



**Im Auftrag der  
ABAG - Abfallberatungsagentur  
Baden - Württemberg**

**Rückgewinnung von Wasserlackoverspray  
mittels Kombination aus Ultrafiltration  
und Vakuumverdampfung**

**Projektträger:**  
Weckerle GmbH  
Strohgäustraße 20  
70435 Stuttgart  
Tel.: (0711) 82601-0  
Ansprechpartner: K. John

**Projektbegleiter:**  
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik  
und Automatisierung (IPA) Stuttgart

**Dr.-Ing. O. Baumgärtner**

**August 1996**



**Fraunhofer** Institut  
Produktionstechnik und  
Automatisierung

**PROJEKTBERICHT**

**Erarbeitung:**

Dr.-Ing. O. Baumgärtner

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart

Für die kooperative Mitwirkung an diesem Projekt bedankt sich das IPA gemeinsam mit der ABAG bei allen Beteiligten des Hauses Weckerle GmbH, insbesondere bei Herrn K. John (Technischer Leiter).

Ebenso gilt unser Dank Herrn M. Stiefel (Leiter Umweltschutz der Fa. Behr GmbH & Co. in Pforzheim) als Ansprechpartner des beteiligten Anwender-Unternehmens sowie Herrn Dr. J. Halbartschlager vom Anlagenbau-Unternehmen Eisenmann in Holzgerlingen.

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

**Herausgeber:**

ABAG-Abfallberatungsagentur

Geschäftsbereich der

SBW-Sonderabfallentsorgung Baden-Württemberg GmbH

Stauferstr. 15

70736 Fellbach

Tel.: 0711 / 95 19 11 - 0

Fax: 0711 / 95 19 11 - 20

August 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
<b>Kurzfassung</b>	5
<b>1 Stand der Technik</b>	6
1.1 Rückgewinnung von Wasserlackoverspray durch Ultrafiltration	6
1.2 Weiterentwicklung des Stands der Technik durch das vorliegende Projekt	7
<b>2 Kurzbeschreibung des Lackherstellers</b>	8
2.1 Allgemeine Betriebsdaten	8
2.2 Produkte und Kunden	8
<b>3 Verfahrensentwicklung</b>	9
3.1 Anforderungen und Grenzen der Wasserlack - Ultrafiltration	9
3.2 Kombinationsverfahren - Ultrafiltration und Vakuumverdampfung	10
3.3 Versuchsergebnisse	12
3.4 Folgerungen	13
<b>4 Produktentwicklung</b>	14
4.1 Anforderungen	14
4.2 Modifikationen des vorhandenen Lacks	15
4.3 Neuentwicklung	16
4.4 Folgerungen	17
<b>5 Auswirkungen auf die Praxis</b>	18
5.1 Praxiseinführung	18
5.1.1 Verfahrensbeschreibung (IST)	18
5.1.2 Recyclinganlage	19
5.2 Abfallverringerung	20
5.3 Kosteneinsparung	20

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Wasserlackrecycling durch Ultrafiltration	6
Abbildung 3-1:	Vakuumverdampfungsanlage zum Aufkonzentrieren von Wasserlack - Gemischen	10
Abbildung 3-2:	Technikum mit Rückgewinnungsanlagen	11
Abbildung 5-1:	Verfahrensablauf - Lackiererei der Fa. Behr, Pforzheim	19

## Tabellen

Tabelle 5-1:	Einsparungen und Zusatzkosten durch den Betrieb einer Recyclinganlage	21
Tabelle 5-2:	Berechnungsgrundlagen	22

## Kurzfassung

Die Firma Weckerle GmbH in Stuttgart ist ein mittelständischer Hersteller von Industrielacken für unterschiedliche Einsatzfelder. Eines ihrer Produkte ist ein rasch trocknender Einschichtlack auf wasserverdünnter Dispersionsbasis, der zur Beschichtung von Automobilklimaanlagen eingesetzt wird. Dieser Lack kann auf blanker Aluminiumoberfläche appliziert werden, da die Haftfestigkeit dieses Lackmaterials auch ohne zusätzliche Vorbehandlung wie Chromatierung oder Phosphatierung gegeben ist.

Um die entstehende Lackschlümme bei der Spritzlackierung von Kfz-Klimaanlagen vermeiden zu können, soll der bei diesem Auftragsverfahren unvermeidliche Overspray zurückgewonnen und wieder aufgearbeitet werden. Da in der Lackieranlage des betrachteten Anwender-Unternehmens nur dieser eine Lacktyp in einem Farbton verarbeitet wird, bietet sich als Recyclingverfahren die Wasserlack-Ultrafiltration an. Hierbei ergeben sich jedoch Schwierigkeiten infolge der hohen Reaktivität der ursprünglichen Polyesterdispersion bei der Aufkonzentrierung. Bereits bei Festkörperkonzentrationen von 20 - 25 % kommt es zu Vernetzungsreaktionen und Koagulationen. Aus diesem Grund wurde ein zweistufiges Verfahren zur Aufkonzentration angestrebt. In der ersten Stufe sollte dabei über Ultrafiltration bis ca. 25 % Festkörpergehalt schonend aufkonzentriert, danach das Retentat in der zweiten Stufe mit Hilfe einer Vakuumverdampfungsanlage auf die verarbeitungsfähige Konzentration von etwa 50 % aufgearbeitet werden. Als Projektziel war geplant, eine Pilotanlage aufzubauen und bei einem Anwender-Unternehmen unter Produktionsbedingungen zu betreiben.

Die Versuche mit der Vakuumverdampfung wurden im wesentlichen im Technikumsmaßstab durchgeführt, wobei jedoch technische Probleme auftraten. Im wesentlichen wurden diese verursacht durch das Antrocknen des Lacks in der Verdampferanlage und den daraus resultierenden Siedeverzügen, die zu erheblichen Verunreinigungen führten. Durch konstruktive und verfahrenstechnische Maßnahmen konnte dieses Problem nicht gelöst werden, so daß die Kombination Ultrafiltration und Vakuumverdampfung für dieses spezielle Lackmaterial nicht einsetzbar ist. Eine Möglichkeit die Vakuumverdampfung zu ersetzen könnte prinzipiell der Einsatz einer Nanofiltration sein, wie Versuche an einer Laboranlage bei einem Rohstoffhersteller gezeigt haben. Derartige Anlagen werden bisher für das Lackrecycling nicht eingesetzt und stehen in der erforderlichen Größe für einen Produktionsbetrieb noch nicht zur Verfügung. Auch können keine Angaben über erreichbare Permeatleistungen und den Energieeinsatz gemacht werden.

Als Alternative wurde deshalb von der Firma Weckerle eine neue Rezeptur des Lackes entwickelt, mit der eine einstufige Ultrafiltration möglich ist. Dies konnte jedoch nur auf Kosten anderer Eigenschaften geschehen, so daß das neu entwickelte Material einige qualitative Nachteile gegenüber dem ursprünglichen Lack aufweist. Jedoch sind auch mit diesem Material die gestellten Qualitätskriterien erfüllt; eine endgültige Abnahme seitens des Anwenders ist allerdings noch nicht erfolgt.

Das Ziel der Rückgewinnung des Oversprays dieses modifizierten Wasserlacks mittels Ultrafiltration wird weiterverfolgt, da ein bedeutendes Kosteneinsparpotential (ca. 567.000,- DM/a) bei gleichzeitiger Lackschlammreduzierung um ca. 85 bis 90 % beim betrachteten Unternehmen besteht.

