen der Wagenzüge auf die Drehgehänge der Kreisförderer - Laschen gewechselt.

Verfahrensschritt 2: Vorbehandlung

In einer geschlossenen 9 - Zonen - Vorbehandlung werden die Fahrzeuglenkungen gereinigt und zinkphosphatiert. Folgende Stationen werden kontinuierlich durchlaufen:

1: Entfettungsbad mit alkalischen, demulgierenden Reinigern, beheizt auf ca. 60 °C

2,3: Zwei Spülbäder mit Stadtwasser, Wasserführung als Kaskade; die alkalischen Abwässer werden den zentralen Aufbereitungsanlagen zugeführt.

4: Aktivierungsbad

5: Zinkphosphatierbad, beheizt auf ca. 55 °C, mit kontinuierlichem Schlammaustrag durch einen sogen. Spitzkegelsedimentierer

6,7: Zwei Spülbäder mit Stadtwasser, Wasserführung als Kaskade; die Abwässer werden in einer speziellen Aufbereitungsanlage vor Ort behandelt.

8: Passivierbad mit Chrom - VI - Spülung

9: Spülzone mit VE -Wasser; das Spülwasser wird über eine Ionenaustauscheranlage im Kreislauf gefahren.

Anschließend werden die nassen Teile nach Durchlauf einer Blaszone in einem Haftwasser - Umlufttrockner (A - Bauweise) in 15 min bei 60 °C getrocknet.

Verfahrensschritt 3: Maskieren

Wie beim IST - Zustand werden die nicht zu lackierenden Teilebereiche manuell mit Kunststoffformteilen und Papieretiketten abgedeckt.

Verfahrensschritt 4: Spritzlackierung mit Lackoverspray-Rückgewinnung

In diesem Verfahrensschritt ist die im vorliegenden Projekt geförderte Anlage zur Oversprayrückgewinnung integriert:

In einer Automatik - Spritzkabine werden die durchlaufenden Fahrzeuglenkungen vor einer wasserbefluteten Spritzwand mit zwei Niederdruck (HVLP) - Spritzpistolen fertiggespritzt. Die Spritzarbeiten werden von zwei nacheinander angeordneten, stationären 6 Achsen-Beschichtungsrobotern ausgeführt, wobei der erste Roboter die Vorderseite, der zweite Roboter die Rückseite der Lenkungen lackiert. Die Lenkungen werden zwischen den Spritzvorgängen um 180 ° gewendet. Das jeweilige Spritzprogramm, die Lackfarbe und die Teilestückzahl werden über die Dateneingabe an der Teileaufgabe beim Einlauf in die Spritzkabine der Robotersteuerung übergeben.

Als Option können für Sonder- und Musterlackierungen sowie für Nachbesserungen in einer Handspritzkabine manuelle Lackierarbeiten mit einer Niederdruck (HVLP) - Spritzpistole ausgeführt werden. Die im Bereich der Automatikkabine angeordnete Handspritzkabine wird vom Kreisförderer aber erst nach dem Verfahrensschritt 5 (Abdunsten der Automatenlackierung) durchlaufen.

Die Lackversorgung für beide Spritzkabinen erfolgt zentral über eine Ringleitung.

Die Anlage zur Lackoverspray - Rückgewinnung ist zwischen den beiden Spritzkabinen installiert und kann für beide Kabinen eingesetzt werden (Beschreibung siehe Abs. 3.2.2).

Verfahrensschritt 5: Lackschichtabdunstung

In einer geschlossenen Abdunstzone werden die automatisch aufgetragenen Lackierungen über 20 min, die bedarfsweise manuellen Lackierungen über 31 min, jeweils bei 35 °C, abgelüftet.

Verfahrensschritt 6: Lackschichthärtung

Die abgelüfteten Lackierungen werden in einem Umlufttrockner (A - Bauweise) über 44 min bei 60 °C ausgehärtet.

Verfahrensschritt 7: Lackschicht - Nachtrocknung und -Kühlung

Wie beim IST - Zustand werden die gehärteten Lackschichten im Hallenbereich am Kreisförderer nachgetrocknet (hier über ca. 40 min), abgekühlt und von den Abdeckmaterialien befreit.

Verfahrensschritt 8: Teileabnahme

Die fertig lackierten Teile werden in umgekehrter Reihenfolge zum Verfahrensschritt 1 vom Kreisförderer wieder auf den Power + Free - Förderer umgesetzt, dort abgenommen und für den Versand bereitgestellt.

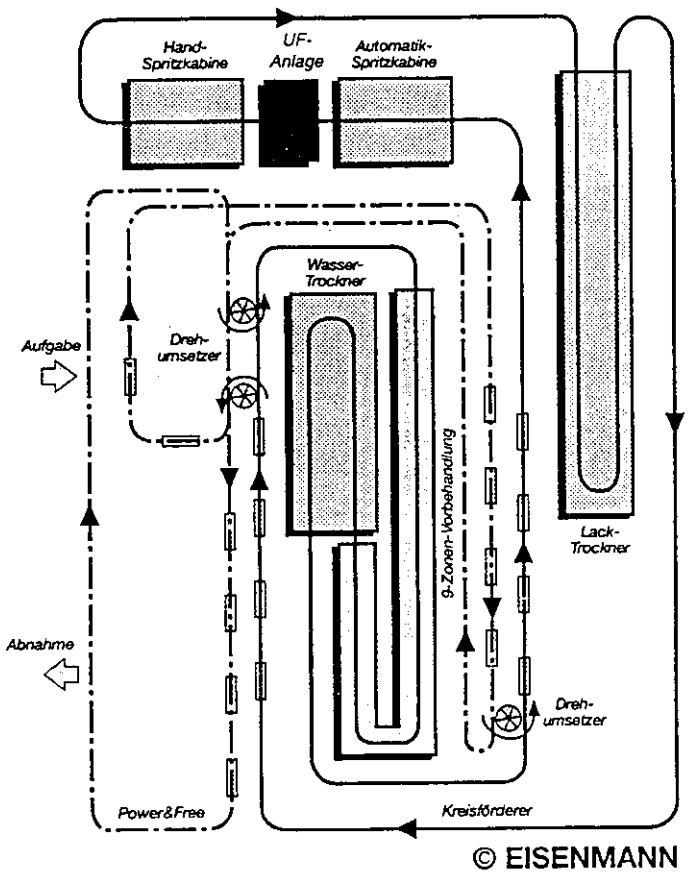


Abbildung A3: Schematische Darstellung der Lackiererei - Neukonzeption

3.2.2 Funktionsweise der Anlage zur Lackoverspray-Rückgewinnung

Das zu recycelnde Lackoverspray wird im Auswaschsystem der Spritzkabinen aufgefangen, die mit vollentsalztem, koaguliermittelfreien Wasser befüllt sind. Nach Schichtende wird das mit Overspray angereicherte Kabinenwasser chargenweise in den Konzentratbehälter gepumpt, gerührt und dem Rückgewinnungsprozeß zugeführt (UF - Anlage in Abbildung A4). Eine Exzenterschneckenpumpe fördert das Lack-/Wassergemisch über den vorgeschalteten Beutelfilter zu den Plattenmodulen der UF - Membran. Der UF-Aufkonzentrationsprozeß beginnt z.B. nach dem bei der Datenerfassung laufenden Dreischichtbetrieb bei ca. 7 - 13 % Lackfestkörper (pH - Wert 8,5 -9) und wird beendet, wenn der Recyclinglack den Festkörpergehalt des Frischlacks von ca. 45 % erreicht hat. Die Plattenmodule müssen dabei jährlich ca. 1 bis 2 mal mit Butylglykol gespült werden; die Behandlung des verunreinigten Spülmediums ist in Abs. 4.2 beschrieben.

Das abgetrennte Wasser wird der Naßauswaschung der Spritzkabinen wieder zugeführt. Der Recyclinglack wurde zunächst (März 1994 bis September 1995) in den Anlieferungscontainern dem Lacklieferanten zur endgültigen Aufarbeitung übergeben und nach Rücklieferung mit dem Frischlack vermischt wieder verarbeitet. Seit September 1995 wird der Recyclinglack ohne den Zwischenschritt der Aufarbeitung beim Lacklieferanten sofort wieder eingesetzt.

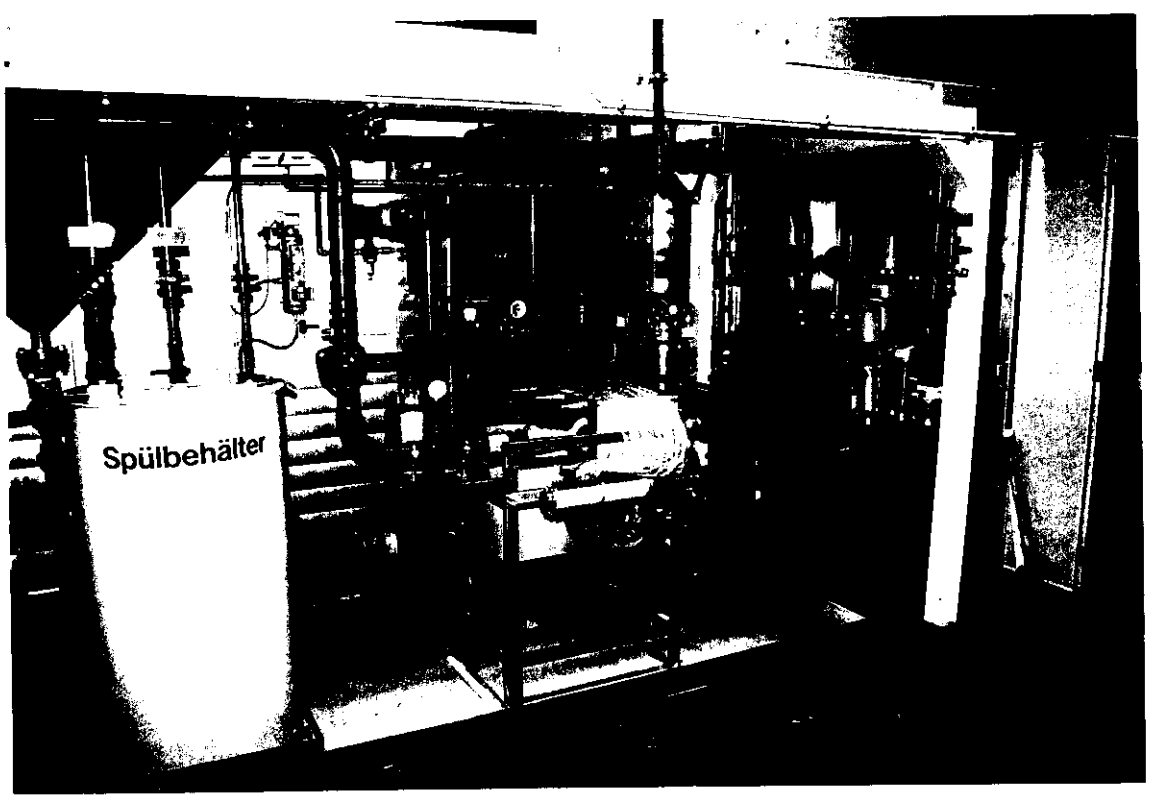


Abbildung A4: Anordnung der ursprünglichen UF - Anlage zwischen den Spritzkabinen

3.2.3 Änderung der Lackeinsatzmenge

Aufgrund der ab 01.07.1994 geforderten, erhöhten Korrosionsschutzqualität (siehe Abs. 3.1.5) muß die Lackschichtdicke von ehemals ca. 60 µm auf ca. 100 µm gesteigert werden. Darüber hinaus erhöht sich die Stückzahl der jährlich zu lackierenden Fahrzeuglenkungen von ca. 600.000 Aggregaten in der alten Lackieranlage auf ca. 700.000 (Hochrechnung aufgrund der vorliegenden Daten vom September 1994) in der neuen Lackiererei.
Bei diesen veränderten Rahmenbedingungen erhöht sich auch notwendigerweise der Lackverbrauch; durch die geschätzte Erhöhung des Auftragswirkungsgrades von ca. 30% auf 45 % aufgrund des neuen Applikationssystems fällt die Zunahme des Lackeinsatzes allerdings weniger stark aus (Abbildung A5). Aufgrund der bisher ermittelten Verbrauchswerte und einer groben Hochrechnung erhöht sich die Einsatzmenge des schwarzen Lackes von ca. 59,2 t/a auf ca. 77 t/a, die Menge für die oxidroten und schilfgrünen Farbtöne wird auf ca. 15 t/a geschätzt. Damit ergibt sich eine Gesamt-Einsatzmenge der Einkomponentenlacke von ca. 92 t/a. Mit dem Wiedereinsatz von ca. 40 t/a an rückgewonnenem schwarzen, und ca. 6 t/a (geschätzt) an rotem und grünem Wasserlack verringert sich der Einsatz an frischem Wasserlack auf ca. 46 t/a.
Nach einer Kundenabstimmung werden seit Mitte 1995 auch die Sonderlackierungen (bisher 2K-Lacke) mit dem neuen 1K-Wasserlack ausgeführt und das Overspray recycelt. Diese geringe Lackmenge von ca. 0,7 t/a wird in den Bilanzierungen nicht explizit berücksichtigt.

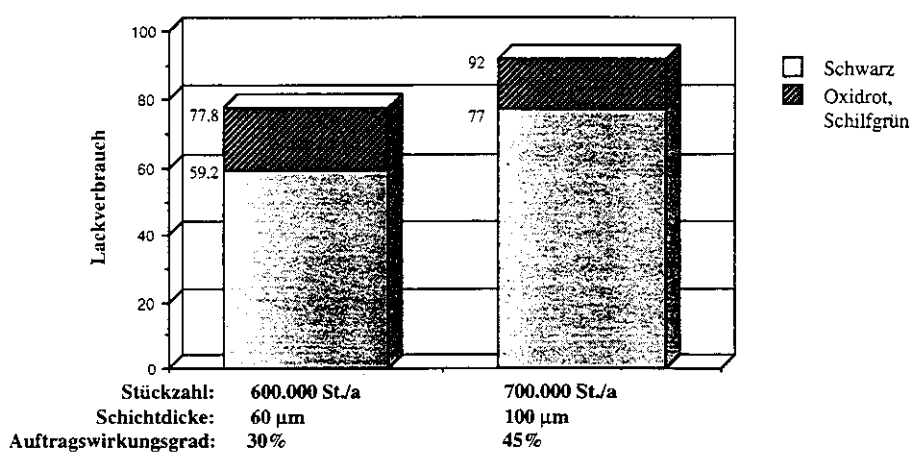


Abbildung A5: Erhöhung des Lackverbrauchs durch Stückzahl- und Qualitätssteigerungen

3.2.4 VVV - Potential der Lackierabfälle

Der im Verfahrensschritt "Spritzlackierung" bisher anfallende Lackschlamm soll soweit als möglich farbtonrein zurückgewonnen und ohne Qualitätsminderung im Spritzprozeß wiederverwendet werden können. Bei der aktuellen Mengenbilanz (siehe Abs. 3.2.3) führt dies zu einer Lackeinsparung von ca. 46 t/a bzw. aufgrund der verbleibenden Lackschlammenge von 8 t/a (betriebliche Angabe) zu einer Lackschlammverminderung von ca. 52 t/a.

4 Durchgeführte Untersuchungen und Ergebnisse

Die Projektarbeiten lassen sich in zwei Stufen gliedern:

- Entwicklung eines geeigneten Wasserlacks in Abstimmung mit der Ultrafiltrationstechnik
- Erprobung und Optimierung des gesamten Lackrückgewinnungssystems im Praxisbetrieb.

4.1 Entwicklung eines lufttrocknenden Wasserlacks in Abstimmung mit der Ultrafiltrationstechnik

Aufgrund der Anforderungen des betrachteten Lackierprozesses mußte ein luft-bzw. forciert trocknender 1K-Wasserlack entwickelt werden. Vom Lacklieferanten (Fa. Schwaab, Weingarten) wurde ein Wasserlack mit ca. 7,5 Gewichts-% an organischen Restlösemitteln entwickelt, der im Vorfeld auf Ultrafiltrierbarkeit überprüft wurde. An der Technikumsanlage des Lacklieferanten wurde dabei der Praxisbetrieb simuliert (zur Vorgehensweise siehe auch Kap. 2 im "Allgemeinen Projektteil").

Die erzielten Ergebnisse des Technikumsbetriebs und die Qualitätsprüfungen der mit dem Recyclinglack beschichteten Prüfteile in Verbindung mit einer verbesserten Teilevorbehandlung ergaben positive Aussagen, so daß die Übertragung des Lackrückgewinnungssystems in die neue Lackieranlage freigegeben werden konnte.

4.2 Erprobung und Optimierung des gesamten Lackrückgewinnungssystems

Das gesamte System zur Wasserlackrückgewinnung, bestehend aus den Komponenten

- Spritzkabine, speziell ausgelegt für das Ultrafiltrationsrecycling,
- Kabinenwasser (VE-Wasser und Master-Batch) und
- Ultrafiltrationsanlage

wurde bei der neu erstellten Gesamt-Lackieranlage integriert.

Es wurde durch konstruktive Maßnahmen eine Reduzierung des Kabinenwasservolumens von ursprünglich ca. 3 m^3 auf 1,4 m^3 je Spritzkabine erreicht, so daß ein einstufiges Ultrafiltrationsverfahren möglich ist.

Die relativ geringen Erfahrungen bei der Ultrafiltration und Rückgewinnung von Wasserlacken erforderten eine Reihe von anlagentechnischen Optimierungen, vor allem bezüglich folgender Schwachstellen:

- Zur Reduzierung der Scherbeanspruchungen des Lack-/Wassergemischs und seiner turbulenten Strömungen wurden Leitungsführungen und Rührwerke in der Spritzkabine und Ultrafiltrationsanlage soweit verbessert, bis Schaumbildungen weitgehend vermieden werden konnten.
- Anstelle der zunächst verwendeten, außen liegenden Kreiselpumpen wurden Tauchpumpen im gesamten Wasser-/ Lack-Umwälzsystem eingebaut. Die wiederholt auftretenden Undichtheiten durch ausreagierte Lackreste unter den Dichtlippen wurden damit vermieden.

