



ABAG
Die Abfallberatungsagentur

Projektbericht

Neue Anwendungsmöglichkeiten der Pulverbeschichtung

Teilprojekt

Pulverbeschichtung von Blech-, Guß- und Schweißteilen

Im Auftrag der:
ABAG Abfallberatungsagentur
Stauferstraße 15
D - 70736 Fellbach

Teilprojekträger:
MAQUET AG
Kehler Straße 31
76437 Rastatt
Ansprechpartner: Herr Herrmann

Kooperationspartner:
Otto Müller GmbH, Fellbach
Karl Wörwag Lack- und Farbenfabrik GmbH & Co. KG, Stuttgart

Projektbegleiter:
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik
und Automatisierung, Stuttgart

Manfred Obst
Dipl.-Ing. Wolfgang Klein

Juni 1997



Fraunhofer Institut
Produktionstechnik und
Automatisierung

projektbericht

Erarbeitung:

Dipl.-Ing. W. Klein, M. Obst

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

Für die stets kooperative Mitwirkung an diesem Projekt bedankt sich das IPA bei allen Beteiligten der MAQUET AG, Werk Rastatt und den beteiligten Kooperationspartnern, Fa. Otto Müller in Fellbach und Fa. Karl Wörwag Lack- und Farbenfabrik in Stuttgart.

Einen besonderen herzlichen Dank spricht das IPA gemeinsam mit der ABAG den Herren Baumann, Herrmann, Karle und Laubel aus.

Die Machbarkeitsuntersuchung wird vom Arbeitskreis „Neue Anwendungen der Pulverbeschichtung“ begleitet. Beiträge und Erfahrungen fachlich qualifizierter Vertreter aus Industrie und öffentlichen Institutionen fließen in die Untersuchungen ein.

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

Herausgeber:

ABAG-Abfallberatungsagentur

Geschäftsbereich der

SAA Sonderabfallagentur Baden-Württemberg GmbH

Staufstr. 15

70736 Fellbach

Tel.: 0711 / 95 19 11 - 0

Fax: 0711 / 95 19 11 - 20

Projektleitung: Dipl.-Ing. Thomas Grupp

Juni 1997

Gedruckt auf: weiß mattgestrichen Offset chlorfrei gebleicht (Umschlag)

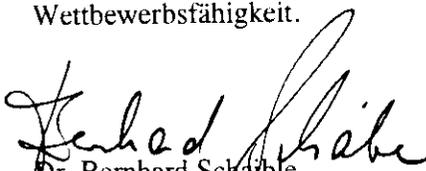
Alle Rechte der Verbreitung, auch durch Film, Funk und Fernsehen, fotomechanische Wiedergabe, Tonträger jeder Art, auszugsweisen Nachdruck oder Einspeicherung und Rückgewinnung in Datenverarbeitungsanlagen aller Art, sind vorbehalten.

Vorwort

Die qualitativen Anforderungen an Beschichtungen von Werkstücken sind hoch. Das Aussehen (z.B. Farbton, Effekt, Glanz) und die mechanischen Eigenschaften (z.B. Härte, Witterungsbeständigkeit) bestimmen die dekorative und funktionelle Qualität der Beschichtung. Diese Anforderungen haben einen maßgeblichen Einfluß auf die Wahl der Beschichtungsmaterialien und der Auftragsverfahren. Des weiteren nehmen die gesetzlichen Anforderungen an Lackierprozesse zu. Neben der Anforderung zur Verringerung der Emissionen organischer Lösemittel stellt bei vielen Lackierbetrieben der Sonderabfall noch immer ein Problem dar. Lackabfälle sind ein sichtbares, doch unerwünschtes Resultat des Materialflusses und bilden einen konkreten Anlaß, Stoffe effektiver zu nutzen.

In der Praxis muß die Anwendbarkeit abfall- und emissionsärmerer Lackierprozesse in jedem Einzelfall im Vorfeld geprüft werden. Dabei ist es erforderlich, daß Anwender, Lackhersteller, Gerätehersteller und Anlagenbauer zusammenarbeiten. Neben der Prüfung im Labor sind auch Tests im produktionstechnischen Maßstab durchzuführen, um Planungs- und Prozeßsicherheit zu erlangen. Diese Untersuchungen zur Machbarkeit können zeit- und kostenintensiv sein. Die ABAG hat daher diese Machbarkeitsuntersuchung mit Mitteln aus der Sonderabfallabgabe des Landes Baden-Württemberg gefördert. Über die bereits bekannten Anwendungen der Pulverbeschichtung hinaus werden dabei weitere Anwendungsmöglichkeiten der Pulverbeschichtung untersucht. Ziel ist die Reduzierung des Lackschlammaufkommens durch abfallärmere und damit wirtschaftlichere Lackiertechniken.