# 1 Stand der Technik

## 1.1 Rückgewinnung von Wasserlackoverspray durch Ultrafiltration

In den letzten Jahren werden in der industriellen Lackiertechnik zunehmend Recyclingverfahren eingesetzt, die es erlauben, Lackoverspray beim Spritzlackieren zurückzugewinnen und einer erneuten Verarbeitung wieder zuzuführen. Eines der wichtigsten Verfahren zu diesem Zweck ist das Recycling von Wasserlacken mit Hilfe der Ultrafiltration. Hierbei wird zum Auswaschen der Lacknebel in der Kabine vollentsalztes Wasser eingesetzt; dieses nimmt den Lackoverspray auf und vermischt sich damit. Das Auswaschwasser in der Kabine ist somit eine Verdünnung des eingesetzten Lacks. Um diesen wieder zurückzugewinnen und in eine verarbeitungsfähige Konsistenz zu bringen, muß das Kabinenwasser entnommen und aufkonzentriert werden. Dies erfolgt in der Weise, daß das Wasser über eine Ultrafiltrationsanlage (UF) solange im Kreislauf gepumpt wird, bis über die Membranen das überschüssige Wasser abgezogen ist (Abb. 1-1). Das Konzentrat wird aus der Ultrafiltrationsanlage entnommen und kann direkt wieder der Verarbeitung zugeführt werden.

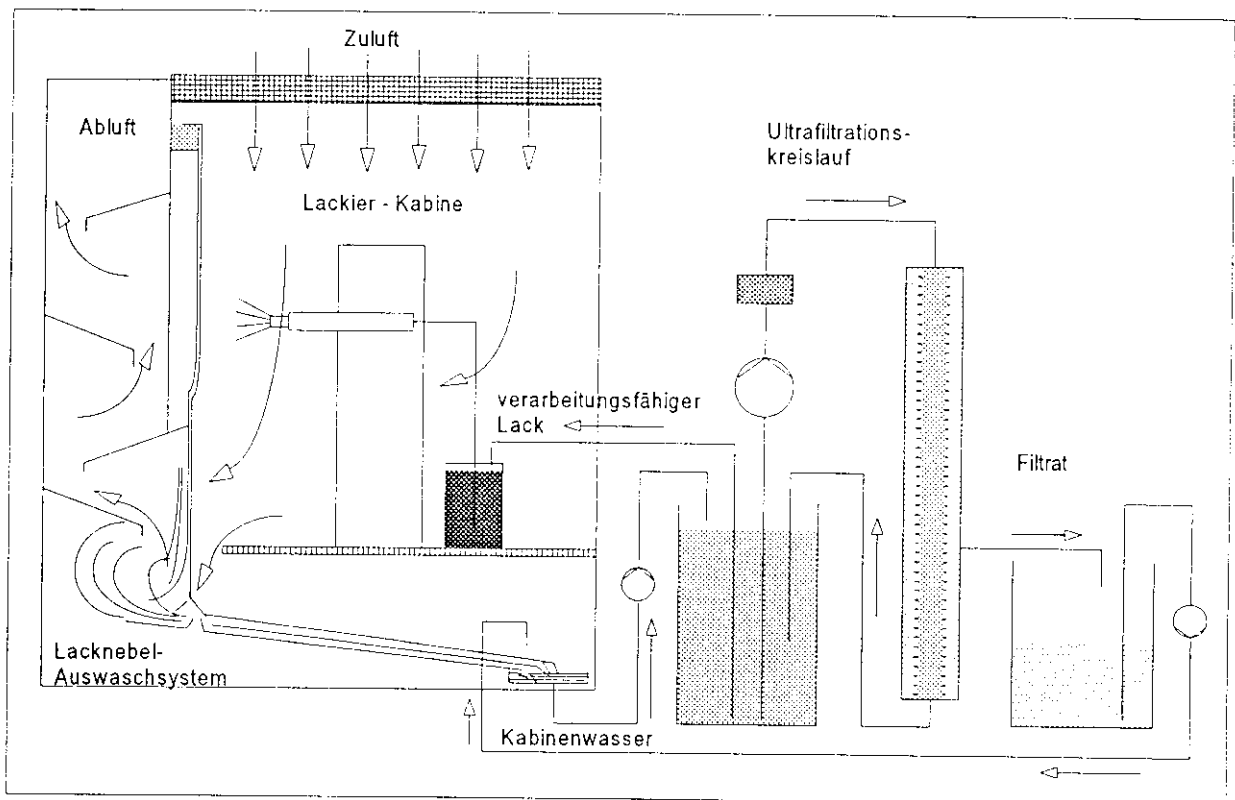


Abbildung 1-1: Wasserlackrecycling durch Ultrafiltration

Die Wasserlack-Rückgewinnung mit einer UF-Anlage stellt einige besondere Voraussetzungen an das eingesetzte Material, die Verfahrenstechnik sowie an die Produktionsweise der Lackiererei (siehe Kap. 3.1). Wenn diese spezifischen Anforderungen erfüllt werden können, ist das Wasserlackrecycling als ein effektives Verfahren zur Vermeidung von Lackschlämmen einzustufen.

## 1.2 Weiterentwicklung des Stands der Technik durch das vorliegende Projekt

Bei diesem Entwicklungsprojekt geht es um die Rückgewinnung eines forciert trocknenden Wasserlacks (Dispersion), der in der Automobil-Zulieferindustrie eingesetzt wird. Dieser Lack hat hinsichtlich Verarbeitung und Beständigkeit besonders hochwertige Eigenschaften, kann aber allein durch Ultrafiltration nicht aufgearbeitet werden.

Um trotzdem das Wiederverwenden des Oversprays und damit eine erhebliche Materialeinsparung und Reduzierung der entstehenden Lackschlämme zu ermöglichen, sollen als Ziel dieses Projektes die Voraussetzungen dafür geschaffen werden. Als Lösungsweg hierzu ergeben sich damit zwei Möglichkeiten:

- Entwicklung eines schonenden Verfahrens, evtl. auch als Verfahrenskombination, womit die erforderlichen Konzentrationen ohne Materialschädigung zu erreichen sind;

oder / und

- Entwicklung eines Lackmaterials, das den Belastungen beim Recycling standhält, aber trotzdem die Anforderungen bzgl. Verarbeitung und Korrosionsschutz erfüllt.

Es ist vorgesehen, das neu entwickelte Verfahren bzw. das modifizierte Lackmaterial bei einem der Hauptabnehmer, der Firma Behr in Pforzheim, einzusetzen. Darüber hinaus sind die Ergebnisse der Entwicklungen allgemein von hohem Interesse, weil sich damit in vergleichbaren Fällen Lösungen realisieren lassen, wo bisher noch kein Recycling aus Qualitäts- und Kostengründen möglich ist.

Zur nachhaltigen und zukunftsorientierten Umweltentlastung beim Lackieren ist es erforderlich, daß Hersteller von Lacken die Möglichkeiten von Recyclingmaßnahmen bereits in die Produktentwicklungen mit einbeziehen, obwohl dadurch andererseits ihre Materialumsätze insgesamt geringer werden. Längerfristig erfolgreiche Recyclingtechniken lassen sich auch nur durch Zusammenwirken von Anlagen- und Materialherstellern auf der einen Seite und Anwendern auf der anderen Seite verwirklichen.

## 2 Kurzbeschreibung des Lackherstellers

### 2.1 Allgemeine Betriebsdaten

Die Firma Weckerle GmbH ist ein mittelständisch strukturiertes Unternehmen, mit einer neun-jahrzehntelangen Tradition. Sie ist Hersteller von technologisch anspruchsvollen Lacken für die Beschichtung industrieller Oberflächen.

Weckerle-Tradition - heißt über die heutige Serienfertigung hinaus - permanente Produkt-Innovation und Weiterentwicklung des Leistungsangebots. Ein wesentliches Ziel der Produktentwicklung liegt in zukunftsorientierten ökologisch verträglichen Problemlösungen wie die Entwicklung und Produktion wasserverdünnbarer festkörperreicher Lacksysteme.