Das gesamte Rückgewinnungssystem läuft seit seiner Inbetriebnahme im März 1994 zufriedenstellend, wobei Optimierungen an den Anlagenkomponenten erforderlich waren (s.o.) und noch durchzuführen sind. Der Recyclinglack wurde in der Anfangsphase dieser Betriebsweise vor seinem Wiedereinsatz in der Produktion beim Lacklieferanten aufgearbeitet.

In Abbildung A6 sind beispielhaft die Daten eines Aufkonzentrationsprozesses aus dieser Anfangsphase dargestellt; vor allem sind folgende Funktionen zu beachten:
Der Aufkonzentrationsprozeß beginnt bei einem Lackfestkörpergehalt FK von ca. 7 Gewichts-% und wird bei ca. 46 % beendet. Der Fluxwert Qp der Ultrafiltration liegt am Anfang bei 460 l/h und fällt danach kontinuierlich ab. Bei diesen Bedingungen dauert der Ultrafiltrationsvorgang für die zu behandelnden ca. 3 m^3 Kabinenwasser ca. 16 h; im allgemeinen dürfte der Zeitbedarf von ca. 20 h nicht überschritten werden.

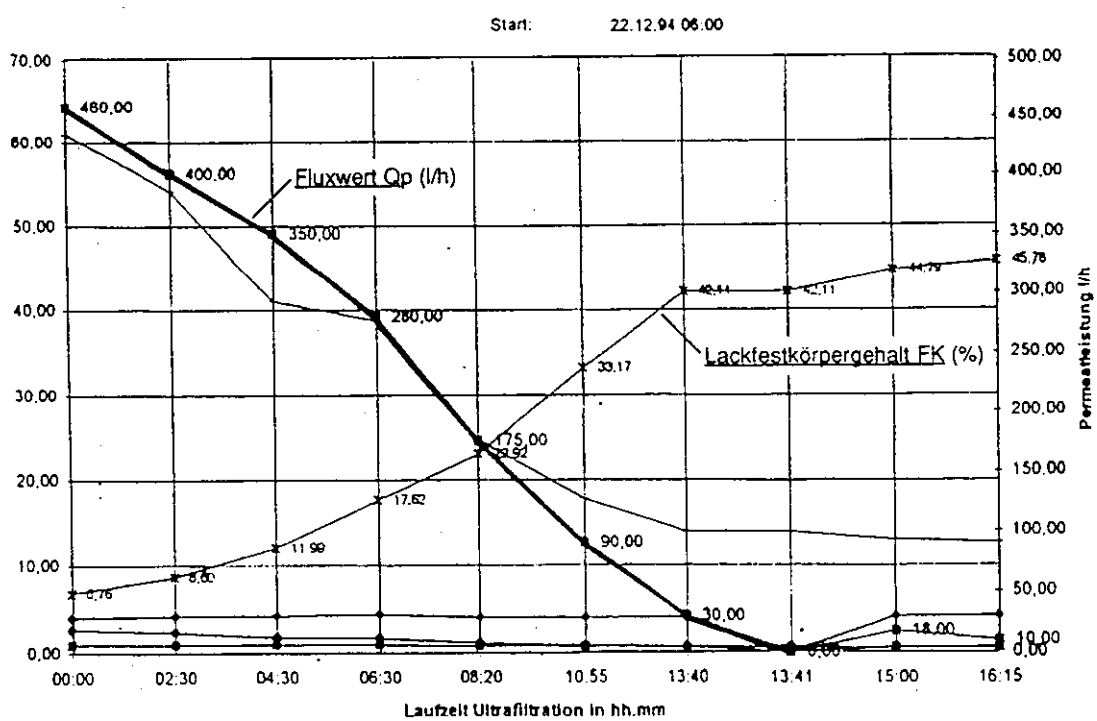


Abbildung A6: Verfahrensdaten eines Aufkonzentrationsprozesses (beispielhaft)

Der direkte Wiedereinsatz des Recyclinglacks im Spritzprozeß ohne den Zwischenschritt der externen Aufarbeitung wird seit September 1995 praktiziert. Der Recyclinglack fällt dabei als Farbgemisch (schwarz - rot - grün) an. Durch die nur geringen Anteile an rotem und grünem Lack wurde dieses Farbgemisch zunächst dem schwarzem Frischlack zugegeben, so daß der entstehende Lackfilm - Farbton immer noch die dekorativen Vorgaben erfüllt; der Recyclinglack wurde dabei gemeinsam mit dem Frischlack (Verhältnis 30:70 %) auf Verarbeitungsviskosität eingestellt. Derzeit wird der Recyclinglack ohne Frischlackzugabe, nur mit Beimischung von Farbpaste zur Farbtonabstimmung, verarbeitet.

Durch die zunehmende Auslastung der Lackiererei (bis zum Dreischicht - Betrieb) wurde die Leistungsgrenze der ursprünglich installierten Ultrafiltrationsanlage überschritten. Diese Produktionssteigerungen erforderten eine Leistungsanpassung des Rückgewinnungssystems. Es wurde eine neue Ultrafiltrationsanlage mit höherer Kapazität in die Lackieranlage integriert, während das vorhandene UF -System als funktionsfähige "stand - by - Anlage" erhalten blieb. Die Wahl des betrachteten Unternehmens fiel bei der neuen Anlage auf ein System mit Wickelmodulen von 24 m^2 Gesamtoberfläche, das eine höhere Fluxleistung bei zunehmendem Lackfestkörpergehalt gegenüber den Plattenmodulen der vorhandenen UF-Anlage aufweist. Darüber hinaus ist zukünftig eine automatische Überwachung und Abschaltung beim Erreichen des vergegebenen Festkörpergehalts des Recyclinglacks beim Aufkonzentrationsprozess integriert.

Die sechs Wickelmodelle dieser neuen UF-Anlage werden monatlich mit einem Butylglykolansatz (50 % VE-Wasser) gespült. Das gebrauchte Spülmedium wird ohne Zusatz von Koaguliermittel in einem Absatzbehälter gesammelt, wobei der relativ saubere Anteil (ca. 75 %) abgezogen und wieder verwendet wird. Der mit Lackresten verunreinigte, nicht mehr verwendbare Anteil soll über ein Entsorgungsunternehmen destilliert und ebenfalls wiederverwendet werden; bei negativen Ergebnissen der derzeit laufenden Destillationsversuche ist eine Entsorgung als besonders überwachungsbedürftiger Sonderabfall erforderlich.

Ähnlich wie der Verfahrensablauf bei der ursprünglichen UF-Anlage (vgl. Abs. 3.2.2) wird nach Schichtende das mit Wasserlackoverspray angereicherte Spritzkabinenauswaschwasser in den Ausgleichsbehälter gepumpt, die Kabine mit Permeat gespült und -sofern erforderlich- die Abschlagszone gereinigt. Zu Beginn der folgenden Tagesschicht werden die Kabine und der Arbeitsbehälter der UF-Anlage mit dem Overspray-Wassergemisch aus dem Ausgleichsbehälter befüllt. Während der Produktion findet die Aufkonzentrierung mittels Ultrafiltration statt. Nach Erreichen der Endfestkörperkonzentration wird der gewonnene Recyclinglack in einen separaten Lackcontainer gepumpt, der Arbeitsbehälter der UF-Anlage mit Permeat gespült und eine Probe des Recyclinglacks gezogen, die anschließend einer Qualitätskontrolle unterzogen wird.

Im Rahmen des innerbetrieblichen Qualitätssicherungssystems gestaltet sich der Ablauf vor der Verarbeitung des neuen Wasserlacksystems wie folgt:

- Behandlung des Frischlacks:
  - Anlieferung in 500 l-Wechselcontainern,
  - Befüllen der Abeitsbehälter mittels Flurföderzeug,
  - Rühren des Lackes (ca. 1 h) zur Homogenisierung,
  - Qualitätskontrolle durch tägliche Temperatur-, Viskositäts- und pH-Wertmessungen sowie stichprobenartige Prüfung des Festkörpergehalts.

- Behandlung des Recyclinglacks:
  - Tägliche Rückgewinnung über die neue 6-modulige Ultrafiltrationsanlage mit automatischer Festkörperüberwachung (s.o),
  - Befüllen der Arbeitsbehälter (separat vom Frischlack),
  - Rühren des Recyclinglacks (ca. 1 bis 2 h) unter Beigabe von Farbpaste zum Erreichen des erforderlichen Farbtons für den schwarzen Lack,
  - Qualitätskontrolle durch tägliche Temperatur-, Viskositäts- und pH-Wertmessungen.

5 Vergleich der realisierten Maßnahmen mit dem IST - Zustand vor Projektbeginn bei der Spritzlackierung

Aufgrund der Betriebserfahrungen mit dem in der Lackiererei installierten Ultrafiltrations - Rückgewinnungssystem ergeben sich die im folgenden aufgeführten Veränderungen gegenüber dem IST-Zustand vor Projektbeginn. Dieser SOLL-IST-Vergleich geht dementsprechend nur vom Verfahrensschritt der Spritzlackierung aus.

Betriebsparameter (entspr. Kap. 3)	**SOLL - IST - Vergleich**			**Erläuterungen**
	IST-Zustand	**SOLL-Zustand**	**Veränderungen**	
<u>Einsatzstoffe</u>				- Der IST-Einsatz der Lösemittellacke ist auf die Menge bei erhöhter Teilestückzahl und Schichtdicke von ca. 92 t/a (siehe Abs. 3.2.3) hochgerechnet
- Lösemittelhaltige Alkydharz-Kombinationslacke	ca. 92 t/a	- - -	- 50 %	
- Lufttr. Wasserlacke	- - -	ca. 46 t/a		
- Koaguliermittel	ca. 1,2 t/a	- - -	- 100 %	- Beim SOLL-Einsatz der Wasserlacke ist bereits die Recycling-Menge von ca. 46 t/a abgezogen; d.h. hier ist die Frischlackmenge angegeben
- Butylglykol	- - -	ca. 0,65 t/a	+ 100 %	
- Auswaschwasser	ca. 1800 t/a (Stadt-W.)	ca. 1080 t/a. (VE-W.)	- 40 %	
- Master-Batch	- - -	ca. 0,5 t/a	+ 100 %	
<u>Abfälle</u>				- Der verbleibende Lack schlamm entsteht durch Verluste beim Entleeren und Reinigen der Spritzkabinen, durch abgelagertes Overspray (hauptsächlich auf den Gitterrosten der Kabinen) sowie durch Rückstände aus den UF-Modul-Spülungen
- Lackschlamm	ca. 60 t/a	ca. 8 t/a	- 87 %	
- Abwasser bei Badwechseln (bezogen auf d. Badvolumen)	2x3 m^3	2x1,4 m^3	- 53 %	
- Lackgebinde (Restmenge für Sonderfarben)	ca. 50 St./a	ca. 50 St./a	unverändert	- Die Hauptfarben werden in Wechselcontainern geliefert
<u>Sonstige Umweltbelastungen</u>				- Die Lösemittelemissionen sind auf die Lackmenge von 92 t/a hochgerechnet.
- Lösemittel	ca. 51 t/a	ca. 7 t/a	- 86 %	
- Geruch	keine Belastung	keine Belastung	keine	- Der Geruch der Wasserlacke ist nach Mitarbeiterbefragung "anders", aber nicht belastend
<u>Lackierqualität</u>	nicht i.O. (ab 1.7.94)	i.O.	Verbesserung	- Gilt nur für die Salzsprühnebelbeständigkeit (ab 1.7.94 erhöhte Anforderungen)

6 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Im folgenden werden die jährlichen, gerundeten Betriebskosten für den Bereich der Spritzlackierung vor und nach Einführung der Maßnahme zur Rückgewinnung des Lackoversprays entsprechend der Daten in Kap. 5 verglichen (weitere Erläuterungen auf der folgenden Seite):

Kostenarten	**Kosten (gerundet) vor Lackrückgewinnung (DM/a)**	**Kosten (gerundet) nach Lackrückgewinnung (DM/a)**
Materialkosten		
- Lösemittellacke (7,30 DM/kg)	671.600,-	---
- Lufttr.-Wasserlacke (7,50 DM/kg)	---	345.000,-
- Koaguliermittel (4,30 DM/l)	5.200,-	---
- Butylglykol (3,90 DM/kg)	---	2.500,-
- Auswaschwasser (ca. 4,- DM/t)	7.200,-	4.300,-
- Master-Batch (11,- DM/l)	---	5.500,-
Summe Materialkosten	684.000,-	357.300,-
	Einsparung:	**326.700,-**
Entsorgungskosten		
- Lackschlamm	90.000,-	12.000,-
- Abwasseraufbereitung	innerhalb der Gesamtbetrachtung vernachlässigbare Kosten für Chemikalien und Betrieb	
Summe Entsorgungskosten	90.000,-	12.000,-
	Einsparung:	**78.000,-**
Sonstige Betriebskosten		
- Personalkosten zur Reinigung der Spritzzone	44.600,-	63.000,-
- Aufbereitung VE-Wasser (8,- DM/t)	---	8.600,-
- Energiekosten für den Betrieb der UF-Anlage	---	8.000,-
- Wartungskosten der UF-Anlage (5 % der Investitionskosten)	---	13.000,-
Summe sonstige Betriebskosten	44.600,-	92.600,-
	Verteuerung:	**48.000,-**
	Gesamteinsparung:	**356.700,-**

Erläuterungen zu den Kostenarten:

- Die angegebenen Materialkosten orientieren sich an den hochgerechneten Materialmengen entsprechend Abs. 3.2.3 und den Mengenangaben in Kap. 5.
- Die Entsorgungskosten für den Lackschlamm errechnen sich aufgrund eines angenommenen, durchschnittlichen Basispreises von 1.500 DM/t.
- Die Personalkosten zur Reinigung der Spritzzone entstanden vor Einführung der Lackrückgewinnung durch die alle sechs Wochen erforderliche Reinigungsmaßnahme. In der neuen Lackieranlage erhöhen sich diese Kosten durch die täglichen Reinigungen incl. Lackfilterreinigung auf 48.000 DM/a zuzüglich einer jährlichen Großreinigung von 15.000 DM.
- Die Energiekosten für die UF-Anlage werden durch die Leistungsaufnahme des Kälteaggregats und der Umwälzpumpe von insgesamt 15 kW, der Laufzeit von durchschnittlich 11 h/Arbeitstag sowie den Kosten von 0,2 DM/kWh bestimmt.

Die Investitionskosten für die Ultrafiltrationsanlage zur Rückgewinnung des Lackoversprays betragen insgesamt ca. 260.000 DM. Dieser Betrag beinhaltet den kompletten Aufbau zum Lackrecycling sowie einen geschätzten Kostenanteil der Kreislauf-Vollentsalzungsanlage zur Aufbereitung des VE-Wasser für die Kabinenauswaschung (die VE-Anlage wird gleichzeitig zur VE-Wassererzeugung für die wäßrigeVorbehandlung benötigt.).
Da die Anschaffung der Spritzkabinen mit ihren peripheren Einrichtungen als Ersatzinvestition für den alten Spritzbereich einzustufen ist und die Beschaffungskosten durch die Recyclinganlage nicht nachweislich beeinflußt werden, sind diese Kosten hier nicht berücksichtigt.

Zu den oben genannten Investitionskosten kommt ein Pauschalbetragvon ca. 100.000 DM hinzu, der dem betrachteten Unternehmen durch Optimierungsarbeiten im Spritzbereich in Verbindung mit dem Lackrecycling während des Projekts entstand (Kosten für Personal und Anlagenkomponenten).

Bei den somit anfallenden Gesamtkosten von ca. 360.000,- DM ergibt sich unter Berücksichtigung der Kosteneinsparungen von ca. 356.700 DM/a (siehe Seite A 22) und einer angenommenen jährlichen Verzinsung von 10 % eine Amortisationsdauer von 1,1 Jahren.

Die Investitions- und Projektkosten für die Ultrafiltrationsanlage amortisieren sich somit innerhalb eines Jahres.

7 Übertragbarkeit der Projektergebnisse

In einer neu errichteten Spritzlackieranlage zur Beschichtung von Fahrzeuglenkungen mit lufttrocknenden Wasserlacken wurde ein Overspray-Rückgewinnungssystem integriert. Das dabei eingesetzte Ultrafiltrationsverfahren zur Aufkonzentration des im Kabinenwasser abgeschiedenen Lackoversprays ist verfahrensbedingt nur für Einkomponenten-Wasserlacke geeignet.

Die erfolgreiche Durchführung dieses Vorhabens eröffnet neue Anwendungsgebiete der Lackoverspray-Rückgewinnung für die industrielle Metall-Lackierung mit luft- bzw. forciert trocknenden Wasserlacken, u.a. bei der Serienlackierung temperaturempfindlicher Geräte und montierter Aggregate.

Darüber hinaus stehen aus dem hier durchgeführten Lackieranlagen-Neubau weitere, konkrete Erfahrungen bei der Auslegung der Anlagentechnik im Applikationsbereich für vergleichbare Projektierungen zur Verfügung, insbesondere zur Gestaltung der Spritzkabine, der Oversprayauswaschung sowie der Lack- und Prozeßwasserversorgung. Ebenso ist der Ablauf bei Einführung und Betrieb der Lackoverspray-Rückgewinnung als exemplarische Vorgehensweise für potentielle Anwender der Ultrafiltrations-Technologie anzusehen.