Das aus ca. 50 Mitarbeitern bestehende Weckerle-Team erzielt einen jährlichen Umsatz von etwa 15 Mio. DM. Kooperiert wird dabei zusätzlich mit anderen selbständigen mittelständischen Lackfabriken mit insgesamt 684 Mitarbeitern und einem Umsatz von 190 Mio. DM und einer Entwicklungskapazität von 170 Mitarbeitern.

### 2.2 Produkte und Kunden

In folgenden Anwendungsfeldern sind weco-Produkte im Einsatz, z.B.

- **Automobilindustrie** BMW, Mercedes-Benz, VW, Audi, MAN, AVIA
- **Automobilzulieferer** Behr, Bosch, Knecht, Oris, SHW, Valeo, Buderus sowie Schalldämpferproduzenten wie Boysen, Gillet, Roth-Technik, Zeuna-Stärker, Leistritz, Remus
- **Anlagenbau** Mannesman-Demag, Eisenmann, Behr-Industrietechnik
- **hochhitze Besichtigungen** Vaillant, KSB, Aichelin, VOITH SULZER
- **Spezialmärkte, z.B.:**
  - o Korrosionsschutz Hebel-Gruppe
  - o Armaturenbeschichtung Düker
  - o Waggonbau MSV



## 3 Verfahrensentwicklung

### 3.1 Anforderungen und Grenzen der Wasserlack-Ultrafiltration

Zur Wiederaufarbeitung des Oversprays von Wasserlacken aus dem Kabinenauswaschwasser sind bzgl. Lackmaterial, Verfahrens- und Anlagentechnik sowie der Fertigungstechnik einige wesentliche Anforderungen zu erfüllen:

- Der eingesetzte Lack muß eine genügende Stabilität gegenüber den besonderen mechanischen (Scherbelastung), chemischen (pH-Wert-Verschiebung) und thermischen Beanspruchungen besitzen, welchen er bei der Aufarbeitung unterliegt.
- Bereits die Spritzkabine muß für das Recycling ausgelegt sein; z.B. sollten keine Stellen vorhanden sein, wo sich der im Wasser enthaltene Lack entmischen kann und die Bestandteile sich absetzen. Auch muß beachtet werden, daß mit dem Abluftstrom verdünnter Lack mitgerissen wird; die Abscheidung muß deshalb ausreichend wirksam sein, oder die Lackkonzentration im Wasser darf nicht zu hoch werden. Andernfalls besteht die Gefahr, daß die zulässige Partikelkonzentration ( $3 \text{ mg/m}^3$ ) in der Abluft überschritten wird.
- In der Kabine darf nur der vorgesehene Lacktyp verarbeitet werden. Sollten fremde Lackmaterialien in das Auswaschwasser gelangen, so ist mit Unverträglichkeiten zu rechnen. Werden unterschiedliche Farbtöne (desselben Lacks) verarbeitet, so ergibt sich beim Recyclat ein Mischfarbton. Wenn dies nicht gewünscht wird, so muß beim Farbtonwechsel auch das Auswaschwasser gewechselt werden.

In dem vorliegenden Fall wird angestrebt, für ein spezielles Lacksystem mit einem konkreten Anwendungsbereich ein Recyclingsystem zu verwirklichen, das es ermöglicht, die Lackabfälle bei der Applikation auf ein Minimum zu reduzieren. Es handelt sich dabei um einen Wasserlack, basierend auf einer Kunststoffdispersion, der für die Lackierung von Automobilteilen, wie Klimaanlage und Kühler, eingesetzt wird. Dieser Lack ist oxidativ luft-, bzw. forciert trocknend bei 50 bis 70 °C. Infolge der hervorragenden Haftigenschaften kann dieser Lack auf Aluminiumoberflächen ohne besondere Vorbehandlung wie Chromatieren oder Phosphatieren aufgetragen werden. Dadurch ist die Möglichkeit gegeben, auf diese Verfahren zu verzichten und die damit zusammenhängenden ökologischen Belastungen (Schlammanfall, Abwasser, Entgiftungsrückstände usw.) zu vermeiden.

Für eine Wiederaufarbeitung mit Hilfe der Ultrafiltration ergeben sich mit diesem betrachteten Lackmaterial allerdings Probleme. Dispersionen sind prinzipiell mit Ultrafiltration schwierig zu behandeln. Durch die örtlich hohe Aufkonzentration an der Membranoberfläche kann es zu Vorvernetzungen kommen; dies wird noch verstärkt durch die im Lack enthaltenen aktiven Pigmente, welche für den Korrosionsschutz notwendig sind. Hinzu kommen Schädigungen infolge der Scherbeanspruchung beim Umpumpen, insbesondere bei höheren Konzentrationen. Diese Probleme führen dazu, daß bei dem bisher verwendeten Lack eine Aufkonzentration bis zum verarbeitungsfähigen Festkörpergehalt von ca. 50% nicht möglich ist. Die Obergrenze für die Ultrafiltration liegt bei einem Festkörpergehalt von etwa 25 %; darüber treten erhebliche Schädigungen des Lacks auf. Als Ursache hierfür werden hauptsächlich die trocknungsbeschleunigenden Aktivpigmente angesehen.

Wenn der Lack in der ursprünglichen Zusammensetzung weiterverwendet werden soll, muß für das Recycling ein anderes Verfahren entwickelt werden. Es hat sich hierzu ein Kombinationsverfahren aus Ultrafiltration und Vakuumverdampfung angeboten.

### 3.2 Kombinationsverfahren - Ultrafiltration und Vakuumverdampfung

Der Grundgedanke dieser Verfahrenskombination ist, daß die einzelnen Aufbereitungsanlagen jeweils nacheinander unter günstigen Betriebsbedingungen eingesetzt werden können. Die Ultrafiltrationstechnik soll im unteren Konzentrationsbereich, wo mit hoher Filtratleistung und geringen Materialschädigungen zu rechnen ist, die schonende Vakuumverdampfung dagegen bei höheren Konzentrationen zum Einsatz kommen.

Das mit Overspray beladene Kabinenwasser wird bei einer Festkörperkonzentration von max. ca. 5 % abgelassen und in einer Ultrafiltrationsanlage bis zu der kritischen Grenze von 20 - 25 % Festkörpergehalt aufkonzentriert, so daß hierbei noch keine Lackschädigungen zu erwarten sind und ein wirtschaftlicher Betrieb möglich ist. Danach wird das vorkonzentrierte Wasser-Lack-Gemisch in die Verdampferanlage umgefüllt (Abb. 3-1 und 3-2). Durch Anlegen eines Vakuums und durch Wärmezufuhr ist es möglich, das restliche Wasser durch Verdampfung bei einer Höchsttemperatur von 40 °C weiter zu entziehen und die verarbeitungsfähige Konzentration von ca. 50 % zu erreichen.

Eine derartige Anlage ist vom Prinzip her kontinuierlich zu betreiben; das vorkonzentrierte Gemisch wird über einen Wärmetauscher und eine Entgasungsstation in den Umwälzkreislauf des Verdampfers geleitet. Infolge des geringen Drucks in der Verdampferkammer verdunstet das Wasser bereits bei niedrigen Temperaturen. Der Wasserdampf wird über den Verdichter aus der Kammer entzogen, kondensiert und wird zur Vorwärmung des Zulaufs verwendet. Das Konzentrat wird umgepumpt und in der Kammer versprüht. Wenn genügend Wasser abgezogen ist, kann das Konzentrat abgelassen und wiederverwendet werden.

Die Vakuumverdampfung zur Rückgewinnung von Wasserlack-Overspray konnte bisher nur mit einem UV-härtenden Wasserklarlack in der Praxis realisiert werden.

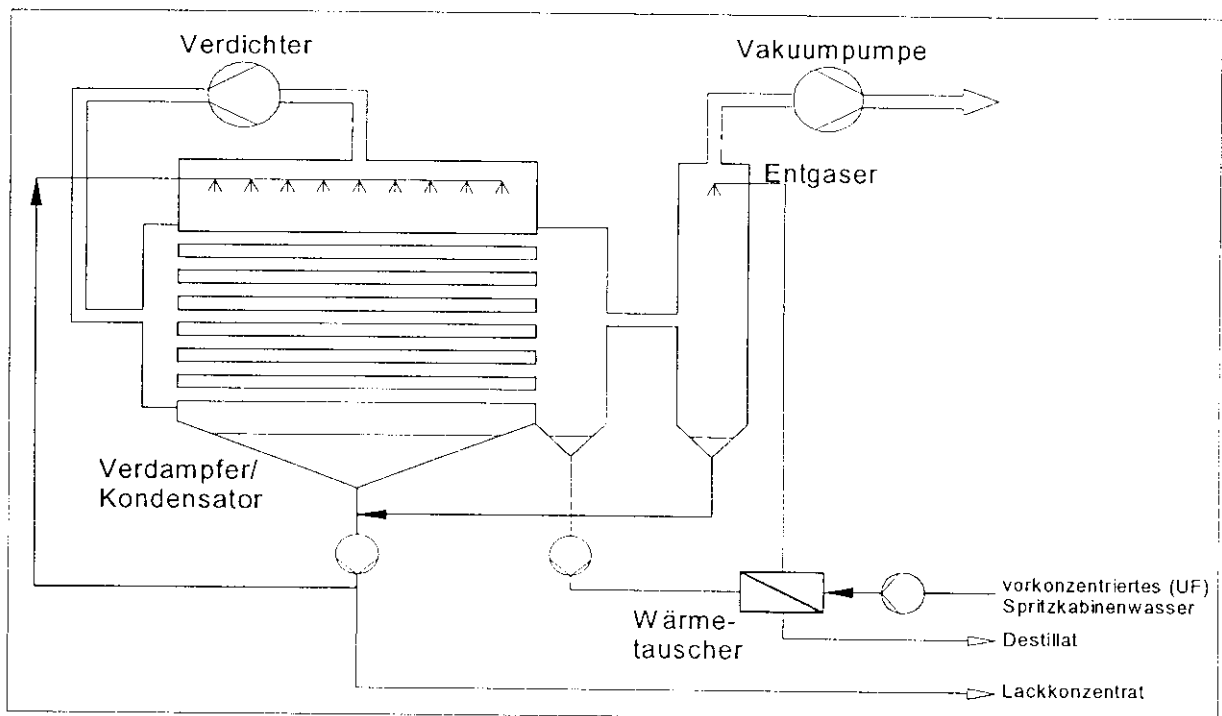


Abbildung 3-1: Vakuumverdampfungsanlage zum Aufkonzentrieren von Wasser - Lack - Gemischen (Quelle: Eisenmann)

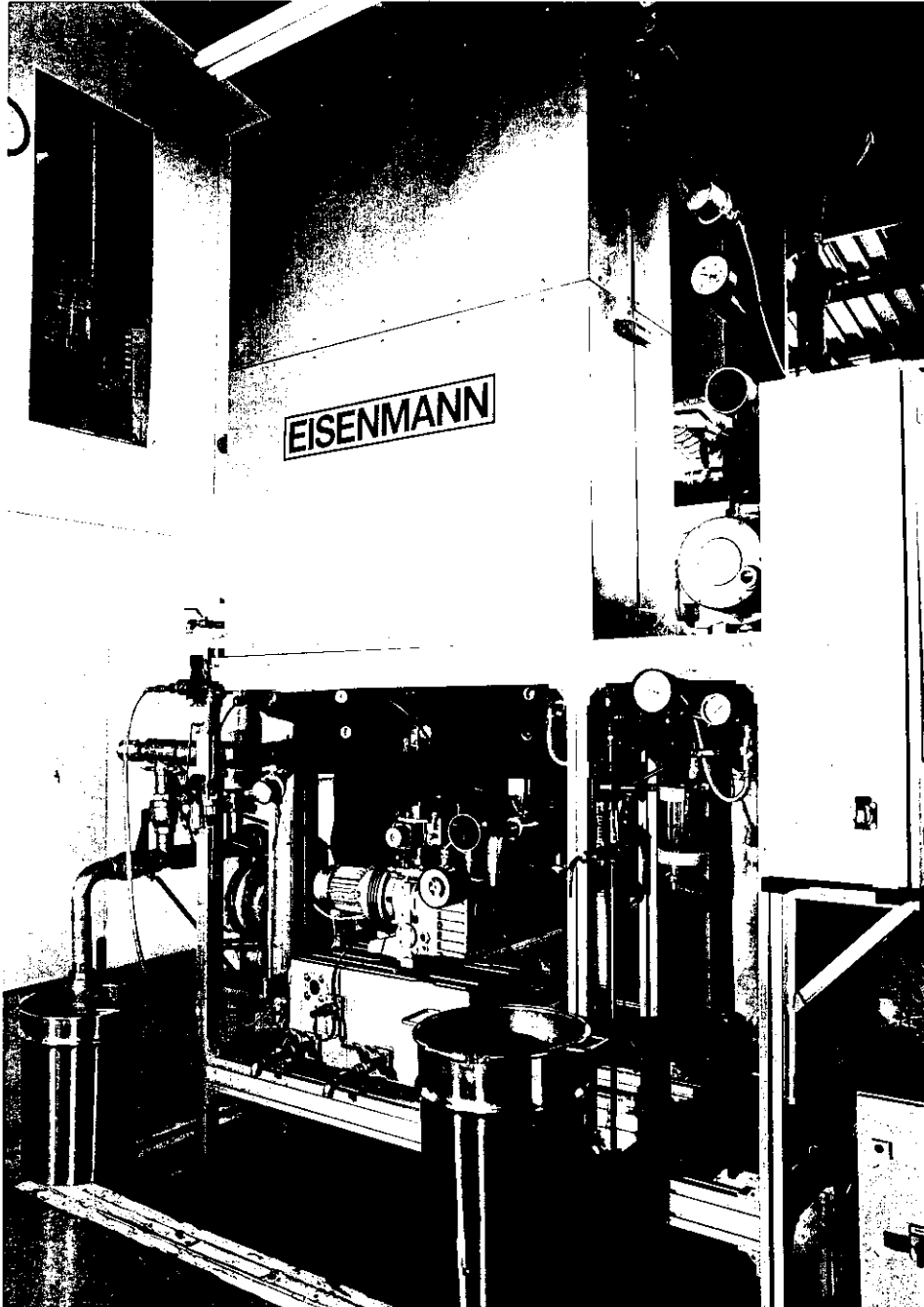


Abbildung 3-2: Technikum mit Rückgewinnungsanlagen  
(Foto: EISENMANN Böblingen)

Das gesamte Recyclingsystem gliedert sich damit in drei Prozeßfolgen:

- Spritzkabine mit Applikation:
  - \* Versprühen des Lacks,
  - \* Auswaschen des Lacknebels im Auswaschwasser (VEW),
  - \* Aufkonzentrieren auf ca. 5 % Festkörper.
  
- Ultrafiltrationsanlage:
  - \* Umpumpen im UF-Kreislauf,
  - \* Entzug des Wassers als Filtrat über die Membran,
  - \* Aufkonzentrieren auf ca. 25 % Festkörpergehalt.
  