Projektteil B

Untersuchung der Ultrafiltrations-Technologie bei der Lackierung von Kunststoff-Stoßfängern für Nutzfahrzeuge

Anwender:

Menzolit-Fibron GmbH
Hermann Beuttenmüller Straße 11-13
75015 Bretten

Ansprechpartner:

Herr R. Kühfusz, Tel.: (07258) 69-110

1 Kurzfassung

Die Menzolit-Fibron GmbH stellt im Werk Bretten Stoßfänger und Seitenblenden aus glasfaserverstärkten Harzmatten (SMC) für Nutzfahrzeuge her. Bei der einschichtigen, dekorativen Lackierung dieser Teile mit einem matt-schwarzen Lack entstehen Sonderabfälle; hauptsächlich fallen jährlich ca. 100 t an Lackschlämmen an, die durch die Oversprayverluste beim Spritzprozeß verursacht werden.

Ziel des vorliegenden Projekts ist die weitgehende Vermeidung dieser Abfälle bei gleichzeitiger Sicherung der Beschichtungsqualität und Reduzierung der Lackierkosten. Das betrachtete Unternehmen plant, in der betreffenden Lackierlinie (Lackieranlage I) die Lackverluste und damit den kostenintensiven Lackverbrauch und Aufwand zur Lackschlammentsorgung mit Hilfe der Ultrafiltrationstechnik deutlich zu verringern.

Im Rahmen eines Pilotprojekts wurde die Einsatzmöglichkeit eines Einbrenn-Wasserlacks in Verbindung mit der Ultrafiltrations-Technologie zur Rückgewinnung der Spritzverluste untersucht. Die Entwicklung des Lacksystems wurde bis zum Einsatz in einem Großversuch in der Produktion des betrachteten Unternehmens vorangetrieben, wobei bis auf applikationsbedingte Qualitätsprobleme eine ausreichende Beschichtungsqualität erzielt werden konnte.

Bei der geplanten Einführung der Lackoverspray-Rückgewinnung in die Lackieranlage I ist eine Verminderung der Lackeinsatzmenge für den Spritzbereich von ca. 47% zu erwarten. Der Lackschlammanfall reduziert sich um ca. 90%, wobei die Koaguliermittel zur Lackschlammbehandlung vollständig eingespart werden. Die Material- und Entsorgungskosten werden dadurch derart eingeschränkt, daß sich die erforderlichen Projektkosten und Anlageninvestitionen bei einer Um-bzw. Aufrüstung des Spritzbereichs für die Rückgewinnung des Wasserlack-Oversprays innerhalb von wenigen Jahren amortisieren dürften.

Zur Realisierung eines Lackoverspray-Rückgewinnungssystems mittels Ultrafiltration ist bei diesem spezifischen Anwendungsfall neben der Verbesserung der Lackzerstäubung und der Filmtrocknung eine Ersatzanschaffung der Spritzkabine in der Lackieranlage I notwendig. Die vorgesehenen, weiterführenden Recycling-Simulationen in der Technikumsanlage des Lackherstellers zielen auf die Erarbeitung von Grundsatzaussagen zum Umlaufverhalten des Wasserlacks und von entsprechenden Lack-Modifikationen ab.

1 Kurzfassung

Die Menzolit-Fibron GmbH stellt im Werk Bretten Stoßfänger und Seitenblenden aus glasfaserverstärkten Harzmatten (SMC) für Nutzfahrzeuge her. Bei der einschichtigen, dekorativen Lackierung dieser Teile mit einem matt-schwarzen Lack entstehen Sonderabfälle; hauptsächlich fallen jährlich ca. 100 t an Lackschlämmen an, die durch die Oversprayverluste beim Spritzprozeß verursacht werden.

Ziel des vorliegenden Projekts ist die weitgehende Vermeidung dieser Abfälle bei gleichzeitiger Sicherung der Beschichtungsqualität und Reduzierung der Lackierkosten. Das betrachtete Unternehmen plant, in der betreffenden Lackierlinie (Lackieranlage I) die Lackverluste und damit den kostenintensiven Lackverbrauch und Aufwand zur Lackschlammentsorgung mit Hilfe der Ultrafiltrationstechnik deutlich zu verringern.

Im Rahmen eines Pilotprojekts wurde die Einsatzmöglichkeit eines Einbrenn-Wasserlacks in Verbindung mit der Ultrafiltrations-Technologie zur Rückgewinnung der Spritzverluste untersucht. Die Entwicklung des Lacksystems wurde bis zum Einsatz in einem Großversuch in der Produktion des betrachteten Unternehmens vorangetrieben, wobei bis auf applikationsbedingte Qualitätsprobleme eine ausreichende Beschichtungsqualität erzielt werden konnte.

Bei der geplanten Einführung der Lackoverspray-Rückgewinnung in die Lackieranlage I ist eine Verminderung der Lackeinsatzmenge für den Spritzbereich von ca. 47% zu erwarten. Der Lackschlammanfall reduziert sich um ca. 90%, wobei die Koaguliermittel zur Lackschlammbehandlung vollständig eingespart werden. Die Material- und Entsorgungskosten werden dadurch derart eingeschränkt, daß sich die erforderlichen Projektkosten und Anlageninvestitionen bei einer Um-bzw. Aufrüstung des Spritzbereichs für die Rückgewinnung des Wasserlack-Oversprays innerhalb von wenigen Jahren amortisieren dürften.

Zur Realisierung eines Lackoverspray-Rückgewinnungssystems mittels Ultrafiltration ist bei diesem spezifischen Anwendungsfall neben der Verbesserung der Lackzerstäubung und der Filmtrocknung eine Ersatzanschaffung der Spritzkabine in der Lackieranlage I notwendig. Die vorgesehenen, weiterführenden Recycling-Simulationen in der Technikumsanlage des Lackherstellers zielen auf die Erarbeitung von Grundsatzaussagen zum Umlaufverhalten des Wasserlacks und von entsprechenden Lack-Modifikationen ab.

2 Kurzbeschreibung des Anwender-Unternehmens

2.1 Allgemeine Betriebsdaten

Die Menzolit-Fibron GmbH stellt im Werk Bretten Kunststoff-Formteile, vor allem als Anbauteile für Nutzfahrzeuge, her.

Im betrachteten Unternehmen sind insgesamt ca. 1050 Mitarbeiter im Dreischichtbetrieb beschäftigt. Die Lackierarbeiten sind auf zwei Lackierlinien verteilt, wobei in der hier betrachteten Lackieranlage I 40 Mitarbeiter tätig sind. Der jährliche Gesamtumsatz beträgt ca. 200 Mio DM.

2.2 Produkte

In der sogen. Harzmattenfertigung werden vor allem Stoßfänger und Seitenblenden für Nutzfahrzeuge aus glasfaserverstärkten Harzmatten (SMC = sheet mould compounds) hergestellt. Jährlich werden von den insgesamt 30 Teiletypen ca. 900.000 Stück hergestellt, von denen ca. 360.000 in der Lackieranlage I beschichtet werden (Beispiele in Abbildung B 1).

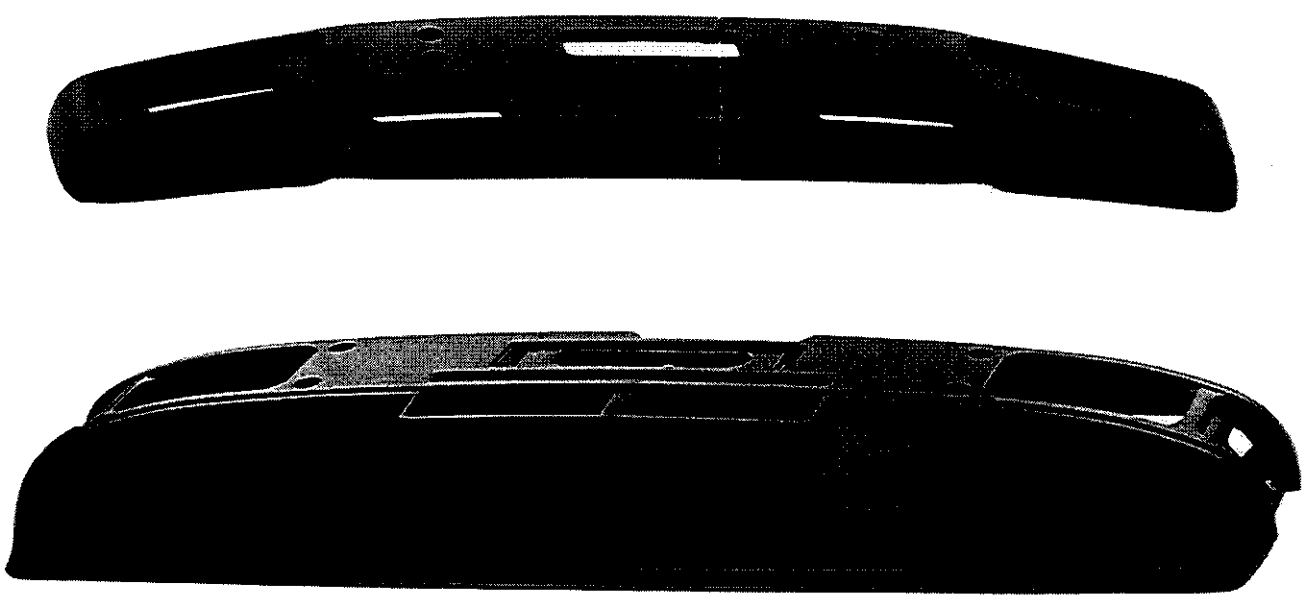


Abbildung B 1: Lkw-Stoßfänger

2.3 Produktionsverfahren in der Lackiererei

Nach dem Pressen und Trimmen werden die Kunststoff-Formteile zu den Durchlauf-Lackieranlagen befördert. Die Trimmarbeiten (Entgraten, Schleifen und Fräsen) auf den frisch gepreßten Teilen sind als Reparaturarbeiten der Rohteileherstellung zugeordnet.

In jeder der beiden bestehenden Lackierlinien (Lackieranlage I und II) werden die Teile zunächst naßchemisch gereinigt und anschließend einschichtig mit lösemittelhaltigen Zweikomponenten-Lacken spritzlackiert; in der hier betrachteten Lackieranlage I ausschließlich mit dem Farbton matt - schwarz. Die an einem Hänge-Kreisförderer befestigten Teile werden in einem teilautomatisierten Prozeß behandelt; manuell ausgeführt werden noch die Spritzlackierung und die Ausbesserung von Lackierfehlern (siehe auch Abs. 3.1.1).

2.4 Entsorgungssituation im Bereich der Lackiererei

Der betrachtete Lackierbetrieb ist eine Nebeneinrichtung der nach BImSchG genehmigten Harzmattenfertigung. Die Abfallsituation wird hauptsächlich durch die jährlich anfallenden Lackschlämme von ca. 100 t bestimmt. Der aus den Naßauswaschungen der Spritzkabinen ausgetragene Lackschlamm wird gemeinsam mit den Lackresten von der Gitterrostentlackung und Anlagenreinigung als besonders überwachungsbedürftiger Sonderabfall entsorgt (Abfallschlüsselnummer 555 03).

Spritzkabinenwasser fällt dann an, wenn zu Wartungs- und Instandhaltungszwecken, insbesondere für die Bodenräume, das Wasservolumen der Kabinen abgelassen wird. Die dort anfallenden Abwässer werden, ebenso wie die Abwässer aus der Teilereinigung, in den zugeordneten Reinigungsanlagen des betrachteten Unternehmens aufbereitet und in die öffentliche Kanalisation eingeleitet.

Darüber hinaus fallen aus dem Spritzlackierbereich für die Reinigung der Geräte, Anlagen und Lackversorgung jährlich ca. 3 t an verunreinigten Lösemitteln an.
Das Lösemittelgemisch wird durch externe Destillation zurückgewonnen und im betrachteten Unternehmen wieder für Reinigungszwecke eingesetzt.
In der betrachteten Lackieranlage I werden für den dort eingesetzten Farbton Mehrweggebinde verwendet; der Anfall an Abfall-Lackgebinden ist unbedeutend.
Die mit ausgehärtetem Lackoverspray beladenen Filtermatten aus dem Handspritzstand des Ausbesserungsbereichs werden auf der zuständigen Hausmülldeponie entsorgt.

3 Zustand der Lackiererei

3.1 IST-Zustand in der betrachteten Lackieranlage I vor Projektbeginn

3.1.1 Verfahrensschritte

Der betrachtete Spritzbereich der Lackieranlage I dient dem Einschichtauftrag einer matt-schwarzen Lackierung. Dieser Lackierbereich wurde 1983 in Betrieb genommen; die Anlage ist seit ihrem Bestehen laufenden Optimierungsmaßnahmen, vor allem im Bereich der Applikationstechnik, unterworfen. Der Verfahrensablauf in der Lackieranlage I gliedert sich in folgende Schritte (siehe auch Abbildung B 2):

Verfahrensschritt 1: Teilebereitstellung und -aufgabe
Die unterschiedlichen Produkte werden in Losgrößen durch die Lackieranlage befördert. Dazu werden die Teile manuell an einem Hänge-Kreisförderer befestigt.

Verfahrensschritt 2: Vorbehandlung
Die durch Verschmutzungen von den Trimmarbeiten (siehe Abs. 2.3) und aus der Umgebung verunreinigten Teile werden wäßrig über eine Spritzentfettung (Power-Wash-Machine) mit Kaskaden-Spülzonen gereinigt. Im Entfettungsbad wird ein alkalischer Reiniger eingesetzt; die Verdunstungsverluste werden durch einen entsprechenden Frischwasserzusatz ausgeglichen. Die Abwässer der Spritzentfettung werden innerbetrieblich einer Abwasseraufbereitungsanlage zugeführt, neutralisiert und in die öffentliche Kanalisation eingeleitet. Die entstehenden Schlämme werden als Sonderabfall entsorgt.

Verfahrensschritt 3: Haftwassertrocknung und Teilekühlung
Nach der Vorbehandlung durchlaufen die Teile über 20 Minuten einen Haftwassertrockner bei 145 °C. Diesem Verfahrensschritt schließt sich eine Zone zur Abkühlung der Teile mit Luftumwälzung an.

Verfahrensschritt 4: Spritzlackierung
Der matt-schwarze Polyurethan-Decklack wird manuell im Spritzlackierverfahren verarbeitet. Dabei wird das nebelarme Druckluft-Spritzverfahren HVLP (high-volume-low-pressure) eingesetzt. Die Umstellung von der Hochdruck-Durchlaufzerstäubung auf dieses System erfolgte im Jahre 1991, wodurch der Lackverbrauch um ca. 20 % vermindert werden konnte. Die Lackierkabine (Abmessungen l x b = 9,75 m x 4 m, Zuluftleistung 70.200 m^3/h) beinhaltet eine Lackoverspray-Auswaschung und Lackschlammentsorgung. Das Auswaschwasser wird in einer Abwasserbehandlungsanlage vor der Einleitung in die öffentliche Kanalisation gereinigt.

Verfahrensschritt 5: Lackabdunstung /-trocknung und Kühlung

Nach der Spritzlackierung durchlaufen die Kunststoffteile zunächst eine Abdunststrecke, anschließend einen Umlufttrockner über 30 Minuten bei 100 °C und eine Kühlzone mit Luftumwälzung.

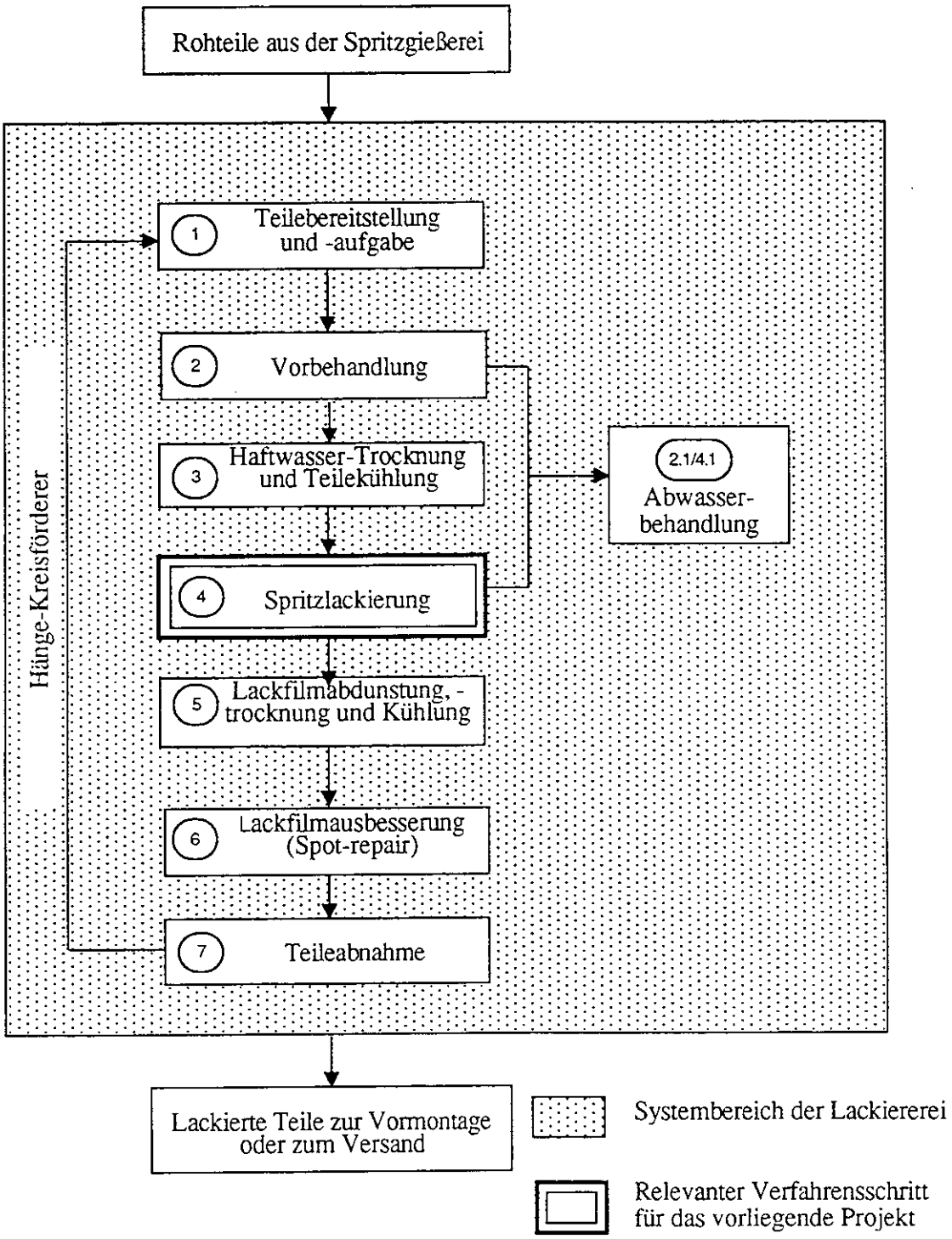
Verfahrensschritt 6: Lackfilmausbesserung (Spot-repair)

In der Anlage I werden seit 1992 Lackfilmfehler mit dem sogen. Spot-repair repariert. Beim Spot-repair werden die Fehler, die bisher zur kompletten Nachlackierung der Teile führten, soweit möglich (ca. 80 % aller Nachlackierungen) nur noch partiell außerhalb der eigentlichen Lackierkabinen ausgebessert. Hierzu ist in der Lackieranlage ein Handspritzstand mit Filtermattenabscheidung installiert. Durch diese Maßnahme konnten der Lackverbrauch und das Lackschlammaufkommen jeweils um ca. 20 % reduziert werden.