- Vakuumverdampfer:
  - \* Umpumpen im Verdampfer-Kreislauf,
  - \* Entzug des Wassers als Destillat über die Membran,
  - \* Aufkonzentrieren auf ca. 50 % Festkörpergehalt.

### 3.3 Versuchsergebnisse

Bei den Versuchen mit dem Vakuumverdampfer nach dem Dünnschichtprinzip, die im Technikum der Firma Eisenmann (Abb. 3-2) durchgeführt wurden, zeigte es sich, daß diese Technik für die Aufkonzentrierung der verwendeten Wasser-Lack-Gemische nicht verwendbar ist. Infolge der hohen Reaktivität des Lacks, die für den speziellen Einsatzzweck gefordert ist, kommt es zu Antrocknungen an Wärmeüberträgerblechen. Diese Antrocknungen führten zu Siedeverzügen und damit zusammenhängend zu erheblichen Verschmutzungen der Vakuumpumpen, so daß nach jedem Versuch die Anlage nicht mehr einsetzbar war und vollständig gereinigt werden mußte. Im Rahmen der Versuche wurden im Technikum mehrere Anlagenvarianten von Verdampfern untersucht, aber mit keiner war der Prozeß zu beherrschen und ein zufriedenstellendes Ergebnis zu erreichen.

Auch lacktechnisch konnten durch Variationen in der Rezeptur, bei Einhalten der qualitativen und verarbeitungstechnischen Randbedingungen, die Probleme nicht gelöst werden.

### 3.4 Folgerungen

Als Schlußfolgerung der Untersuchungen muß festgestellt werden, daß die Vakuumverdampfung für die geprüften, hochreaktiven und schnelltrocknenden Lacksysteme nicht einsetzbar ist. Diese verarbeitungstechnischen Anforderungen bzgl. schneller Trocknung beeinflussen das Verhalten in der Verdampferanlage so negativ, daß damit ein Aufkonzentrierem nicht möglich ist.

Dies bedeutet nicht, daß diese Verfahrenstechnik generell für das Wasserlack-Recycling untauglich ist. Für Lackmaterialien, welche die besonderen Trocknungseigenschaften nicht aufweisen müssen, ist die Möglichkeit einer Aufkonzentrierung durch Vakuumverdampfung nicht ausgeschlossen. Dies zu prüfen war jedoch nicht Inhalt des Projektes; hier ging es um das Recycling spezieller Lacke mit genau definierten Eigenschaften.

Für eine Lösung des Recyclingproblems ist es daher unumgänglich, an der Rezeptur des Lacks entsprechende Änderungen vorzunehmen. Diese Veränderungen müssen zu einer ausreichenden Stabilität führen, um eine Aufkonzentrierung des Kabinenwassers bis zum verarbeitungsfähigen Festkörpergehalt ohne oder zumindest mit noch vertretbaren Qualitätseinbußen durchlaufen zu können. Es ist damit gut möglich, daß dadurch Nachteile entstehen, die sich negativ auf die erreichbare Qualität oder die Materialkosten auswirken.

## 4 Produktentwicklung

### 4.1 Anforderungen

Der Serienlack war in seiner ursprünglichen Zusammensetzung nicht recyclingfähig; es zeigten sich erhebliche Probleme schon bei der Stabilität im Kabinenumlauf, insbesondere aber bei der Ultrafiltration und der Vakuumverdampfung (Absetzverhalten, Koagulierung, Stippenbildung, Koagulierung, Antrocknung → siehe Kapitel 3).

Da allein durch verfahrenstechnische Maßnahmen eine vollständige Wiederaufarbeitung hochreaktiver, lufttrocknender Wasserlack-Dispersionen nicht möglich ist, mußte versucht werden, durch Modifikationen des bisher eingesetzten Lacks oder Neuentwicklungen eine verbesserte Stabilität zu erreichen. Auch mit diesen neuen Materialien müssen zwingend die Anforderungen der Kunden erreicht werden. Es sind dies eine ausreichende Reaktivität, um ausgehärtete Beschichtungen auch weiterhin entweder luft- oder forcierttrocknend bei 60 bis 70 °C zu erreichen. Als weiteres müssen die guten Haftungs- und Korrosionsschutzeigenschaften in ausreichendem Maß gewährleistet sein. Hinzu kommen Anforderungen für eine ausreichende Stabilität, um den mechanischen Belastungen beim Aufkonzentrieren standhalten zu können.

Für die neu zu entwickelnden Lackmaterialien ergibt sich somit folgendes Anforderungsprofil:

- Kriterien bzgl. Verarbeitung
  - \* Trocknungsverhalten am Spritzgerät (Antrocknung), als Spritznebel bei unterschiedlicher Applikation (pneumatisch, Airless, elektrostatisch unterstützt),
  - \* Verhalten der Lackteilchen beim Auf- bzw. Rückprall am Substrat,
  - \* Trocknungsverhalten am Werkstück bei Luft- und forcierter Ofentrocknung (Zeit-Temperatur-Kurve),
  - \* Staubtrocknung, Stapelfestigkeit, Verpackungsfestigkeit, Freilagerung usw.
- Kriterien bzgl. des Verhaltens in der Auswaschung
  - \* Verhalten der Lackpartikel beim Kontakt mit der Wasserwand, in der Venturi-Düse, im Abluftsystem und an Kabinenwänden,
  - \* Schaumverhalten in Abhängigkeit der Anlagentechnik, des Festkörpergehalts und des Zusatzes von Emulgatoren, Netzmittel u.ä.,
  - \* Verhalten des Lacks bei hohem Verdünnungsgrad hinsichtlich Absetzen, Trennen, Koagulieren, Veränderung des Bindemittel-Pigmentverhältnisses u.ä.,
  - \* Chemische Veränderung der Bindemittel,
  - \* Veränderungen der Konzentrationen von Neutralisationsmittel und Co-Lösern,

- Kriterien bzgl. des Verhaltens beim Recycling (Ultrafiltration)
  - \* Verhalten im Arbeitsbehälter bezüglich Zusammensetzung, Stippen, Bakterien,
  - \* Verhalten im Vorfilter,
  - \* Verhalten in der Förderpumpe bezüglich Scherstabilität, Antrocknung a.d. Gleitringdichtung, Kavitation, Anbackungen,
  - \* Verhalten im Kreislauf bezüglich Bildung von Schaum / Mikroschaum, Veränderungen der Konzentrationen von Neutralisationsmittel und Co-Lösern,
  - \* Verhalten im UF-Modul bezüglich Entzug niedermolekularer Bestandteile (Emulgatoren, Tenside, Neutralisationsmittel, Harzanteile, Entschäumer, Vernetzer, Konservierungsmittel,
  - \* Zustand des Recyclats bezüglich Zusammensetzung, Bindemittel-Pigment-Verhältnis, Viskosität, Rheologie, Dispergierzustand, Kornfeinheit, Thixotropie, Dispersions- Thixotropie sowie vor allem Haftungs-, Filmbildungs-, Verlaufs-, Trocknungs- und Beständigkeitseigenschaften.

Unter Beachtung der aufgeführten Kriterien wurden bei der Modifikation des Lackes prinzipiell zwei Wege beschritten. Einmal wurde die vorhandene Rezeptur verwendet, aber besonders aufbereitete Rohstoffe eingesetzt, zum anderen wurde ein Alternativmaterial mit veränderter Rezeptur entwickelt.

## 4.2 Modifikationen des vorhandenen Lacks

Bei der Modifikation des Serienlacks erfolgte zunächst eine Variation der bestehenden Rezeptur in der Bindemittelmischung, der Pigmentierung und Dispergierung. In einem zweiten Schritt wurden die Rohstoffe bei annähernd gleicher Rezeptur ausgetauscht. Durch veränderte Fertigungstechniken für die Bindemittelmischung beim Rohstoffhersteller und Änderungen der flüchtigen Bestandteile ist es gelungen, den Lack wesentlich stabiler herzustellen, ohne die Filmzusammensetzung zu ändern.