Verfahrensschritt 7: Teileabnahme

Nach der visuellen Qualitätskontrolle und den Spot-repair-Maßnahmen bzw. kompletten Nachlackierungen werden die Teile manuell vom Hänge-Kreisförderer abgenommen und den Vormontagearbeiten bzw. dem Versand zugeführt.

Abbildung B2 : Verfahrensablauf in der betrachteten Lackieranlage I



3.1.2 Materialeinsatz

Als Einsatzstoffe sind im folgenden die Lackmaterialien und Hilfsstoffe, die zum Betrieb der Lackieranlage I erforderlich sind, aufgeführt.

Einsatzstoffe	Menge (Erhebungsjahr 1992)	Verfahrensschritte (entspr. Abs. 3.1.1)
- Neutralreiniger	ca. 5 t/a	2: Vorbehandlung
- Frischwasserzusatz zum Ausgleich der Verdunstungsverluste	nicht bekannt	
- Zweikomponenten - Polyurethan - Decklack, matt - schwarz	ca. 144 t/a (incl. Härter)	4: Spritzlackierung
- Lackverdünnung (überwiegend zur Lackeinstellung und als Reinigungsmittel); die angeg. Menge enthält auch die durch Destillation rückgewonnene Menge (siehe Abs. 3.1.3)	ca. 36 t/a	
- Koagulationsmittel (alkalisch) zur Behandlung des Lackoversprays	ca. 12 t/a	
- Spritzkabinenwasser (Stadtwasser zum Ausgleich der Verdunstungsverluste)	nicht bekannt	
- Ausbesserungslack	ca. 2,5 t/a	6: Spot-repair
- Filtermatten zur Oversprayabscheidung	ca. 0,1 t/a	

3.1.3 Abfälle

Die aus der Lackieranlage I anfallenden Abfälle sind im folgenden erfaßt. Zu ihrer Charakterisierung ist neben der Abfall-Schlüsselnummer nach dem LAGA-Code auch die zukünftig relevante europäische Abfall-Schlüsselnummer (EWC) angegeben.

Bezeichnung der Abfälle	Schlüsselnummer		Menge (Erhebungsjahr 1992)	Verfahrensschritte (entspr. Abs. 3.1.1)
	LAGA-Code	EWC		
- Abwasser aus der Spritzentfettung	---	---	ca. 60 t/a	2: Vorbehandlung
- Schlämme aus der Abwasserreinigung	554 02	1401 07	nicht bekannt (betr. Menge der Lackieranl. I nicht separierbar)	
- Lackschlamm (Wassergehalt ca. 50 %) die festen Lackreste von der Gitterrostentlackung und Anlagenreinigung werden gemeinsam mit dem Lackschlamm erfaßt	555 03	0801 08	ca. 100 t/a	4: Spritzlackierung
- Lackgebinde	351 05	1501 04	unbedeutend (Stammlackanlieferung in Mehrweggebinden zu 200 kg; Härterbereitstellung im Container)	
- Verunreinigtes Lösemittel	553 70	0703 04	- - - (die erfaßte Menge von ca. 3 t/a wird durch externe Destillation zurückgewonnen)	
- Abwasser aus der Spritzkabine (behandelt)	---	---	ca. 40 t/a (Einleitung in die öffentl. Kanalisation)	
- Lackfestkörperbeladene Filtermatten	314 35 bzw. 555 11	0703 10	ca. 1 t/a	6: Spot-repair

3.1.4 Sonstige Emissionen und Umweltbelastungen

Der durchschnittliche Lösemittelgehalt der verarbeitungsfertig eingestellten Lackmaterialien beträgt ca. 43 Gewichts - %. Bei einem Lackeinsatz inkl. Lackverdünnung von insgesamt ca. 180 t/a werden somit auch ca. 77 t/a an Lösemitteln verarbeitet, die beim Spritzprozeß und während der Lackfilm-trocknung in die Umwelt emittieren.
Geruchsbelastungen und Lärmemissionen aus der betrachteten Lackieranlage sind nicht bekannt.

3.1.5 Lackierqualität

Es bestehen folgende Anforderungen an die funktionelle und dekorative Lackschichtqualität (angelehnt an die Liefervorschriften der Hauptabnehmer Mercedes-Benz und MAN):

Lackschichtdicke	:	25 µm (geforderte Mindestdicke); der IST-Zustand beträgt durchschnittlich ca. 50 µm
Mechanische Beständigkeit		
- Haftfestigkeit		
- bei Gitterschnitt, DIN 53 151	:	≤ Gt 1
- bei Kratzprobe, DBL 7399/5.1	:	≤ K 1
- Haftfestigkeit/Elastizität bei Multischlagprüfung, DBL 7399/5.3.2	:	nicht schlechter als Kennwertbild 1
- Kratzhärte, DBL 7399/5.4	:	≤ 2 N Federbelastung ohne sichtbare Ritzspur
Klimabeständigkeit		
- Schwitzwasserbeständigkeit DIN 50 017, Konstantklima, 168 h	:	Blasengrad (DIN 53 209) < m1/g1; Kratzprobe ≤ K 1 (s.o.); Farbabweichung s.u.
- Temperatur-Wechselbeständigkeit (105°C bis - 40°C)	:	keine Oberflächen-Veränderungen nach 3 Zyklen; Kratzprobe ≤ K 1 (s.o.)
- Künstliche Bewitterung	:	keine Oberflächen-Veränderungen nach Beanspruchung

Chemikalienbeständigkeit

-	Kühlerfrostschutzmittel	:	keine Veränderungen
-	Konservierungsmittel	:	keine Vermattung oder Verfärbung
-	Prüfkraftstoff (DIN 51 604, T 1)	:	keine Veränderungen
-	Ölruß	:	keine Verfärbungen
-	Schwefel-/Salzsäure	:	keine Farb-, Glanz- und Haftungsänderungen
-	Ammoniak, Teer	:	Farbänderung ≤ 2 nach Skala DBL 7399/6.4.3

Dekorativität

-	Farbe, DBL 7399/6.4	:	Abweichungen gegenüber Standard ≤ Abweichungsgrad 3 bis 4
-	Glanzvermögen, DBL 7399/6.1	:	Abweichungen gegenüber Standard ≤ Abweichungsgrad 2 bis 3
-	Durchschlagen, DBL 7399/4.3	:	kein Ausbluten

Die aufgeführten Qualitätsanforderungen werden beim IST-Zustand erfüllt.

3.2 Geplanter SOLL-Zustand in der betrachteten Lackieranlage I, insbesondere des Spritzlackierbereichs mit Lackoverspray-Rückgewinnung

3.2.1 Vorgehensweise zur Neukonzeption des Spritzlackierbereichs

Der Spritzprozeß zur Lackierung der Kunststoffteile bietet prinzipiell gute Voraussetzungen für die Rückgewinnung des Lackoversprays:

- Einseitige Lackierung der Teile mit hohen Stückzahlen im Durchlaufbetrieb,
- Verarbeitung relativ großer Lackmengen,
- Einsatz eines Lackmaterials mit einem Farbton in einer Lackieranlage, d.h. es sind keine Farbwechsel erforderlich und
- Einsatz eines Lackmaterials mit matter Einstellung, d.h. es bestehen keine extrem hohen Decklack-Anforderungen.

Das betrachtete Unternehmen beabsichtigt deshalb, in die Spritzzone der Lackieranlage I ein qualitativ geeignetes Wasserlacksystem einzuführen, dessen Overspray mit Hilfe der Ultrafiltrations(UF)-technik aus dem Kabinenwasser rückgewinnbar ist.

Dazu sollen nach der Verfügbarkeit des neuzuentwickelnden Wasserlacks (siehe Abs. 4.1) Vorversuche in einer nicht mehr genutzten Spritzkabine der parallel betriebenen Lackieranlage II durchgeführt werden. Dies erfordert einen auf die UF-Technologie abgestimmten Umbau der Spritzkabine, der nach der Kundenfreigabe des neuen, ultrafiltierbaren Wasserlacks erfolgen soll.

In den Rahmen des vorliegenden Projekts ist nur die Pilotphase der Stoßfängerlackierung mit Wasserlack und Ultrafiltration eingebunden. Die Realisierung einer erprobten Anlagentechnik im Spritzbereich der Lackieranlage I ist erst bei der Ersatzinvestition der Lackieranlage I vorgesehen. Diesbezüglich bestehen noch keine Terminvorstellungen.

3.2.2 Funktionsweise der geplanten Anlage zur Lackoverspray-Rückgewinnung

Mit Hilfe einer Ultrafiltrationsanlage wird das Overspray des neuentwickelten, matt-schwarzen Einschichtlacks aus der Spritzzone der Lackieranlage I zurückgewonnen. Das mit Overspray angereicherte Auswaschwasser wird chargenweise entsprechend der Vorgehensweise in Kap. 1.1 (Allgemeiner Projektteil) behandelt.

Der Recyclinglack soll direkt, d.h. betriebsintern wieder in den Lackierprozeß zurückgeführt werden; in einer Übergangsphase kann er in den Anlieferungsbehältern dem Lacklieferanten zur Aufarbeitung zurückgegeben und nach Rücklieferung mit dem Frischlack vermischt wieder verarbeitet werden. Das abgetrennte Wasser wird der Naßauswaschung der Spritzkabine wieder zugeführt.

3.2.3 VVV-Potential der Lackierabfälle

Der bisher in der Lackieranlage I anfallende Lackschlamm von jährlich ca. 100 t wird durch das geplante Rückgewinnungsverfahren weitgehend vermieden.

Darüber hinaus entfällt bei der Wasserlackverarbeitung mit Ultrafiltrationstechnik das Kabinenabwasser mit Ausnahme von gelegentlichen Reinigungen nahezu vollständig (ca. 40 t/a). Die verunreinigten, organischen Lösemittel (ca. 3 t/a) aus der Anlagen- und Gerätereinigung werden durch die erforderliche Umstellung auf wäßrige Reinigungs- und Spülmittel verdrängt.

4 Durchgeführte Untersuchungen und Ergebnisse

4.1 Entwicklung eines Einbrenn-Wasserlacks für SMC-Kunststoffteile in Abstimmung mit der Ultrafiltrationstechnik

Für die Einschichtlackierung von SMC-Kunststoff-Stoßfängern wurde ein matt-schwarzer Wasser-Einbrennlack auf der Basis Polyurethan-Dispersion / Aminoharz entwickelt. Die grundsätzliche Vorgehensweise hierzu ist aus Kapitel 2 im "Allgemeinen Projektteil" ersichtlich. Die Entwicklungsarbeiten beim Lackhersteller (Fa. Schwaab, Weingarten) erfolgten vor dem Hintergrund der erforderlichen Kundenfreigabe durch Bemusterung von lackierten Originalteilen bei Mercedes-Benz und MAN.

Der in der ersten Entwicklungsstufe erzielte Wasser-Einbrennlack ist recyclingfähig; bei Schwitzwasserbelastung des Lackfilms entstanden jedoch Blasenbildungen und Erweichungen mit zu langen Regenerationszeiten. Mit einem modifizierten Lack wurden bei Musterversuchen des Lackherstellers insgesamt positive Prüfergebnisse erzielt. Mit dieser Lackierqualität wurde ein Großversuch mit Originalteilen in der Lackiererei des betrachteten Unternehmens durchgeführt (Abs. 4.2).

4.2 Erprobung des Einbrenn-Wasserlacks im Praxis-Großversuch und weitere Vorgehensweise

Vorgesehen waren Beschichtungsversuche mit ca. 100 Stoßfängern in der Lackiererei des betrachteten Unternehmens. Zum Einsatz kam dabei der weiterentwickelte, ultrafiltrierbare Einbrenn-Wasserlack.

Dieser Großversuch wurde nach der Lackierung von 15 Stoßfängern abgebrochen; es entstanden Probleme durch Läufer, unterschiedliche Lackfilmstrukturen sowie Blasen und Kocher, verursacht durch das unterschiedliche Trocknungsverhalten des Lackfilms bei den sehr komplexen Teileformen (Konturspränge, Einzüge, z.B. Lampenaussparungen, etc.).

Der geplante Umbau der Spritzkabine in der Lackieranlage I ist damit noch nicht entscheidungsreif; zudem ist die Freigabe des Lacksystems von Mercedes-Benz noch offen (mangelnde Batteriesäurebeständigkeit).

Für das betrachtete Unternehmen ergibt sich somit folgende weitere Vorgehensweise:

- Es wird nach wie vor die Einführung von Wasserlacken angestrebt, u.a. auch vor dem Hintergrund der von den Fahrzeugherstellern geforderten max. Restemissionen (ca. 2,5 g organische Lösemittel / Karosserie)

- Innerhalb der Projektlaufzeit soll der Kabinenumbau aufgrund der noch bestehenden qualitativen Unsicherheiten nicht mehr durchgeführt werden. Realistische Erfolgsaussichten für Weiterentwicklungen des Wasserlacks bestehen dagegen bei einer Recycling-Simulation in der Technikumsanlage bei Fa. Schwaab.

- Ziele dieser weiterführenden Untersuchungen sind die Erarbeitung von Grundsatzaussagen zum Umlaufverhalten des Wasserlacks und geeigneten Lackmodifikationen. Die bisherigen Qualitätsprobleme aus dem Großversuch werden als applikationsbedingt eingestuft, die durch Optimierung der Gerätetechnik sowie des Applikations- und Trocknungsverfahrens zu lösen sind. Weiterhin ist die Erprobung eines lufttrocknenden Wasserlacks zu erwägen.

- Darüber hinaus wird empfohlen, im Rahmen der Fabrikplanung die Realisierung einer neukonzipierten Lackierstraße für den Wasserlackeinsatz (Vorbehandlung, Spritzkabine mit Ultrafiltrationsanlage, Trockner, Förderer) zu untersuchen. Innerhalb einer geschätzten Projektdauer von ca. 1 Jahr könnten u.a. noch ausstehende Versuche zur Erhöhung der Fertigungssicherheit, Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen (siehe auch Kap.6) und die Planungsarbeiten bis zur Bestellreife durchgeführt werden.

5 Vergleich des geplanten Spritzlackierbereichs mit Lackoverspray-Rückgewinnung mit dem IST-Zustand vor Projektbeginn

Für die geplante Wasserlackbeschichtung mit Ultrafiltrations (UF)-Technologie in der Lackieranlage I ergeben sich die in der folgenden Tabelle aufgeführten Veränderungen gegenüber dem IST-Zustand vor Projektbeginn. Die angegebenen SOLL-Daten für den Wasserlackeinsatz sind auf die Daten des IST-Zustands beim Einsatz von Lösemittellacken abgestimmt, wobei die Mengen der Einsatzstoffe, Abfälle und sonstigen Umweltbelastungen aufgrund von Erfahrungen aus anderen Anwendungen abgeschätzt wurden. Die Beurteilung der Lackierqualität basiert auf den Ergebnissen der duchgeführten Bemusterungen. Dieser SOLL-IST-Vergleich befaßt sich nur mit dem für das vorliegende Projekt relevanten Verfahrenschritt der Spritzlackierung.

Betriebsparameter (entspr. Kap. 3)	**SOLL - IST - Vergleich**			**Erläuterungen**
	IST-Zustand	**SOLL-Zustand**	**Veränderungen**	
<u>Einsatzstoffe</u>				- Der SOLL-Einsatz des Wasserlackes basiert auf der Annahme, daß 50% der IST-Einsatzmenge (90 t/a) zurückgewonnen werden. Dazu kommt ein Zuschlag für Reinigungsverluste von ca. 10% (Schätzwert) Die recycelte Lackmenge ist somit bereits abgezogen.
- 2K-Polyurethanlack, matt-schwarz	ca. 180 t/a	---	- 47%	
- Einbrenn-Wasserlack, matt-schwarz	---	ca. 100 t/a		
- Koaguliermittel	ca. 12 t/a	---	- 100%	
- Auswaschwasser	nicht bek. Menge an Stadt-W.	nicht bek. Menge an VE-W.	Verringerung	
- Master-Batch zur Wasserlack-Stabilisierung	---	"einige" kg	+ 100%	
<u>Abfälle</u>				- Die verbleibenden Lackschlämme entstehen durch Reinigungs- und Ablagerungsverluste in den Kabinenbereichen (geschätzt ca. 10 %)
- Lackschlamm	ca. 100 t/a	ca. 10 t/a	-90 %	
- Abwasser bei Badwechseln	ca. 40 t/a	unbedeutend	nahezu - 100%	
- verunreinigte Lösemittel	ca. 30 t/a	unbedeutend	nahezu - 100%	

Betriebsparameter (entspr. Kap. 3)	SOLL - IST - Vergleich			Erläuterungen
	IST-Zustand	SOLL-Zustand	Veränderungen	
<u>Sonstige Umweltbelastungen</u> - Lösemittel - Geruch	 ca. 77 t/a keine Belastung	 ca. 12,5 t/a keine Belastung	 - 84 % keine	- Die Lösemittelemission aus den Wasserlacken entsteht aufgrund der ca. 7 % Restlösemittel in den insgesamt verarbeiteten ca. 180 t/a
<u>Lackierqualität</u>	i.O.	bedingt i.O.	keine (siehe Erläuterungen)	- Qualitätsprobleme beim SOLL-Zustand bei optimierter Applikation lösbar

6 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Aufgrund der in Kap. 5 durchgeführten Abschätzung kann der Lackverbrauch bei Nutzung der Lackoverspray-Rückgewinnung um ca. 80 t/a vermindert werden. Die daraus resultierenden Kosteneinsparungen sind erheblich; im vorliegenden Anwendungsfall werden Einsparungen von ca. 800.000 DM/a (bei einem Lackpreis von ca. 10 DM/kg) für den reduzierten Frischlackeinsatz und ca. 175.000 DM/a (Angabe des betrachteten Unternehmens) für die entfallende Entsorgung eines Großteils der Lackschlammenge erzielt.