Das Resultat ist eine Rezeptur, basierend auf derselben Bindemittelbasis wie der Serienlack, jedoch mit modifizierter Bindemittelherstellung bei der Verkochung. Zudem sind bei dieser Rezeptur die Pigmentierung und die Additive geändert.

Unter Laborbedingungen konnte bei Versuchen im Technikum des Rohstofflieferanten mit diesem modifizierten Lack gezeigt werden, daß damit eine zweistufige Aufarbeitung prinzipiell möglich ist. Die Vorkonzentrierung des Kabinenwassers erfolgte dabei, wie ursprünglich geplant, mit der Ultrafiltration bis zu einem Festkörpergehalt von 25 %. Als zweite Stufe wurde dagegen anstelle der Vakuumverdampfung eine Nanofiltration eingesetzt. Dieses Verfahren ist vom Prinzip her der Ultrafiltration vergleichbar; auch hier wird das Retentat im Kreislauf umgepumpt und über eine semipermeable Membran die niedermolekularen Bestandteile entzogen. Im Gegensatz zur Ultrafiltration liegt die Trenngrenze ("Cut-Off") bei wesentlich geringeren

Molekülgrößen. Das bedeutet, daß die Poren der Membran wesentlich kleiner sind, was einen entsprechend hohen Energieaufwand erfordert, um ausreichende Filtratleistungen zu erzielen.

### 4.3 Neuentwicklung

Bei dieser Variante wurde von Anfang an eine völlig neue Lackrezeptur entwickelt, wobei die Kundenspezifikationen einzuhalten waren. Die Zielsetzung bestand im wesentlichen darin, ein ausreichend stabiles System zu entwickeln, das vergleichbare Filmeigenschaften wie das Serienmaterial aufweist und auch im Preisniveau vergleichbar ist.

Es wurden dazu vor allem eine ganze Reihe unterschiedlicher Komponenten untersucht. Insgesamt wurden ca. 35 Variationen von verschiedenen Bindemitteltypen und -kombinationen hinsichtlich der geforderten Eigenschaften geprüft. Auch Füllstoffe und die Pigmentierung, vor allem die aktiven Pigmente, mußten geändert und bzgl. Korrosionsschutz, Absetzverhalten und mechanischer Stabilität abgestimmt werden. Ebenso waren entsprechende Anpassungen bei Hilfsstoffen wie Netzmittel, Entschäumer, Verdicker, Stabilisatoren sowie den Co-Lösern und Neutralisationsmitteln erforderlich.

Als Resultat aller Vergleichstests ergaben sich zwei Möglichkeiten der Lackrezeptur, welche alle gestellten Anforderungen erfüllen:

#### - Variante 1

Dieser Lack ist aufgebaut auf der Basis einer Kunststoff-Dispersion mit Anteilen von Polyurethan-Dispersion, bei geänderter Pigmentierung und Additivzugabe.

#### - Variante 2

Die Lackrezeptur basiert auf einer reinen Kunststoff-Dispersion mit hoher aktiver Pigmentierung.

Diese neu entwickelten Lackvarianten erfüllen die Anforderungen bzgl. Trocknungsverhalten, Stabilität und Beständigkeit. Vorteilhaft ist, daß dieses neu entwickelte Material **einstufig** durch Ultrafiltration bis zur verarbeitungsfähigen Konzentration aufgearbeitet werden kann. Ein Kombinationsverfahren mit einem zweiten, materialschonenden Verfahren kann damit entfallen; das Lackmaterial hat eine genügende mechanische Stabilität und wird nicht mehr geschädigt.

Allerdings müssen neben den verfahrenstechnischen Vorteilen beim Recycling mit dem neu entwickelten Lackmaterial einige qualitative Beeinträchtigungen durch ein etwas schlechteres Aussehen und einer höheren Empfindlichkeit gegenüber Untergrundverunreinigungen, gegenüber dem ursprünglich verwendeten Lack in Kauf genommen werden. Trotzdem kann davon ausgegangen werden, daß die Kundenspezifikationen vollständig zu erfüllen sind.

Der Preis dieses neu entwickelten und einstufig recycelfähigen Lacks liegt geringfügig tiefer als beim bisher eingesetzten Serienmaterial.



## 4.4 Folgerungen

Die Modifikation des ursprünglichen Serienlacks (siehe Kap. 4.2) führte zu erfolgversprechenden Ansätzen zur Rückgewinnung des Oversprays bei Einhaltung der Qualitätsanforderungen. Gegenüber dem bisherigen Material entstehen jedoch folgende Nachteile:

1. Das Recyclingverfahren funktioniert mit dem modifizierten Lackmaterial nur als Kombination (Ultrafiltration und Nanofiltration) und ist daher entsprechend aufwendig;
2. Das modifizierte Lackmaterial kann infolge des hohen Aufwands bei der Rohstoff- und Lackherstellung nur zu einem wesentlich höheren Preis angeboten werden.

Hinzu kommt, daß man derzeit noch nicht davon ausgehen kann, daß die Nanofiltration zur Aufkonzentrierung von Wasser-Lack-Gemischen praxiserprobt ist und entsprechende Anlagen zur Verfügung stehen. Auch ist damit zu rechnen, daß der Aufwand an Zeit und Energie gegenüber der Ultrafiltration erheblich größer ist.

Aus diesen Gründen ist es sinnvoll, sich auf die Verwendung des neu entwickelten Lackmaterials zu konzentrieren, auch wenn damit gewisse Qualitätseinbußen verbunden sind. Die Kundenspezifikationen werden aber mit diesem Material erfüllt und die neu entwickelten Materialien sind ultrafiltrationsfähig bis zur Verarbeitungskonzentration.

Für beide Varianten des neuentwickelten Lacks liegen seitens des Kunden (Fa. Behr, Pforzheim) Anfang des Jahres Laborfreigaben vor.

Für die Variante 2 wurde bereits ein Auftrag erteilt zur Durchführung von Betriebsversuchen mit dem Ziel der Produktions- bzw. Kundenfreigabe (Stand August 1996).

## 5 Auswirkungen auf die Praxis

### 5.1 Praxiseinführung

Das neu entwickelte Lackmaterial erfüllt die gestellten Anforderungen und ist, wie die Versuche bei der Firma Weckerle gezeigt haben, auch recyclingfähig. Vom Hauptanwender, der Firma Behr in Pforzheim, liegen bereits erste Freigaben vor (siehe Kap. 4.4). Im Folgeschritt prüft der potentielle Anwender im Anschluß an dieses Projekt den Aufbau und Betrieb einer Recyclinganlage.

Die im folgenden aufgeführten Daten über die Potentiale zur Verminderung der Lackabfälle und die möglichen Kosteneinsparungen basieren auf Schätzungen auf der Grundlage des Kenntnisstandes, der im Rahmen dieses Projekts erarbeitet wurde. Die IST-Daten sowie die bestehende Verfahrenstechnik entsprechen den Angaben des Anwenders (1995).

#### 5.1.1 Verfahrensbeschreibung (IST)

Diese Beschreibung beschränkt sich auf den eigentlichen Bereich der Lackierung. Der Ablauf innerhalb der Lackiererei ist in der folgenden Graphik dargestellt (Abb. 5-1).

Die montierten und vorbereiteten Werkstücke (Kondensatoren) werden an einem Kreisförderer durch die Lackiererei transportiert.

Die Spritzlackierung ist in zwei Teilbereiche aufgeteilt, wobei im ersten Spritzstand manuell vor- und nach einer kurzen Abdunstzeit im zweiten Stand die Teile fertig lackiert werden.