Der Aufwand für die notwendigen anlagentechnischen Einrichtungen zur Lackoverspray-Rückgewinnung in der Lackieranlage I sowie die daraus resultierenden Investitions- und Projektkosten können erst nach Durchführung einer detaillierten Realisierungsstudie abgeschätzt werden. Dies betrifft ebenso die Ermittlung und Vergleichsrechnung der Betriebskosten (Personal-, Energiekosten, etc.).

Bei dem materialbedingten, jährlichen Einsparpotential in Millionenhöhe dürfte die Wirtschaftlichkeit der Lackoverspray-Rückgewinnung in der Lackieranlage I des betrachteten Unternehmens auf jeden Fall gegeben sein. Bei einer Um- bzw. Aufrüstung des Spritzbereichs für die Rückgewinnung des Wasserlack-Oversprays (v.a. Neugestaltung der Spritzkabinenauswaschung, Klimatisierung der Kabinenzuluft, Anschaffung und Installation einer Ultrafiltrationsanlage und allgemeine Projektierungskosten mit einem geschätzten Gesamtaufwand von ca. 1,5 Mio DM) ist eine Amortisationszeit unter zwei Jahren erreichbar.
Selbst bei Gegenrechnung der Neuinvestition der gesamten Lackieranlage (Vorbehandlung, Spritzkabine mit Ultrafiltrationsanlage, Trockner, Förderer) mit einem geschätzten Aufwand von ca. 4 Mio DM wird allein durch die Einsparung an Lack- und Entsorgungskosten immer noch eine Amortisationszeit unter fünf Jahren erzielt.

7 Übertragbarkeit der Projektergebnisse

In einem Pilotprojekt wurde ein mit Hilfe der Ultrafiltrationstechnik recycelfähiger Einbrenn-Wasserlack für SMC-Kunststoffteile entwickelt. Mit diesem Lacksystem sind die wesentlichen funktionelle Qualitätsanforderungen für Lackierungen auf dem Niveau von Kfz-Anbauteilen bei mittleren dekorativen Ansprüchen erfüllbar. Die optischen Eigenschaften von Kfz - Lackierungen im Wagenfarbton sind mit diesem Lackmaterial nicht erreichbar.

Beim Einsatz des als Einschicht-System konzipierten Wasserlacks ist darauf zu achten, daß ein zusätzlicher Primerauftrag nicht erforderlich wird.

Neben den lacktechnischen Prüfungen zur Erfüllung der anwenderspezifischen Anforderungen (z.B. Qualität, Recyclingprozeß) sind die verfahrens- und anlagenspezifischen Gegebenheiten beim jeweiligen Lackverarbeiter zu berücksichtigen. Beim vorliegenden Anwendungsfall ist zur Einführung der Wasserlack-Verarbeitung und der Oversprayrückgewinnung mit Ultrafiltration eine Ersatzanschaffung der Spritzkabine in der betrachteten Lackierlinie I notwendig, um die technischen Voraussetzungen zum recyclinggerechten Verfahrensabaluf zu erfüllen.

Projektteil C

Untersuchung des Wasserlackeinsatzes mit Ultrafiltrations-Technologie im Vergleich zur Pulverbeschichtung bei der Lackierung von Autoparksystemen

Anwender:
Otto Wöhr GmbH
Leonberger Straße 77
71292 Friolzheim

Ansprechpartner:
Herr E. Siegle, Tel.: (07044) 46-179

1 Kurzfassung

Die Otto Wöhr GmbH stellt im Werk Friolzheim Autoparksysteme her. Bei der zweischichtigen Spritzlackierung der Produkt-Komponenten entstehen Sonderabfälle. Die größten Probleme bereiten diesbezüglich ca. 75 t/a an Lackschlämmen, die hauptsächlich durch die Oversprayverluste bei den Spritzprozessen verursacht werden.

Ziel dieses Projekts ist die weitgehende Vermeidung der Lackierabfälle, insbesondere der Lackschlämme, bei gleichzeitiger Sicherung der Beschichtungsqualität und Reduzierung der Lackierkosten. Das betrachtete Unternehmen plant, aufgrund der umweltrelevanten Probleme, aber auch wegen Qualitätsschwankungen und Kapazitätsengpässen, eine Neukonzeptionierung des Lackierbereichs.

Im Rahmen dieser Überlegungen wurden die Einsatzmöglichkeiten von Wasserlacken in Verbindung mit der Ultrafiltrations-Technologie zur Rückgewinnung der Spritzverluste untersucht. Aufbauend auf den bisherigen Erfahrungen mit der Ultrafiltration von Einbrennlacken wurde ein Zweischicht-Wasserlacksystem für hohe Korrosionsschutzanforderungen entwickelt und im Labormaßstab erprobt.

Parallel zu diesen Entwicklungsarbeiten wurden in einer grundlegenden Planungsstudie die Rahmenbedingungen für die neu zu konzipierende Lackiererei in einer Kapazitätsberechnung ermittelt. Weiterhin wurden aus den möglichen Verfahrensalternativen mit Hilfe einer Nutzwertanalyse zwei Konzeptionen selektiert, die in Verbindung mit einer Eisenphosphatierung der Werkstücke für das betrachtete Unternehmen prinzipiell am besten geeignet sind:

- Zweischicht-Wasserlackauftrag mit Lackrecycling über die Ultrafiltrationstechnik
- Pulverlackbeschichtung

Eine detaillierte Nutzwertanalyse dieser beiden Verfahren, unterstützt durch Qualitätsprüfungen nach einer erarbeiteten Spezifikation und einen Wirtschaftlichskeitsvergleich, ergab folgende Aussagen:

- Mit beiden Verfahrensalternativen sind die Umweltbelastungen (Lackschlamm, Abwasser, Lösemittelemissionen, etc.) weitgehend vermeidbar.
- Die Lackierqualität wird mit beiden Verfahrensalternativen gegenüber dem IST-Zustand verbessert.
- Die Betriebskosten der Pulverlackbeschichtung liegen um ca. 30 % (d.h. ca. 650.000 DM/a)

günstiger als beim Wasserlackauftrag mit Lackrecycling.

Im vorliegenden Anwendungsfall ist damit die Pulverbeschichtung gegenüber der Wasserlacktechnologie hauptsächlich aus wirtschaftlichen Gründen zu favorisieren.

Mit den gewonnenen Kenntnissen sind weitere Anwender der Metall-Lackierung angesprochen, insbesondere bei Teilespektren mit hohen Korrosionsbeanspruchungen, die nur im Spritzverfahren beschichtbar sind. Die Auswahl der optimalen Lackierkonzeption muß allerdings immer fallspezifisch entschieden werden.

2 Kurzbeschreibung des Anwender-Unternehmens

2.1 Allgemeine Betriebsdaten

Die Otto Wöhr GmbH, 71292 Friolzheim, stellt innerhalb der Branche der metallverarbeitenden Industrie Autoparksysteme her.
Im Werk Friolzheim sind insgesamt ca. 200 Mitarbeiter, davon 80 gewerbliche Mitarbeiter, in einem Zweischichtbetrieb mit zusätzlichen Sonderschichten an Samstagen beschäftigt. Sieben Mitarbeiter sind in der Lackiererei tätig; darüber hinaus werden noch Teile des Produktspektrums in Fremdvergabe lackiert. Der jährliche Gesamtumsatz beträgt ca. 47 Mio DM.

2.2 Produkte

Es werden Komponenten von Autoparksystemen (Beispiel in Abbildung C1) gefertigt, die auf den Baustellen montiert werden. Im Jahre 1992 wurden davon im Werk Friolzheim ca. 120.000 t an Werkstücken lackiert.
Das Produktspektrum umfaßt Stahl- und Schweißteile, vor allem Anlagenteile (Profile, abgekantete und verschraubte Blechteile, Baugruppen aus Blechteilen), Ständer und Hubschlitten.

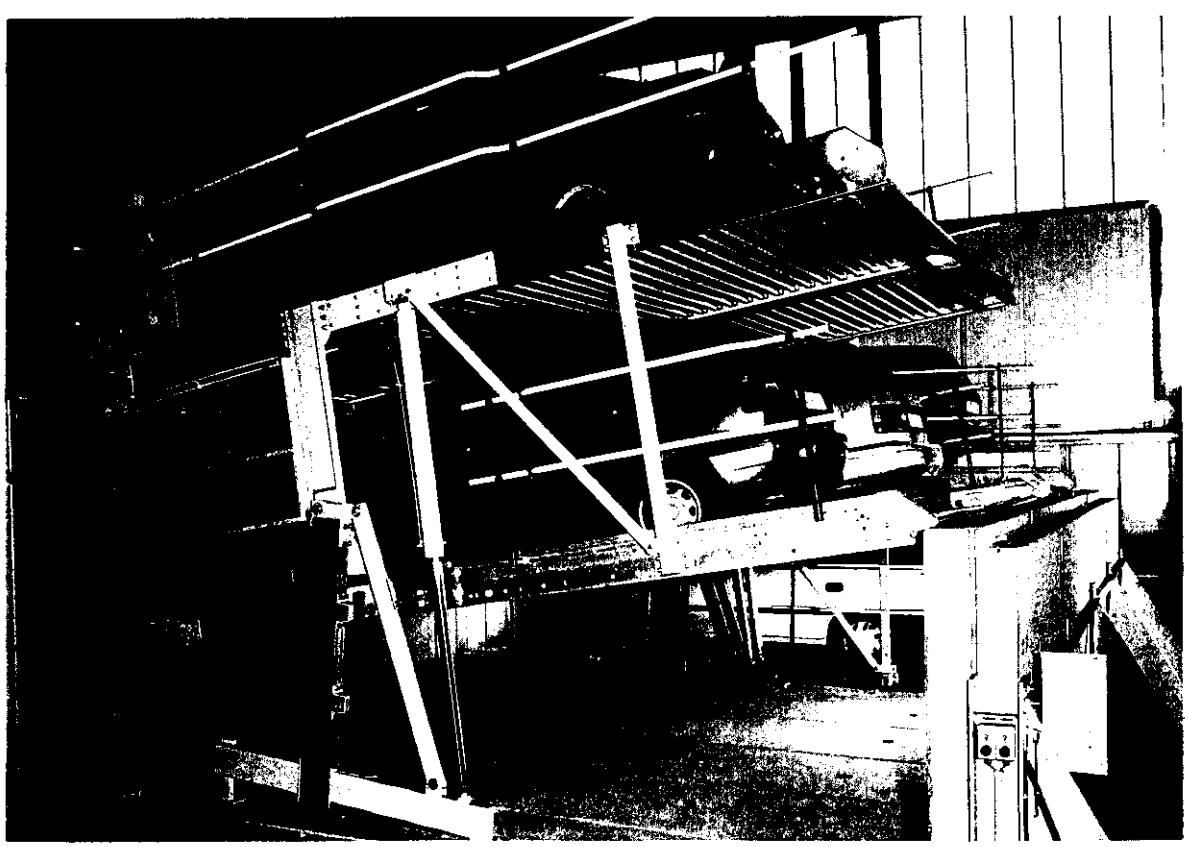


Abbildung C1: Autoparksystem

2.3 Produktionsverfahren in der Lackiererei

Die zu lackierenden Stahl- und Schweißteile werden mit Hilfe von Flurförderzeugen dem Bereitstellungsraum der Lackiererei zugeführt. Entsprechend den vorgeschalteten, mechanischen Fertigungsschritten sind die Teile mit Ölen, Kühlschmiermitteln, Schmutz, etc. verunreinigt.

In der Lackiererei werden die Teile durchgehend manuell behandelt , d.h. gereinigt, grundiert und decklackiert. Der gesamte Verfahrensablauf erfolgt in einer Spritzkabine mit Naßauswaschung und dem umgebenden Hallenbereich ohne Luftabsaugung.

2.4 Entsorgungssituation im Bereich der Lackiererei

Die betrachtete Lackiererei ist aufgrund des Lösemitteleinsatzes von ca. 10 kg/h nicht genehmigungsbedürftig nach dem BImSchG.

Die Entsorgungssituation wird überwiegend durch die relativ großen Mengen an Sonderabfällen bestimmt:

- Der aus der Naßauswaschung der Spritzkabine anfallende Lackschlamm wird gemeinsam mit den Lackresten von der Gitterrostentlackung und der Anlagenreinigung erfaßt und als besonders überwachungsbedürftiger Sonderabfall entsorgt (Abfallschlüsselnummer 555 03).
- Das Spritzkabinenwasser wird ca. zweimal jährlich abgepumpt und extern bei einem Entsorgungsunternehmen einer chemisch-physikalischen Behandlung unterzogen (Abfallschlüsselnummer 555 03).
- Die aus der Teilevorbehandlung anfallenden öl- und fettverunreinigten Textillappen werden als Sonderabfall beseitigt (Abfallschlüsselnummer 542 09).

Die entleerten Lackgebinde werden in ungepreßtem Zustand der Verschrottung zugeführt.

3 Zustand der Lackiererei

3.1 IST - Zustand in der betrachteten Lackiererei vor Projektbeginn

3.1.1 Verfahrensschritte

Der untersuchte Spritzbereich dient zur Grundierung und Decklackierung der Autoparksystem - Komponenten. Die gesamte Lackieranlage wurde 1982 in Betrieb genommen; seit 1989 werden die Vorbehandlungszone und der Lacktrockner nicht mehr genutzt. Der Verfahrensablauf gliedert sich in folgende Schritte (siehe auch Abbildung C2):

Verfahrensschritt 1: Teilebereitstellung
Im Hallenbereich vor der Spritzkabine werden die zu lackierenden Teile je nach Größe auf dem Boden bzw. auf Hordenwagen bereitgestellt. Dies erfolgt manuell in der Reihenfolge des Teileeingangs.

Verfahrensschritt 2: Vorbehandlung
Die Teilereinigung erfolgt im gleichen Hallenbereich wie Verfahrensschritt 1. Sie wird manuell mit organischen Lösemitteln (Kaltreiniger, Lackverdünnung) und Textillappen nach Bedarf durchgeführt. Anschließend werden die gereinigten Teile manuell in die Spritzkabine transportiert.

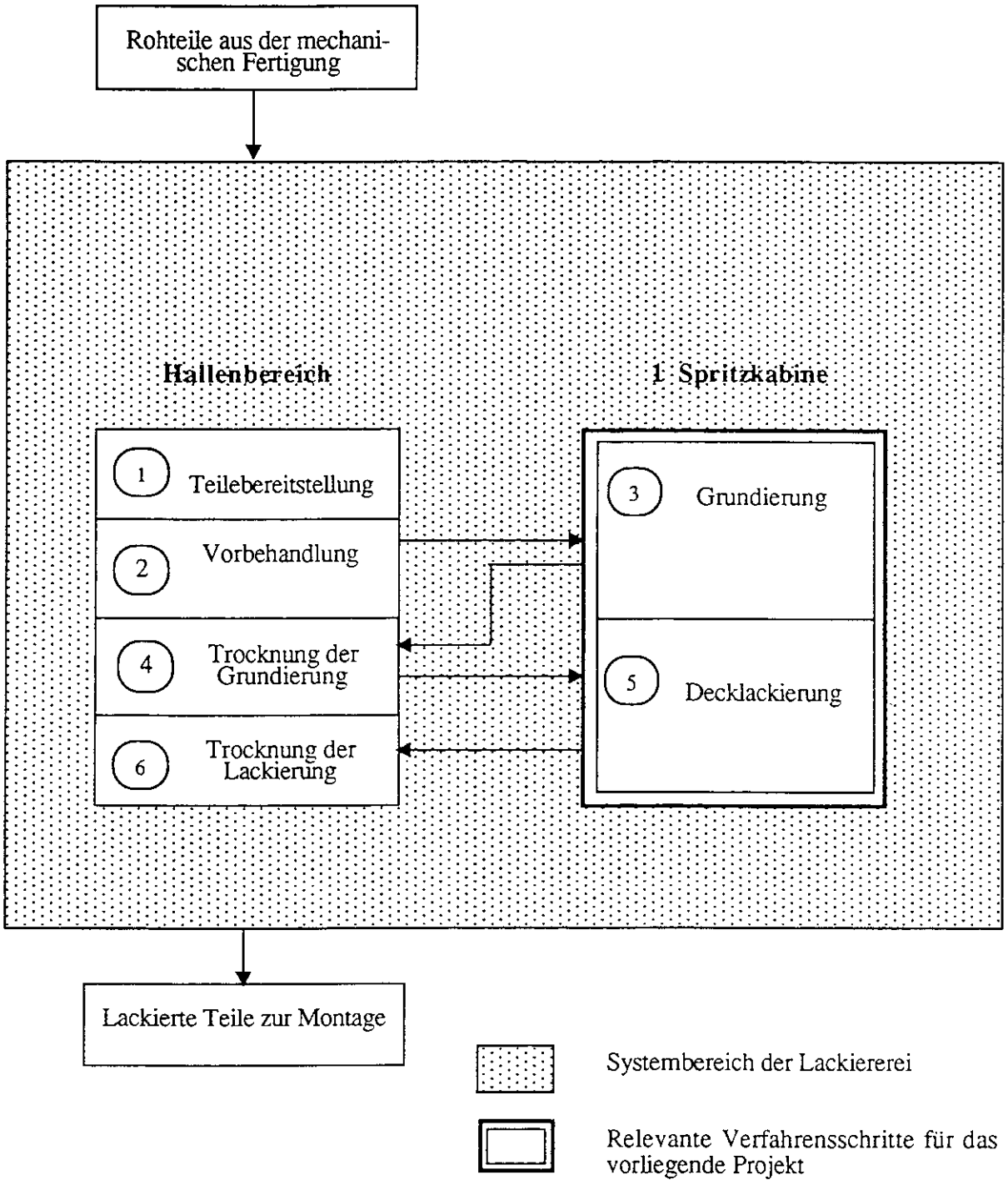
Verfahrensschritt 3: Grundierung
In der Handspritzkabine mit Naßauswaschung werden die Teile mit einer Airless - Pistole manuell mit Zinkstaubfarbe grundiert; der erreichte Auftragswirkungsgrad liegt bei ca. 50 % (geschätzt). Das Lackoverspray wird im Spritzkabinenwasser mit einem alkalischen Koaguliermittel behandelt und als Lackschlamm nach Bedarf manuell ausgetragen.

Verfahrensschritt 4: Trocknung der Grundierung
Die grundierten Teile werden in den Bereitstellungsraum des Hallenbereichs vor der Spritzkabine transportiert und dunsten dort über mehrere Stunden ab.

Verfahrensschritt 5: Decklackierung
In derselben Spritzkabine wie zur Teilegrundierung (Verfahrensschritt 3) werden die Teile manuell mit einer Hochdruck - Druckluftpistole decklackiert; der erreichte Auftragswirkungsgrad liegt bei ca. 30 % (geschätzt).

Verfahrensschritt 6: Trocknung der Lackierung
Die fertig lackierten Teile werden wiederum in den Hallenbereich befördert und dort zur Trocknung (mehrere Stunden) und für den Weitertransport zur Montage abgestellt.

Abbildung C2: Verfahrensablauf in der betrachteten Lackiererei



3.1.2 Materialeinsatz

Als Einsatzstoffe sind im folgenden die Lackmaterialien sowie Hilfsstoffe und -mittel, die zum Betrieb der gesamten Lackiererei erforderlich sind, aufgeführt.

Einsatzstoffe	**Menge (Erhebungsjahr 1992)**	**Verfahrensschritte (entspr. Abs. 3.1.1)**
- Lösemittel zur Teilereinigung		2: Vorbehandlung
- Kaltreiniger	ca. 2.2 t/a	
- Reinigungsverdünnung	ca. 0,4 t/a	
- Textillappen	nicht bekannt	
- Zinkstaubfarbe zur Grundierung	ca. 46 t/a	3 und 5:
- Feuchtehärtende Polyurethandecklacke mit folgenden Farbtonanteilen:	ca. 41 t/a	Spritzlackierung zum Grund- und Decklackauftrag
- rotbraun: 95 %		
- steingrau: 2,5 %		
- kieselgrau: 1,5 %		
- sonstige: 1,0 %		
- Ausbesserungslacke	ca. 1 t/a	
- Lackverdünnung	ca. 6 t/a	
- Koagulationsmittel (alkalisch) zur Entklebung des Lackoversprays im Kabinenwasser	ca. 0,5 t/a	
- Spritzkabinenwasser (Stadtwasser zum Ausgleich der Verdunstungsverluste)	nicht bekannt	

3.1.3 Abfälle

Die aus dem Lackierbereich anfallenden Abfälle sind im folgenden erfaßt. Zu ihrer Charakterisierung ist neben der Abfall-Schlüsselnummer nach dem LAGA-Code auch die zukünftig relevante europäische Abfall-Schlüsselnummer (EWC) angegeben.

Bezeichnung der Abfälle	Schlüsselnummer		Menge (Erhebungsjahr 1992)	Verfahrensschritte (entspr. Abs. 3.1.1)
	LAGA-Code	EWC		
- Öl- und fettverunreinigte Putzlappen	542 09	---	nicht bekannt	2: Vorbehandlung
- Lackschlamm (Wassergehalt ca. 50 %); die festen Lackreste von der Gitterrostentlackung und Anlagenreinigung werden gemeinsam mit dem Lackschlamm erfaßt	555 03	0801 08	ca. 75 t/a	3 und 5: Spritzlackierung zum Grund- und Decklackauftrag
- Entleerte Lackgebinde (20 kg-Behälter), ungepreßt	351 05	1501 04	ca. 2000 St./a	
- Abwasser aus der Spritzkabine (extern entsorgt)	555 03	0801 08	ca. 20 t/a	

3.1.4 Sonstige Emissionen und Umweltbelastungen

Der durchschnittliche Lösemittelgehalt der verarbeitungsfertig eingestellten Lackmaterialien (Grundierung und Decklacke) beträgt ca. 25 Gewichts - %. Bei einem Lackeinsatz inkl. Lackverdünnung von insgesamt ca. 94 t/a werden somit auch ca. 24 t/a an Lösemitteln verarbeitet, die beim Spritzprozeß und während der Lackfilmtrocknung in die Umwelt emittieren. Darüber hinaus verdunstet der größte Teil der bei den manuellen Reinigungsarbeiten verwendeten organischen Lösemittel (ca. 2-2,5 t/a).

Geruchsbelastungen und Lärmemissionen aus der betrachteten Lackieranlage sind nicht bekannt.

3.1.5 Lackierqualität

Bezüglich der Lackfilmqualität bestehen insbesondere aus Korrosionsschutzgründen folgende Vorgaben zu den Trockenschichtdicken (geforderte Mindestdicke):

- Grundierung: 60 µm
- Decklackierung: 60 µm

Beim IST-Zustand liegt die Gesamtschichtdicke aufgrund der komplexen Teileformen und der subjektiven Schwankungen beim manuellen Spritzlackieren zwischen 80 und 200 µm.

Die lackierten Teile werden im Gebrauch den aggressiven Umgebungsbedingungen von feuchten bzw. schlecht belüfteten Räumen, wie Schwitzwasser, Salzwasser und Chemikalien (z.B. Benzin) ausgesetzt; ein geringer Anteil der aufgestellten Autoparksysteme unterliegt auch der Freibewitterung. Insgesamt sind somit hohe Lackfilmbeständigkeiten erforderlich, die sich am schweren Korrosionsschutz (z.B. Waggonbeschichtungen) orientieren.

Marktbeobachtungen des betrachteten Unternehmens haben gezeigt, daß die Korrosionsbeständigkeit der Bauteile für die steigenden Anforderungen nicht ausreicht. Die Ursachen hierfür liegen vor allem in der teilweise unzureichenden, manuellen Vorbehandlung der Teile mit Lösemitteln. Bereits beim bestehenden Lackierprozeß ist die Einhaltung einer konstanten Qualität auf dem bisher erreichbaren Niveau nur durch außergewöhnlichen Einsatz der Mitarbeiter bei relativ schlechten Arbeitsbedingungen (vor allem Belastungen durch Lösemitteldämpfe) erzielbar.

Deutliche Qualitätsverbesserungen, vor allem hinsichtlich der weitersteigenden Anforderungen, sind somit nur durch die Anschaffung einer geeigneten Vorbehandlung möglich.

3.2 Geplanter SOLL-Zustand der betrachteten Lackiererei

3.2.1 Neukonzeption der gesamten Lackieranlage

Das betrachtete Unternehmen beabsichtigt eine Neukonzeptionierung des Lackierbereichs. Diese Zielvorstellung wird über die abfall- und emissionsrelevanten Schwachstellen hinaus vor allem durch folgende Problembereiche beim IST-Zustand bestimmt:

- Kapazitätsengpässe:
  Die benötigte Kapazität der Lackiererei ist bereits überschritten; Durchsatzsteigerungen sind nur noch durch Fremdvergabe der Lackierarbeiten möglich. Zukünftig wird eine weitere Zunahme der zu lackierenden Stückzahlen erwartet.

- Geringe Flexibilität:
  Die Lackierung von Großteilen ist beim IST-Zustand aus Platzgründen nicht möglich. Weiterhin ist die Verarbeitung von Wasserlacken mit Rückgewinnung des Oversprays über eine Ultrafiltrationsanlage mit der vorhandenen Anlagentechnik nicht möglich.

- Qualitätsschwankungen:
  Die bisher übliche Lackierqualität ist nur mit außergewöhnlichem Einsatz und hoher Motivation des Personals einhaltbar. Für die steigenden Marktanforderungen ist der erreichte Korrosionsschutz mit den bestehenden Verfahren nicht mehr verbesserungsfähig.

- Arbeitsplatzbelastungen:
  Vor allem im Bereich der Teilevorbehandlung sind die Mitarbeiter Belastungen durch Lösemitteldämpfe ausgesetzt.

Die Rahmenbedingungen für das Layout der neu zu konzipierenden Lackiererei wurden, ausgehend vom Teilespektrum und unabhängig von den zukünftig einzusetzenden Lackmaterialien, mit einer Kapazitätsberechnung ermittelt. Diesbezüglich ergeben sich folgende Aussagen:

- In jedem Fall ist eine Durchlaufanlage zu favorisieren; die optimale Förderzuglänge beträgt 2,8 m,
- Für die Auf- und Abgabe der schweren Teile sind Hub- und Senkstationen erforderlich; dies erfordert die Anschaffung eines Power+Free-Förderers,
- Die Anzahl der in der konzipierten Anlage nicht beschichtbaren Großteile beträgt im Planungsjahr 3250 Stück. Diese Großteile-Stückzahlen sind entweder in einer eigenen Großteilelackiererei oder bei einem Lohnbeschichter wirtschaftlicher zu lackieren.

Für den Vergleich der zu ermittelnden Konzeptions-Alternativen ist als wichtigstes Kriterium die Erarbeitung einer Spezifikation für die Beschichtungsqualität erforderlich.

Die folgende Auflistung enthält die für das betrachtete Unternehmen ermittelten, lackiertechnischen Prüfgrößen dieser Qualitäts-Spezifikation. Besonders hervorzuheben sind dabei die zu erfüllenden hohen Korrosionsschutzwerte von 480 Stunden im Schwitzwasser - als auch im Salzsprühnebeltest:

Spezifikation der Beschichtungsqualität:

Korrosionsbeständigkeit
- Schwitzwasserbeständigkeit, DIN 50017 Konstantklima
- Salzsprühnebelbeständigkeit, DIN 50021

Medienbeständigkeit
- Chemikalienbeständigkeit, DIN 53168
  - unbedingt erforderlich: Benzin, Diesel, Getriebeöl, Motoröl, Straßen-Streusalz
  - evtl. erforderlich: Wöhr-Hydrauliköl, Bremsflüssigkeit, Spiritus, Batteriesäure, Rapsöl

Mechanische Beständigkeit
- Haftfestigkeit bei Gitterschnitt, DIN 53151
- Flexibilität (Haftfestigkeit/Elastizität) bei Erichsen-Tiefung, DIN 53156 und konischem Dornbiegetest, ASTM D 522

Gebrauchseigenschaften
- Partielle Ausbesserungsfähigkeit
- Überlackierbarkeit der gealterten Beschichtung mit 2 K-, 1 K-, NC- und Wasserlacken
- Blockfestigkeit der Beschichtung bei variablen Belastungen
- Festigkeit kraftschlüssiger Schraubverbindungen von beschichteten Teilen
- Gängigkeit beschichteter Gewindebohrungen

Sonstige Lackfilmeigenschaften von untergeordneter Bedeutung
- Abdeckung von Oberflächen - Unebenheiten
- Härte (Pendelhärte, DIN 53157; Ritzhärte, DEF 1053)
- Stoßfestigkeit bei Kugelschlagprüfung, ASTM D 27 95-69
- Abriebfestigkeit im Taber - Abraser, ASTM D 2794
- Lichtbeständigkeit im Xenontestgerät, DIN 53231

Zur Beurteilung der Konzeptionsalternativen im Rahmen von Nutzwertanalysen wurden die folgenden spezifischen Kriterien für das betrachtete Unternehmen aufgestellt:

- Beschichtungsqualität - Spezifikation (s.o.)
- Prozeßsicherheit
- Beschichtungsfehler
- Beschädigungsgefahr
- Farbtonauswahl
- Lackfilmstrukturauswahl
- Emissionsanfall
- Abfallanfall
- Geruchsbelästigung
- Abwasseranfall
- Toxikologie
- Kapazitätssteigerung
- Kapazitätsnutzung
- Automatisierung
- Personalqualifikation
- Steuerungsflexibilität
- Produktflexibilität

Durch die geplante Neukonzeptionierung soll bei der Lackierqualität besonders der Korrosionsschutz entscheidend verbessert werden. Für die dazu erforderliche neue Teilevorbehandlung ist eine wäßrige Entfettung mit anschließender Eisenphosphatierung zu favorisieren. Zur Beschichtung bieten sich grundsätzlich die in Abbildung C 3 aufgeführten Verfahrensalternativen an.

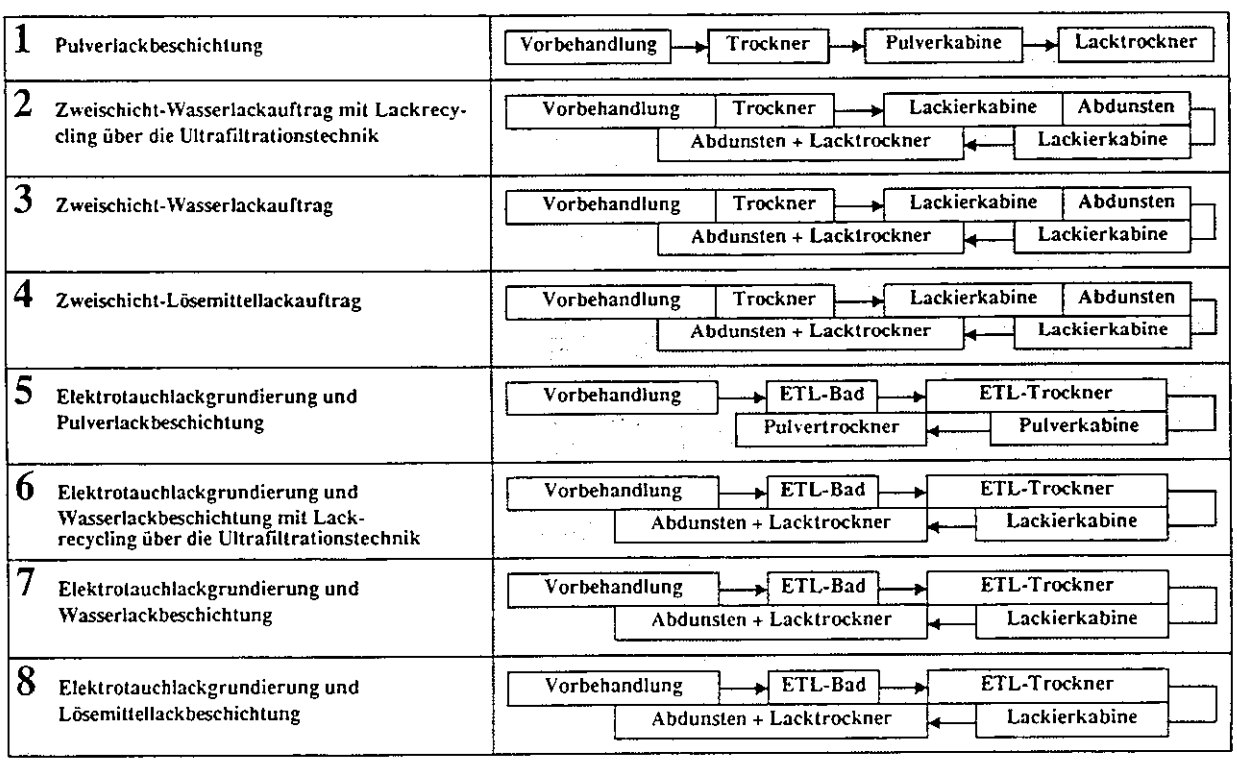


Abbildung C 3: Grundsätzliche Verfahrensalternativen für die Lackiererei

Mit Hilfe einer vorläufigen Nutzwertanalyse bezüglich der oben aufgeführten Kriterien konnten die in Abbildung C3 genannten Verfahrensalternativen auf zwei Konzeptionen begrenzt werden, die für das betrachtete Unternehmen prinzipiell am besten geeignet sind:

- Zweischicht-Wasserlackauftrag mit Lackrecycling über die Ultrafiltrationstechnik
- Pulverlackbeschichtung.

Die in Abbildung C4 dargestellten Ergebnisse der Nutzwertanalyse zeigen zum einen die absoluten Nutzwerte der Verfahrensalternativen, errechnet aus der Summe der gewichteten Noten für die Beurteilungskriterien. Der für die Verfahrensauswahl entscheidende relative Nutzwert ergibt sich durch Division der jeweiligen absoluten Nutzwerte durch die abgeschätzten, jährlichen Betriebskosten inkl. Kapitalkosten.

Der detaillierte technische, qualitative und wirtschaftliche Vergleich der beiden favorisierten Lackierereikonzeptionen erfolgt in den Kapiteln 4 bis 6.