Nach der Lackierung durchlaufen die Teile nach einer kurzen Abdunststrecke einen Umlufttrockner (80 °C, 30-40 min). Die Endaushärtung erfolgt schließlich in einem Strahlungstrockner, der als Tunnel mit sechs mittelwelligen Infrarotstrahlern (max. 64 kW) ausgeführt ist.

Die Abkühlung der Teile erfolgt bei Raumtemperatur auf einer Förderstrecke von ca. 10 m. Anschließend werden sie abgenommen und auf Lackierfehler geprüft.

Wenn Nachlackierungen oder Ausbesserungen notwendig sind, erfolgt dies in einem separaten Spritzstand, der nur bei Bedarf in Betrieb genommen wird.

Verarbeitet wird in allen Spritzständen nur ein Lacktyp und Farbton (schwarz, matt). Die Spritzstände 1 und 2 haben zur Lacknebelabscheidung eine Naßauswaschung, wobei die Auswaschung mit Koagulierung und Schlammaustrag für beide Anlagen zusammengefaßt ist. Der Reparaturspritzstand hat dagegen eine Trockenabscheidung.

Zur manuellen Applikation werden in der ersten Spritzzone Airlesspistolen mit Luftunterstützung, in der zweiten Zone Druckluftpistolen eingesetzt. Die Ausbesserungen erfolgen entweder ebenfalls teils durch Spritzlackieren, wenn es möglich ist, aber auch durch Streichen oder Rollen. Hierzu wird ein anderer Lacktyp als bei der Serienlackierung verwendet.

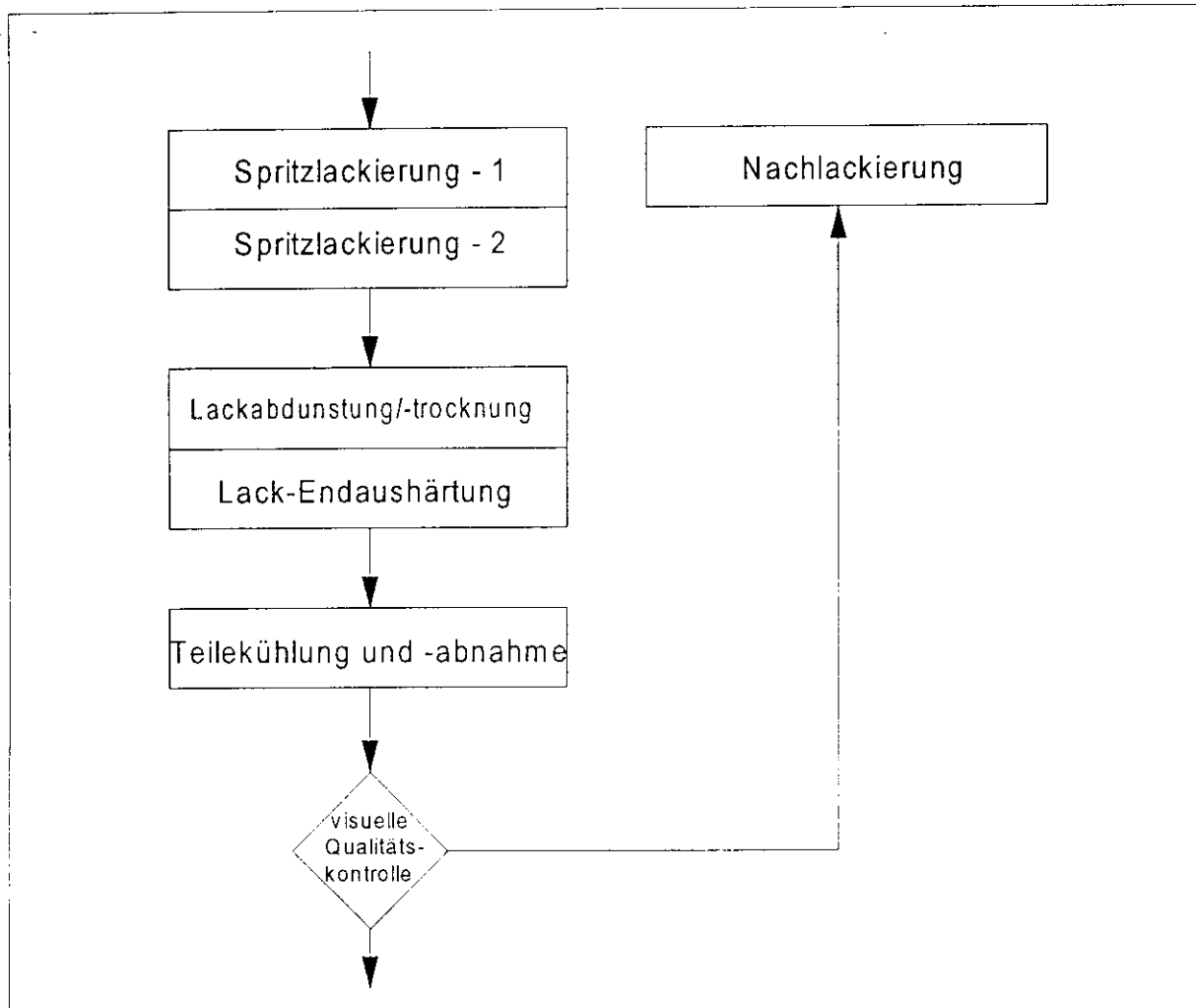


Abbildung 5-1: Verfahrensablauf - Lackiererei der Fa. Behr, Werk Pforzheim

### 5.1.2 Recyclinganlage

Bei Verwendung des neu entwickelten Lacks ist ein einstufiges Recycling mit einer Ultrafiltrationsanlage möglich (siehe Kapitel 4.3). Dies bedeutet, daß im günstigsten Fall die vorhandene Anlagentechnik lediglich durch eine Ultrafiltrationsanlage incl. Hilfseinrichtungen zu ergänzen ist (siehe Kapitel 1.1). Es muß allerdings sichergestellt sein, daß die vorhandenen Spritzstände die notwendigen Voraussetzungen für das Wasserlackrecycling bieten. Hierbei ist vor allem auf die Vermeidung von Sedimentationen zu achten. Darüber hinaus ist eine ausreichende Korrosionsbeständigkeit von Bedeutung, weil zur Auswaschung vollentsalztes Wasser verwendet werden muß. Beide Kabinen sind in Edelstahl ausgeführt, so daß von dieser Seite keine Probleme zu erwarten sind; allerdings müssen auch alle mit dem Auswaschwasser in Berührung kommenden Komponenten (Pumpen, Rohrleitungen, Armaturen usw.) eine ausreichende Beständigkeit aufweisen.

Sehr wichtig für die Recyclingtauglichkeit ist auch das Umlaufvolumen des Auswaschwassers. Es muß der verarbeiteten Lackmenge bzw. dem Oversprayanfall angepaßt sein. Bei einem Batch-Betrieb sollte die maximale Festkörperkonzentration im Wasser zwischen 5 und 10 % liegen. Wenn der maximale Wert erreicht ist, wird das Auswaschwasser abgelassen und aufbereitet. Bei einem geschätzten täglichen Oversprayanfall von etwa 500 kg (Gesamtmenge 200

t/a, Oversprayanteil 50%) ergibt dies einen Eintrag von 250 kg Lackfestkörper pro Tag. Beide Kabinen haben zusammen etwa 8 m<sup>3</sup> Umlaufwasser; dies bedeutet daß dieses proTag etwa 3,5 % Festkörper aufnimmt. Damit wäre alle zwei Tage ein Austausch und eine Aufarbeitung notwendig. Beim notwendigen Umbau der vorhandenen Spritzkabinen sollte hinsichtlich der Auslegung von Wasservolumen und vor allem auch der Lacknebelabscheidung darauf geachtet werden, daß dieser abgeschätzte Zyklus auch eingehalten werden kann und der Grenzwert der Partikelemission von 3 mg/m<sup>3</sup> in der Abluft nicht überschritten wird.