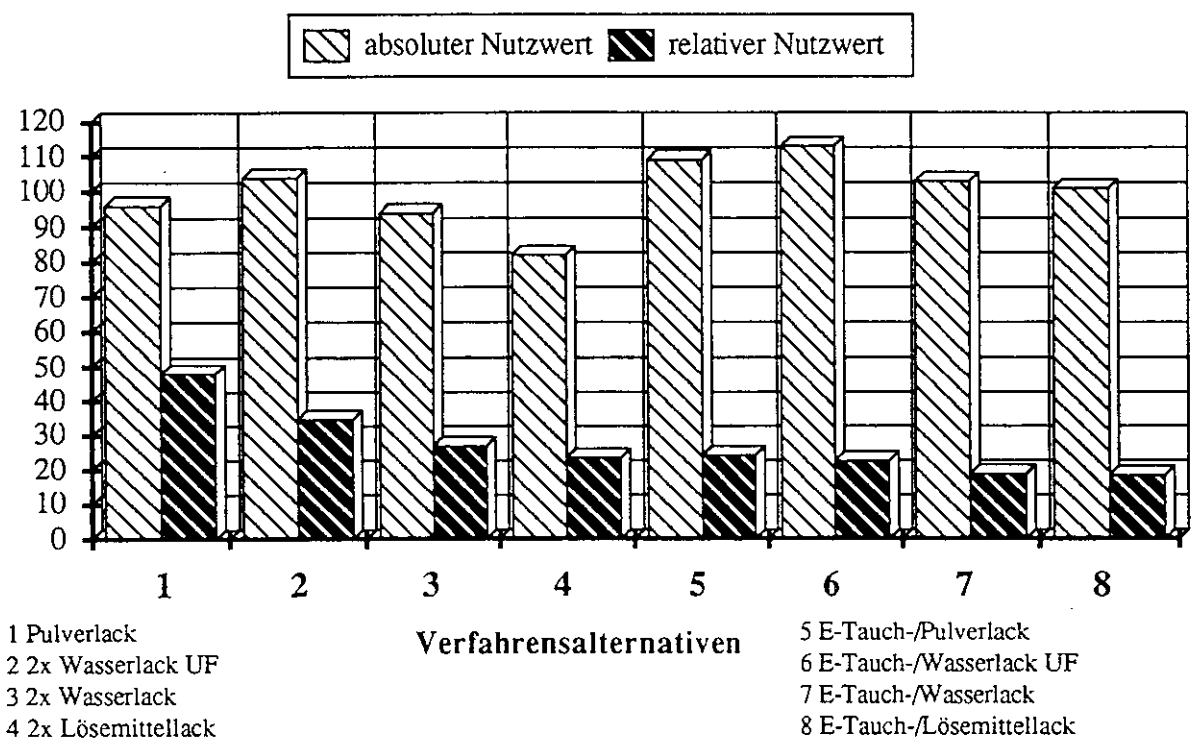


Abbildung C 4: Nutzwertanalyse bezüglich der Verfahrensalternativen

3.2.2 Funktionsweise der Anlagen zur Overspray-Rückgewinnung

3.2.2.1 Zweischicht-Wasserlackauftrag mit Lackrecycling über die Ultrafiltrationstechnik

Es ist vorgesehen, mit Hilfe einer Ultrafiltrationsanlage von den neuentwickelten Wasserlacken (siehe Abs. 4.1) die Grundierung und zwei Farbtöne des Decklacks sortenrein zurückzugewinnen. Die restlichen Decklacke sollen im Mischfarbton recycelt und bei der Grundierung wieder verwendet werden.
Die mit Overspray angereicherten Auswaschwässer der beiden geplanten Spritzkabinen werden dabei chargenweise behandelt entsprechend der Vorgehensweise in Kap.1.1 (Allgemeiner Projektteil).

Die Recyclinglacke sollen sofort wieder in den Lackierprozeß zurückgeführt werden; in einer Übergangsphase können sie in den Anlieferungscontainern dem Lacklieferanten zur Aufarbeitung zurückgegeben und nach Rücklieferung mit dem Frischlack vermischt wieder verarbeitet werden. Das abgetrennte Wasser wird den Naßauswaschungen der Spritzkabinen wieder zugeführt.

3.2.2.2 Pulverlackbeschichtung

Bei der Alternative der Pulverlackbeschichtung ist ebenfalls eine sortenreine Rückgewinnung des vorbeigesprühten Pulvers vorgesehen. Für ein nach Farben getrenntes Pulverrecycling stehen heute im wesentlichen drei unterschiedliche Systeme auf dem Markt zur Verfügung:

- Integrierte Wechselfilter (Patronen- oder Plattenfilter),
- Kabinenboden als umlaufendes Filterband,
- Zyklonabscheider (Einzel- oder Mehrfachzyklon).

3.2.3 VVV-Potential der Lackierabfälle

Der bisher im Verfahrensschritt "Spritzlackierung" anfallende Lackschlamm von ca. 75 t/a wird durch jede der beiden in Abs. 3.2.1 ermittelten Verfahrensalternativen weitgehend bzw. vollständig vermieden.

Darüber hinaus entfällt bei der Wasserlackverarbeitung mit Ultrafiltrationstechnik das Kabinenabwasser mit Ausnahme von gelegentlichen Reinigungen nahezu vollständig (ca. 20 t/a); ebenso vermindern sich die Abfälle an leeren Lackgebinden weitgehend durch die Einführung von Containern. Bei der Pulverbeschichtung entfallen systembedingt die Abfälle an Abwasser und Blechgebinden.

4 Durchgeführte Untersuchungen und Ergebnisse

4.1 Entwicklung und Erprobung von recycelfähigen Einbrenn-Wasserlacken für hohe Korrosionsschutzanforderungen

Für die Anforderungen der Lackierung von Autoparksystemen wurden in diesem Projekt Wasser-Einbrenngrundierungen und -Einbrenndecklacke auf der Basis Alkyd-/Copolymer-/Melaminharz für hohe Korrosionsschutzanforderungen entwickelt. Die grundsätzliche Vorgehensweise hierbei ist aus Kapitel 2 im "Allgemeinen Projektteil" ersichtlich.

Die beim Lackhersteller (Fa. Schwaab, Weingarten) durchgeführten Untersuchungen zur Ultrafiltrierbarkeit dieser Lackmaterialien erforderten insbesondere Optimierungen des Schwebeverhaltens der Lackkomponenten bei starker Verdünnung im Kabinenwasser. Darüber hinaus wurden bei den Untersuchungen Maßnahmen zur besseren Entfernbarkeit von Lackresten auf den Gitterrosten der Kabinen berücksichtigt, z.B. Sprühköpfe und Beflutungseinrichtungen.

Die erzielten Ergebnisse bezüglich des Ultrafiltrationsbetriebs und der erreichbaren Lackschichtqualität mit den Recyclinglacken in Verbindung mit einer verbesserten Teilevorbehandlung führten zu insgesamt positiven Aussagen:

- Auf Stahlteilen mit einer Eisenphosphatierung (incl. einer Behandlung mit organischer Nachspüllösung) ergeben sich für die neue Spezifikation ausreichende Korrosionsbeständigkeiten.
- Auf verzinkten Stahlteilen wurde zunächst eine nicht ausreichende Haftfestigkeit der Beschichtung und Blasenbildungen festgestellt; die Optimierung der Wasserlack-Grundierung führte zu vergleichbaren, guten Lackfilmeigenschaften wie bei den phosphatierten Stahlteilen.
- Insgesamt wurde entsprechend der Qualitätsspezifikation in Abs. 3.2.1 eine gegenüber dem IST-Zustand verbesserte Beschichtungsqualität erzielt.

4.2 Erprobung von geeigneten Beschichtungspulvern

Ein bereits serienmäßig eingesetztes Pulverlacksystem (Epoxi-Polyester-Mischpulver) wurde entsprechend der Qualitätsspezifikation in Abs. 3.2.1 untersucht. Die Beschichtungen ergaben sowohl auf eisenphosphatierten Stahlteilen (gleiche Behandlung wie beim Wasserlackeinsatz in Abs. 4.1) als auch auf verzinkten Stahlteilen insgesamt eine gegenüber dem IST-Zustand höhere Qualität, die darüber hinaus noch geringfügige Vorteile zur Wasserlackbeschichtung aufweist (vgl. Abs. 5.1).

5 Vergleich der Verfahrensalternativen mit dem IST-Zustand vor Projektbeginn beim Lackauftrag

5.1 Stoffströme und Lackierqualität

Für die Alternativen der Wasserlackbeschichtung mit Ultrafiltrations (UF)-Technologie und die Pulverlackbeschichtung ergeben sich die in der folgenden Tabelle aufgeführten Veränderungen gegenüber dem IST-Zustand vor Projektbeginn. Die angegebenen SOLL-Daten für den Wasser- und Pulverlackeinsatz sind auf die Daten des IST-Zustands beim Einsatz von Lösemittellacken abgestimmt, wobei die Mengen der Einsatzstoffe, Abfälle und sonstigen Umweltbelastungen aufgrund von Erfahrungen aus anderen Anwendungen abgeschätzt wurden. Die Beurteilung der Lackierqualität basiert auf den Ergebnissen der Spezifikationsprüfungen. Dieser SOLL-IST-Vergleich befaßt sich nur mit dem für das vorliegende Projekt relevanten Verfahrenschritt des Lackauftrags; die Vorbehandlung und die Trocknung werden nicht berücksichtigt.

Betriebsparameter (entspr. Kap. 3)	SOLL - IST - Vergleich				Erläuterungen
	IST-Zustand	SOLL-Zustand		Veränderungen	
		Wasserlack mit UF	Pulverlack		
<u>Einsatzstoffe</u>					- Der SOLL-Einsatz der Pulver- und Wasserlacke basiert auf der Annahme, daß 50% der IST-Einsatzmenge (47 t/a) zurückgewonnen werden. Dazu kommt ein Zuschlag für Reinigungsverluste von ca. 5-10% /Schätzwert). Die jeweiligen recycelten Mengen sind somit bereits abgezogen.
- Lösemittelhaltige Lacke	94 t/a	---	---	-47% bzw. -73%	
- Einbrenn-Wasserlacke	---	50 t/a	---		
- Beschichtungspulver	---	---	25 t/a		
- Koaguliermittel	0,5 t/a	---	---	- 100%	
- Auswaschwasser	nicht bek. Menge an Stadt-W.	nicht bek. Menge an VE-W.	---	Verringerung bzw. - 100%	- Beim Pulvereinsatz wird ebenfalls von einer Overspray-Rückgewinnung ausgegangen. Die Einsatzmenge gegenüber Wasserlack halbiert sich grössenordnungsmäßig durch den fehlenden Lösemittelanteil.
- Master-Batch zur Wasserlack-Stabilisierung	---	ca. 0,3 t/a (geschätzt)	---	+ 100%	

Betriebsparameter (entspr. Kap. 3)	SOLL - IST - Vergleich				Erläuterungen
	IST-Zustand	SOLL-Zustand		Veränderungen	
		Wasserlack mit UF	Pulverlack		
<u>Abfälle</u>					- Die verbleibenden Lackschlämme und Restpulver entstehen durch Reinigungs- und Ablagerungsverluste in den Kabinenbereichen (Schätzwerte).
- Lackschlamm	75 t/a	7,5 t/a	---	- 90%	
- Restpulver	---	---	3 t/a	+ 100%	
- Abwasser	20 t/a	unbedeutend	---	nahezu - 100%	
- Lackgebinde	2000 St./a	Restmenge	Pulververpakkungen	nahezu - 100%	- Gebinde-Restmenge für Sonder- und Ausbesserungslacke bleibt bestehen.
<u>Sonstige Umweltbelastungen</u>					- Die Lösemittelemission aus den Wasserlacken entsteht aufgrund der ca. 3% Restlösemittel in den insgesamt verarbeiteten ca. 94 t/a
- Lösemittel	24 t/a	3 t/a	---	- 88% bzw. - 100%	
- Geruch	keine Belastung	keine Belastung	keine Belastung	keine	
<u>Lackierqualität</u>	bedingt i.O.	i.O.	i.O.	Verbesserungen	- Die erzielten Qualitäten sind in der folgenden Nutzwertanalyse beurteilt. (s. Abbildung C 5)

Die Lackierqualitäten werden mit Hilfe einer Nutzwertanalyse bewertet (Abbildung C 5). Die Bewertung der einzelnen Qualitätsanforderungen bzw. -kriterien basiert auf den Ergebnissen detaillierter Spezifikationsprüfungen. Unter Beachtung der prioritären betriebsspezifischen Qualitätskriterien wird gegenüber dem IST-Zustand mit den betrachteten Verfahrensalternativen die Beschichtungsqualität insgesamt verbessert.

Die Beschichtungsqualität bei der Pulverbeschichtung schneidet bei dieser Bewertungsmethode am besten ab.

Abbildung C 5: Nutzwertanalyse der Verfahrensalternativen bezüglich der Beschichtungsqualität

Kriterien B: Bewertung B 4 : sehr gut B 3 : gut B 2 : befriedigend B 1 : schlecht B 0 : sehr schlecht G : Gewichtung nach den Prioritäten 5 (hoch) bis 1 (gering) N : Nutzwert (GxB)		**Verfahrensalternativen**					
		IST-Zustand		**2x Wasserlack mit UF**		**Pulverlack**	
	G	B	N	B	N	B	N
Schwitzwasserbeständigkeit (Langzeit-Haftfestigkeit, Blasengrad)	5	2	10	3	15	3	15
Salznebelbeständigkeit (Langzeit-Haftfestigkeit, Unterwanderung)	5	1	5	4	20	4	20
Chemikalienbeständigkeit (Muß-Chemikalien : Benzin, Diesel, Getriebeöl, Motoröl, Straßen-Streusalz)	5	4	20	4	20	4	20
Haftfestigkeit (Gitterschnitt)	5	4	20	4	20	4	20
Flexibilität (Tiefung, Biegung)	5	0	0	3	15	4	20
Partielle Ausbesserungsfähigkeit	5	3	15	3	15	3	15
Überlackierbarkeit mit 2K-, 1K-, NC- und Wasserlacken	5	1	5	2	10	2	10
Blockfestigkeit der Beschichtung	5	0	0	3	15	4	20
Festigkeit kraftschlüssiger Schraubverbindung	5	2	10	3	15	3	15
Gängigkeit beschichteter Gewindebohrungen	5	3	15	3	15	2	10
Chemikalienbeständigkeit (Kann-Chemikalien : Wöhr-Hydrauliköl, Bremsflüssigkeit, Spiritus, Batteriesäure, Rapsöl)	3	4	12	3	9	3	9
Abdeckung von Oberflächen-Unebenheiten (z.B. Riefen)	1	3	3	2	2	3	3
Härte des Lackfilms	1	1	1	2	2	4	4
Ritzhärte	2	3	6	2	4	4	8
Stoßfestigkeit	2	1	2	1	2	4	8
Abriebfestigkeit	1	2	2	3	3	4	4
Lichtbeständigkeit	2	1	2	3	6	3	6
absoluter Nutzwert (∑ N)			**128**		**188**		**207**

5.2 Wirtschaftlichkeit

Für den folgenden Kostenvergleich der beiden Verfahrensalternativen sind die zukünftig zu erwartenden, hochgerechneten Kapazitätssteigerungen des betrachteten Unternehmens, bezogen auf das Jahr 1997, zugrundegelegt; die zu beschichtende Oberfläche beträgt dann 75.000 m^2/a. Die Kosten der Wasserlackbeschichtung mit UF-Technologie und der Pulverbeschichtung bzgl.

- der Investitionen,
- des Anlagenbetriebes pro Jahr (Kapital-, Material-, Personal-, Energie-, Entsorgungs- und Instandhaltungskosten) sowie
- des Flächendurchsatzes (Kosten pro Flächeneinheit)

wurden in Abstimmung mit Anlagenherstellern ermittelt. Die Preise für die verschiedenen Materialien wurden von den Lieferanten genannt.

Die Abschreibungsdauer wurde auf 10 Jahre, der Zinssatz auf 10 % festgelegt. Für die erforderlichen Umbaumaßnahmen der Halle wurden für jede Verfahrensalternative 1.000.000 DM veranschlagt. Bei der Wasserlacktechnologie könnte sich dieser Wert durch den größeren Platzbedarf evtl. erhöhen.
Die Lackschichtdicken wurden etwas über den Angaben der Lackhersteller angesetzt, da Überbeschichtungen nie auszuschließen sind; sie betragen für die Pulverbeschichtung 110 µm und für den Wasserlackaufbau 80 µm. Die Anzahl der erforderlichen Mitarbeiter kann aufgrund der bestehenden Kenntnisse über die Verfahrensalternativen ebenfalls für das Jahr 1997 geschätzt werden.

Damit die Kosten der Pulver- und Wasserlacktechnologie mit dem IST-Zustand verglichen werden können, sind die ermittelten Ausgangskosten für das Jahr 1991 von 30 DM/m^2 bei einer Flächenleistung von 40.000 m^2/a mit einer Preissteigerungsrate von 4 % für Material, Personal, Energie und Entsorgung hochzurechnen. Der flächenbezogene Aufwand für die maximal durchsetzbare Teilezahl in der Altanlage von 45.000 m^2/a beträgt dann ca. 38 DM/m^2 im Jahre 1997. Bezüglich den zukünftig zu beschichtenden Oberflächen von 75.000 m^2/a müssen 30.000 m^2/a fremdvergeben werden. Die Kosten dazu werden für das Jahr 1997 mit 43 DM/m^2 angenommen. Der durchschnittliche, flächenbezogene Aufwand des IST-Zustandes, hochgerechnet auf das Jahr 1997, beträgt dann rund 40 DM/m^2.

Entsprechend der Kostengegenüberstellung in Abbildung C 5 können folgende Aussagen getroffen werden :

- Mit der Investition einer neuen Lackiererei werden erhebliche Einsparungen zum IST-Zustand (bei der Hochrechnung im Vergleich zur Pulverbeschichtung sind dies ca. 900.000 DM/a und 11,90 DM/m^2 im Jahre 1997) möglich.
- Die Wasserlackbeschichtung mit UF-Technologie verursacht gegenüber der Pulverbeschichtung im Jahre 1997 rund 650.000 DM/a und 8,60 DM/m^2 an Mehrkosten.

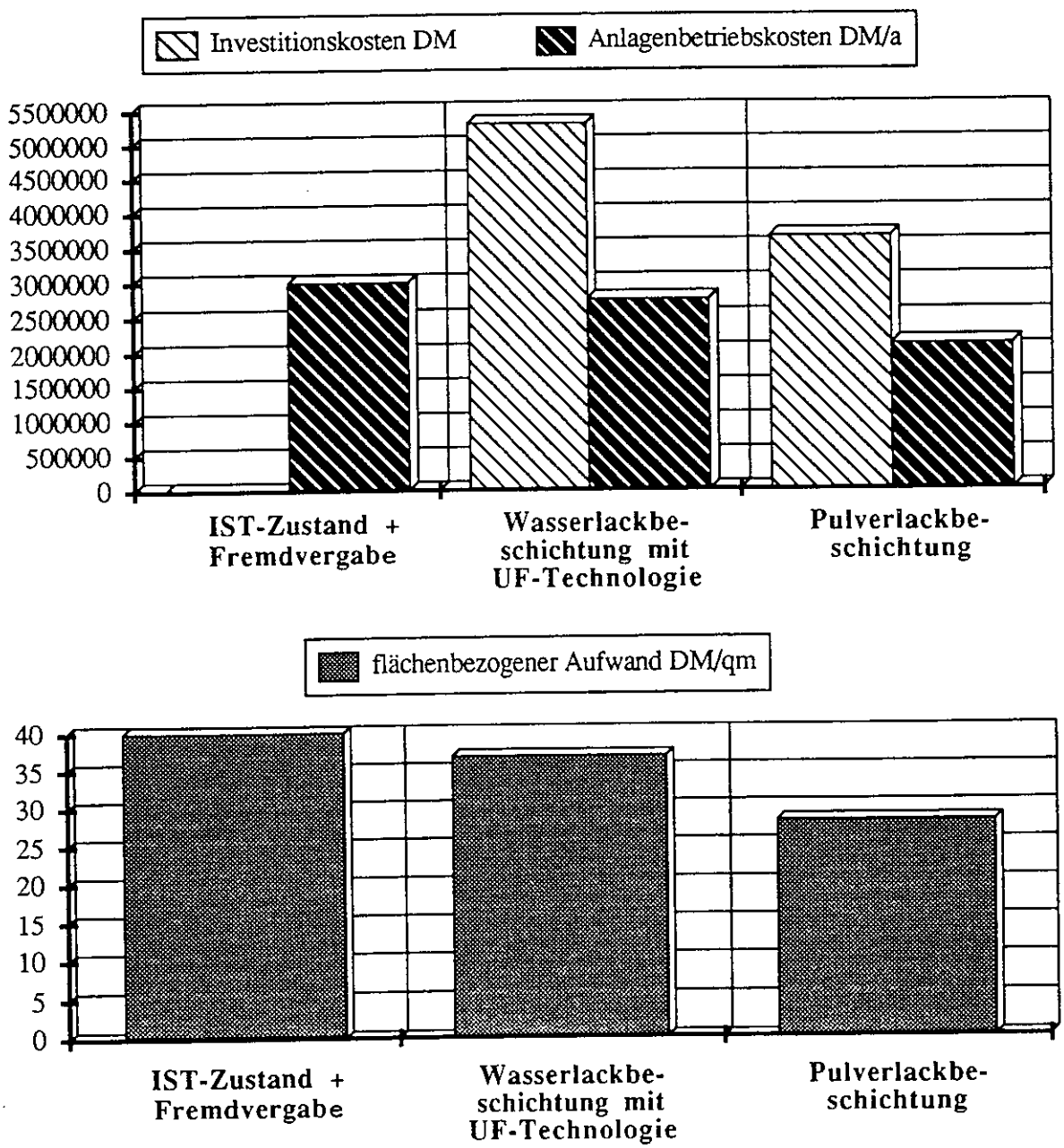


Abbildung C6: Kostenvergleich der Verfahrensalternativen

6 Ergebnis der Untersuchungen / Entscheidung für die Pulverbeschichtung

Zur endgültigen Verfahrensauswahl bzw. -festlegung wurde eine Nutzwertanalyse durchgeführt, welche die prioritären betriebsspezifischen Entscheidungskriterien berücksichtigt. Hohe Priorität räumt der untersuchte Betrieb z.B. den Kriterien Umweltschutz, Beschichtungsqualität, Prozeßsicherheit und Produktionskapazität ein. Entsprechend den in der folgenden Tabelle dargestellten Ergebnissen ist der relative Nutzwert für die Pulverbeschichtung deutlich höher als für die Wasserlacktechnologie incl. Ultrafiltrationstechnik. Damit ist das Verfahren der Pulverbeschichtung zur Lackierung der Autoparksysteme dieses Lackanwenders eindeutig zu favorisieren.

Kriterien B : Bewertung B 4 : sehr gut B 3 : gut B 2 : befriedigend B 1 : schlecht B 0 : sehr schlecht G : Gewichtung nach den Prioritäten 5 (hoch) bis 1 (gering) N : Nutzwert (GxB)		**Verfahrensalternativen**			
		Pulverlack		**2x Wasserlack mit UF**	
	G	B	N	B	N
Beschichtungs-Qualität	5	3	15	3	15
Prozeßsicherheit	5	3	15	1	5
Abfallanfall	5	4	20	4	20
Abwasseranfall	5	3	15	2,5	12,5
Emissionsanfall	5	4	20	3	15
Toxikologie	5	3	15	2	10
Geruchsbelästigung	5	3	15	2	10
Kapazitätssteigerung	5	2	10	2	10
Kapazitätsnutzung	4	2	8	3	12
Beschädigungsgefahr	4	4	16	3	12
Produktflexibilität	4	0	0	2	8
Steuerungsflexibilität	3	1	3	3	9
Farbtonauswahl	3	2	6	4	12
Automatisierung	2	3	6	2	4
Beschichtungsfehler	2	3	6	2	4
Lackfilmstrukturauswahl	1	2	2	3	3
Personalqualifikation	1	4	4	2	2
absoluter Nutzwert (Σ N)			176		163,5
Betriebskosten Mio DM/a		2,1		2,75	
relativer Nutzwert		**84**		**59**	

Hinzu kommt, daß bezüglich der Prozeßsicherheit die Pulverbeschichtung als bewährte Technologie bei intensiver Planungsarbeit in wenigen Monaten zur Bestellreife gebracht werden kann.

Die Prozeßsicherheit der Wasserlackbeschichtung mit UF-Technologie bei der Beschichtung der Autoparksysteme wurde dagegen relativ niedrig bewertet, da für die Praxisumsetzung dieses Verfahrens noch relativ wenig Erfahrungen bestehen. Aus diesem Grund kann eine akzeptable Prozeßsicherheit für die Wasserlacktechnologie mit Ultrafiltration selbst bei optimistischer Einschätzung frühestens in einem Jahr nach Durchführung von Versuchsreihen in einer Serien- oder Pilotspritzkabine vorliegen.

Zur Zeit werden bereits serienmäßige Pulverbeschichtungen von einem Lohnbeschichter, der seinen Standort in unmittelbarer Nähe des betrachteten Unternehmens hat, ausgeführt. Die Beschichtungsergebnisse entsprechen den Erwartungen und werden wirtschaftlich bei hoher Prozeßsicherheit und einer relativ geringen Personalqualifikation erreicht.

Auch bei der eigenen Pulverbeschichtung sind gegenüber dem IST-Zustand erhebliche Einsparungen (ca. 900.000 DM/a) erzielbar.

Die Entscheidung über die zukünftige Durchführung der Pulverbeschichtung, d.h.extern bei einem Lohnbeschichter oder betriebsintern mit einer eigenen Anlage, hängt von den unternehmensspezifischen Planungen ab; beide Möglichkeiten ergeben gegenüber dem IST-Zustand eine deutlich verbesserte Wirtschaftlichkeit bei gleichzeitiger Verringerung der Lackabfälle.

7 Übertragbarkeit der Projektergebnisse

Für Stahlteile mit und ohne Verzinkung wurde ein über die Ultrafiltrationstechnik recyclefähiges Zweischicht-Wasserlacksystem entwickelt. Beim Einsatz einer Teilevorbehandlung mit Eisenphosphatierung sind damit gute dekorative und funktionelle Lackfilmeigenschaften, insbesondere ein hoher Korrosionschutz, erreichbar.

Mit dieser Entwicklung sind neben den Herstellern von Autoparksystemen weitere Anwender der Metall-Lackierung angesprochen. Dies betrifft vor allem die Lackierung temperaturempfindlicher, komplexer Teile für Feuchträume oder den Außeneinsatz, die nur mit Spritz- oder Sprühverfahren beschichtbar sind.

Jede dieser Anwendungen muß sich, wie auch im vorliegenden Projekt, im Vergleich mit der Alternative der Pulverbeschichtung messen. Die Auswahl des optimalen Verfahrens wird dabei immer anwendungsfallspezifisch entschieden, wobei z.B. die für die Pulverbeschichtung kritischen Parameter wie Teileform, -werkstoff, und -massenverteilung, Farbtonvielfalt, etc. zu beachten sind.

Anhang

Anhang 1	:	Übersicht der Systeme zur direkten Rückgewinnung von Lackoverspray
Anhang 2	:	Praxiseinsatz und Erprobung der Rückgewinnungssysteme von Wasserlack-Overspray
Anhang 3	:	Ansatzpunkte zur betriebsinternen Vermeidung und Verminderung von Lackschlämmen

Übersicht der Systeme zur direkten Rückgewinnung von Lackoverspray

System	Charakterisierung	Kurzbezeichnung
Abscheidung in flüssigem Lackmaterial	Direkte Abscheidung im umlaufenden Lack	- "Lack-in-Lack"-Spritzkabine
Abscheidung an Auffangflächen	Ablaufen von gekühlten Wänden	- Kondensationssystem (Flächenspritzautomaten)
	Mechanisches Abstreifen von flüssigkeitsbenetzten Flächen	- Rotierende Säule o. ä. - Lamellensystem - Auffangwand bzw. Wanne oder Gurtbänder bei Flächenspritzautomaten - Schnellumlaufendes Band
	Ablösen der angetrockneten Lackteilchen von schwerbenetzbaren Flächen	- Teflonbeschichtete Filterelemente
Abscheidung im Spritzkabinenauswaschwasser	Aufkonzentration des verdünnten Wasserlacks	- Ultrafiltration - Elektrophorese - Vakuumverdampfung - Kombinationsverfahren

Praxiseinsatz und Erprobung der direkten Rückgewinnungssysteme von Wasserlack-Overspray (I)

Lackarten / System	Lacke mit geringen flüchtigen Bestandteilen, z.B. UV-Lacke	luft- bzw. forciert trocknende Lacke sowie Einbrennlacke u.-materialien	an der Luft schnell trocknende Lacke, z.B. Acrylat-Dispersionen
"Lack-in-Lack"-Spritzkabine	Holzstühle	Fahrräder (Einbrennlack) Kunststoff-Autoleuchten (lufttr. Lack)	Särge
Kondensations-system (Flächen-spritzautomaten)			Fassadenelemente
Rotierende Scheibe		Behälter (Einbrennlacke); Kombination mit Ultrafiltration	
Rotierende Säule		- Armaturen (Einbrennlack) - "weiße Ware"(Naßemail) - Haushaltgeräte (Teflon) - Gießereiwesen (Schlicker)	Holzfenster und -türen
Lamellensystem (im Praxiseinsatz derzeit nur Trockenabscheidungssysteme)	Holzstühle	Fassadenelemente (Lufttr. Grund- und Decklacke)	Holzfenster- und türen (mehrere Anlagen)
		Stahlmöbelteile (Einbrennlack); Kombination mit Ultrafiltration	
		Auspuffanlagen	
Wanne oder Gurt-bänder bei Flächenspritz-automaten		Flächige Möbel-teile (mehrere Anlagen)	
Teflonbeschichte te Filterelemente			Pumpen - Heizkessel - Motoren

Anlage im Praxiseinsatz bzw. in Auftrag

Pilotanlage bzw. erfolgreicher Verfahrenstest

Praxiseinsatz und Erprobung der direkten Rückgewinnungssysteme von Wasserlack-Overspray (II)

System \ Lackarten	Lacke mit geringen flüchtigen Bestandteilen, z.B. UV-Lacke	luft- bzw. forciert trocknende und Einbrennlacke	an der Luft schnell trocknende Lacke, z.B. Acrylat-Dispersionen
Ultrafiltration, 1-stufig	Holzstühle	- Stahlrohre - Behälter - Getriebe - Kühler (lufttr. Lacke)	
	Holzmöbel	- Verdichter - Kühlmaschinen - Kunststoffgehäuse - Fassadenelemente - Fenster (lufttr. Lacke)	
		- Stahlmöbel - Lagereinricht. - Röhren - Motorblocke - Bettgestelle - Behälter (Einbrennlacke)	
		- Stahlmöbel - Getriebe - Gaszähler - Tanks - Pumpen - Achsen (Einbrennlacke)	
Ultrafiltration, 2-stufig		- Karosserien (Füller)	
Ultrafiltration / Mikrofiltration zur Entpigmentierung		- Behälter (Farbmischungen)	

Anlage im Praxiseinsatz bzw. in Auftrag

Pilotanlage bzw. erfolgreicher Verfahrenstest

Praxiseinsatz und Erprobung der direkten Rückgewinnungssysteme von Wasserlack-Overspray (III)

Lackarten / System	Lacke mit geringen flüchtigen Bestandteilen, z.B. UV-Lacke	luft- bzw. forciert trocknende und Einbrennlacke	an der Luft schnell trocknende Lacke, z.B. Acrylat-Dispersionen
Elektrophorese		Fahrzeuglackierung (Laboranlagen)	
Vakuumverdampfung	Holzprofile		
Kombination Ultrafiltration / Elektrophorese		Nutzfahrzeug-Fahrerhäuser (Füller)	

Anlage im Praxiseinsatz bzw. in Auftrag

Pilotanlage bzw. erfolgreicher Verfahrenstest

Ansatzpunkte zur betriebsinternen Vermeidung und Verminderung von Lackschlämmen

Vermeidung und Verminderung	Bemerkung
• **Grundsatz-Überlegungen, z.B.** - Muß ein Werkstück lackiert werden? - Welcher Werkstoff muß lackiert werden? - Wie und wo soll lackiert werden?	Diese Fragen müssen insbesondere bei der Neuplanung/Neukonzeption beantwortet werden.
• **Einsatz reststoff-/abfallarmer Applikationsverfahren, z. B.** - elektrostatisches Versprühen - HVLP-Spritzen - Elektrotauchen (z.B. KTL) - Fluten - Gießen - Walzen - Vakuumbeschichten	Ziel ist, einen möglichst hohen Auftrags- bzw. Festkörpernutzungsgrad beim Beschichten zu erreichen. Welches der Lackierverfahren für den jeweiligen Einsatzfall zur Anwendung kommt, ist von einer Vielzahl von Faktoren abhängig (z. B. Durchsatz, Qualität, Werkstoff, Werkstücksgeometrie, räumliche Situation, Lackdurchsatz)
• **Einsatz eines aufarbeitbaren und lösemittelarmen Farb- und Lacksystems, z. B.** - Strahlungshärtende Lacke - 1-Komponenten-Lacke - Wasserlacke - Pulverlacke	Ziel ist der Einsatz von lösemittelarmen und aufarbeitbaren Lacksystemen. Reststoffarme Applikationsverfahren (z. B. Walzen, Gießen, Tauchen etc.) sowie interne und hochrangige externe Recyclingtechniken zur Rückgewinnung von Overspray sind nur bei 1K-Naßlack- und Pulverlacksystemen praktikabel.
• **Optimierung des Lackierprozesses durch technisch-organisatorische Maßnahmen, z. B.** - Einhaltung der Mindestschichtdicke - Minimierung der Farb- und Lackwechsel - Verwendung von Wechselcontainern - Verwendung von Dosiereinrichtungen bei 2K-Lack-Anwendung - Optimierung des Bandbelegungsfaktors - Optimierung der Spritzlackierparameter beim automatischen und manuellen Lackieren (z. B. Spritzstrahlbreite, Spritzluftdruck, Spritzabstand) - Optimierung der Naßauswaschung durch Verringerung des Auswaschwasservolumens, kontinuierliche Koagulierung und kontinuierlichen Koagulataustrag	Ziel ist, den Anfall von Lackresten , verunreinigten Lösemitteln aus der Gerätereinigung und von Lackabfällen (Overspray und Lackkoagulat) durch betriebsinterne Optimierung des Lackierprozesses zu minimieren.
• **Einsatz von Overspray-Auffang- und/oder Aufkonzentrations-verfahren** - Overspray-Recycling mit Auffangflächen (z. B. Band, Säule, Wanne etc.) - Overspray-Recycling mit Aufkonzentrationsverfahren (z. B. Ultrafiltration, Vakuumverdampfung und Verfahrenskombination)	Die einzelnen Rückgewinnungsverfahren lassen sich nach heutigem Kenntnisstand in 3 Systeme einordnen (s. A1). Bei der betriebsinternen Einführung ist prinzipiell zwischen einem Umbau und einem Neubau der Lackieranlage zu unterscheiden. Die Hauptkomponenten Lacksystem, Applikationseinheit, Lackierkabine und Rückgewinnungsanlage müssen aufeinander abgestimmt sein.

• **Interne Behandlung, z.B.**
 	
- Mechanische Entwässerung des ausgetragenen Lackkoagulats
- Kabinenwasser-Standzeitverlängerung durch
  - Verringerung des Auswaschwasservolumens
  - Kontinuierliche Koagulierung und Koagulataustrag
  - Aufbereitung des Auswaschwassers mit mobiler Anlage
	Ziel ist, den Wasseranteil im Lackschlamm zu verringern und die Entsorgungsintervalle des Kabinenauswaschwassers zu erhöhen.