## 5.2 Abfallverringering

Das Potential der möglichen Abfallverringering, die durch den Betrieb einer Recyclinganlage zu erreichen ist, leitet sich überwiegend aus dem Wegfallen des Lackkoagulats der Spritzstände 1 und 2 ab.

Bisheriges Aufkommen an Abfällen:

Lackkoagulat:	ca. 80 t/a
Spritzkabinen-Abwasser:	ca. 8 m <sup>3</sup> /a

Durch das Recycling entfällt das Lackkoagulat in der herkömmlichen Form. Allerdings kann nicht davon ausgegangen werden, daß die Overspraymengen immer zu 100 % wieder verarbeitet werden können. Gewisse Verluste, die insbesondere beim Durchspülen, Rückspülen und Reinigen der UF-Anlage anfallen, sind auch hier nicht zu vermeiden - es wird mit einer Rückgewinnungsquote von ca. 90 % gerechnet. Auch kann nicht davon ausgegangen werden, daß kein Abwasser mehr entsteht; etwa einmal jährlich wird es nicht zu umgehen sein, das Auswaschwasser vollständig zu erneuern.

Beim Recyclingbetrieb ist damit mit folgenden Abfallmengen zu rechnen:

Lackabfälle:	ca. 10 t/a
Spritzkabinen-Abwasser:	ca. 8 m <sup>3</sup> /a

Insgesamt bedeutet dies eine Reduzierung der als Sonderabfall zu entsorgenden Lackabfälle im Bereich von ca. 85 - 90 %.

## 5.3 Kosteneinsparung

Bei den in der folgenden Tabelle abgeschätzten und dargestellten Kosten wird davon ausgegangen, daß die vorhandene Lackieranlage mit den zugehörigen Komponenten weiter betrieben werden kann und lediglich in eine Ultrafiltrationsanlage einschließlich aller Hilfseinrichtungen (Pufferbehälter, VE-Wasserversorgung usw.) investiert werden muß, wobei aber auch notwendige Umbaumaßnahmen mit berücksichtigt ist. Ebenso wird bei den abgeschätzten Betriebskosten davon ausgegangen, daß die Anlagentechnik wie bisher genutzt wird, so daß nur Veränderungen und zusätzliche Belastungen durch den Betrieb der Recyclinganlage entstehen.

Kostenarten	IST - Zustand		SOLL - Zustand mit Oversprayrecycling	
<b>Investitionen</b>				
Ultrafiltrationsanlage einschließlich Hilfs- einrichtungen, Installation und Umbau der Spritzkabinen mit Naßauswaschung			DM 800.000,-	
Kapital- und Finanzierungskosten			DM/a 120.000,-	
	<b>Verteuerung:</b>		<b>120.000,-</b>	
<b>Materialverbrauch</b>	kg/a	DM/a	kg/a	DM/a
Lack	200.000	1.400.000,-	110.000	715.000,-
Koagulier-Hilfsmittel	3.500	17.500,-	-	-
Entschäumer	100	1.500,-	500	7.500,-
Amin (pH-Wert-Einstellung)	-	-	250	1.750,-
Butylglykol	-	-	2.500	8.750,-
Wasser	400.000	2.000,-	-	-
VE-Wasser	-	-	400.000	8.000,-
Summe Materialkosten	1.421.000,-		741.000,-	
	<b>Einsparung:</b>		<b>680.000,-</b>	
<b>Entsorgung</b>	t/a	DM/a	t/a	DM/a
Lackkoagulat	80	80.000,-	-	-
Lackreste	-	-	10	10.000,-
Summe Entsorgungskosten	80.000,-		10.000,-	
	<b>Einsparung:</b>		<b>70.000,-</b>	
<b>Zusätzliche Betriebskosten</b>				
Energieverbrauch	kWh/a	DM/a	kWh/a	DM/a
Stromverbrauch der UF-Anlage	-	-	20.000	4.000,-
Personal	Stunden/a	DM/a	Stunden/a	DM/a
Personaleinsatz	-	-	400	20.000,-
Instandhaltung		DM/a		DM/a
Instandhaltung, Reparaturen		-		40.000,-
		-		-
Summe Recyclingkosten	-		64.000,-	
	<b>Verteuerung:</b>		<b>64.000,-</b>	
<b>Summe Betriebskosten</b>	<b>1.501.000,-</b>		<b>934.000,-</b>	
<b>Gesamteinsparung:</b>			<b>567.000,-DM/a</b>	
<b>Amortisationszeit: ca. 1,4 Jahre</b>				

Tabelle 5-1: Einsparungen und Zusatzkosten durch den Betrieb einer Recyclinganlage

Die Investitionskosten für die Realisierung der Wasserlackultrafiltration resultieren im wesentlichen aus den, für einen späteren störungsfreien Betrieb notwendigen, teils umfangreichen Umbauten der vorhandenen Kabinen und ihren Einrichtungen. Damit zusammenhängend

sind in der genannten Summe auch zusätzlich erforderliche Baumaßnahmen für Fundamente u.ä. enthalten.

Die Berechnungsgrundlagen für die Abschätzung der Einsparungen und Zusatzkosten beim Betrieb der Ultrafiltrationstechnologie sind in Tab. 5-2 zusammengefaßt:

<b>Kapitaleinsatz</b>	Zinssatz:	10 %
	Abschreibung:	10 Jahre
<b>Materialkosten</b>	Lack-bisher:	7,- DM/kg
	Lack-neu:	6,50 DM/kg
	Koagulierungsmittel:	5,- DM/kg
	Entschäumer:	15,- DM/kg
	Amin:	7,- DM/kg
	Butylglykol:	3,50 DM/kg
	Wasser:	5,- DM/m <sup>3</sup>
	VE-Wasser:	20,- DM/m <sup>3</sup>
<b>Applikation</b>	Overspray:	50 %
	Lackfestkörper:	50 %
	Recyclingquote:	90 % vom Overspray
<b>Entsorgungskosten</b>	Lackkoagulat:	1.000,- DM/t
	Lackreste:	1.000,- DM/t
<b>zusätzliche Kosten</b>	Energieverbrauch:	0,2 kWh/kg aufgearbeitetem Lack
	Stromkosten:	0,2 DM/kWh
	Arbeitsaufwand:	1 Tag/Woche
	Personalkosten:	50,- DM/h
	Instandhaltung:	5 % der Investitionskosten/a

Tabelle 5-2: Berechnungsgrundlagen

Die Wiederaufarbeitung der Wasserlackdispersion mit den geforderten Eigenschaften konnte nur durch Modifikation bzw. Neuentwicklung des Wasserlackmaterials erreicht werden. Bevorzugt sollte für weitere Planungen das neu entwickelte Lackmaterial betrachtet werden, denn dies ermöglicht statt einer kombinierten nur eine einstufige Wiederaufarbeitung mit der Ultrafiltration. Damit ist es möglich, auf ein ausgereiftes und in der Praxis bewährtes Verfahren zurückzugreifen. Nicht zuletzt sind damit auch die Kosten für Investitionen und Betrieb im Rahmen zu halten.

Insgesamt kann durch die Lackrückgewinnung ein deutliches Kosteneinsparpotential erreicht werden (ca. 567.000 DM/a beim betrachteten Anwender), so daß sich die Investitionskosten gemäß der vorstehenden Kostenabschätzung in ca. 1,4 Jahren amortisieren.