Durch Weiterentwicklungen in den Bereichen Pulverlacksysteme, Applikationstechnik und Anlagensysteme ist zukünftig eine Ausweitung der Anwendung der Pulverbeschichtung zu erwarten. Der Folgeschritt, nämlich die Umsetzung der Entwicklungsergebnisse in die Produktion, macht erhebliche Anstrengungen aller Beteiligten erforderlich. Neben technischen und abfallwirtschaftlichen Gesichtspunkten ist die Umstellung von einem Naßlackierverfahren auf die Pulverbeschichtung unter Umweltsichtspunkten als eine Maßnahme des produktionsintegrierten Umweltschutzes anzusehen. Dabei sind Produktplanung, Produktionsverfahren und Fabrikplanung im Zusammenhang zu sehen. Wirtschaftliche und umweltschonende, in den Produktionsprozeß integrierte Techniken erfordern oftmals zur Erlangung der Prozeß- und Fertigungssicherheit erhebliche Forschungs- und Entwicklungsaufwendungen und sind in der Regel mit Neuinvestitionen (Gebäude, Anlagentechnik) verbunden. Für die Unternehmen stellt die abfallarme Pulverbeschichtung als produktionsintegrierte Umweltverfahrenstechnik eine Chance dar, ihre Produkte wirtschaftlicher und umweltschonender herzustellen bei gleichzeitiger Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit.


Dr. Bernhard Schäble
Geschäftsführer der ABAG

Inhaltsverzeichnis		Seite
Abbildungsverzeichnis		5
Kurzfassung		6
1	Stand der Technik	8
1.1	Stand der Technik zur Beschichtung von Blech-, Guß- und Schweißteilen	8
1.2	Weiterentwicklung des Stands der Technik durch dieses Projekt - Zielsetzung	8
2	Kurzbeschreibung des Anwenders (Teilprojekträger)	10
3	Zustand der Lackiererei	12
3.1	IST-Zustand	12
3.2	Geplanter SOLL-Zustand	14
4	Durchgeführte Untersuchungen und Ergebnisse	16
4.1	Festlegung einer geeigneten Vorbehandlung	16
4.2	Pulverlackentwicklung und -herstellung	17
4.2.1	Zwischenhaftung von Lackaufbauten	17
4.2.2	Reduzierung von Schleif- und Spachtelarbeiten	18
4.3	Anlagen und Gerätetechnik	19
5	Vergleich der Pulverlacktechnik mit dem IST-Zustand	20
5.1	Fertigungstechnik	20
5.2	Umweltbelastungen	21
5.3	Kosten	22
5.4	Qualität	23
6	Ergebnisse	24
7	Ausblick - Weiteres Vorgehen	26
Anhang		
A1	Projekt-Arbeitsgemeinschaft	27

Abbildungsverzeichnis	Seite
Abb. 1 : Operationstisch	11
Abb. 2 : Modulit-Element	11
Abb. 3 : Verfahrensablauf IST-Zustand für Blechteile	12
Abb. 4 : Verfahrensablauf IST-Zustand für Guß- und Schweißteile	13
Abb. 5 : Kostenanteile des gesamten Lackierprozesses	14
Abb. 6 : Verfahrensablauf SOLL-Zustand	15
Abb. 7 : Verfahrensschritte der geplanten Neuanlage	19
Abb. 8 : Schemadarstellung zur Anlagentechnik	20
Abb. 9 : Vergleich des Lackbedarfs in den einzelnen Abteilungen	21
Abb. 10: Reduzierung der Umweltbelastungen durch die Pulver- lacktechnik	22
Abb. 11: Kostenanalyse Pulverlacktechnik	23
Abb. 12: Ergebnisüberblick	25

Kurzfassung

Die Fa. MAQUET AG stellt in ihrem Werk in Rastatt Krankeneinrichtungen (insbesondere Operationstische und Möbel) her. An die Qualität der Lackierung der einzelnen Werkstücke werden Anforderungen an die Optik sowie insbesondere an die Chemikalienbeständigkeit gestellt. Zur Herstellung der Produkte kommen eine Vielzahl von Werkstoffen aus unterschiedlichen Werkstoffen zum Einsatz; z.B. verzinkte und chrompassivierte Stahlbleche, Edelstahlbleche, Aluminium und Stahlguß sowie Baustahlteile und Kunststoffe.

Die Werkstücke werden an drei örtlich voneinander getrennten Lackieranlagen mit Naßlackmaterialien, die organische Lösemittel enthalten, spritzlackiert. Der jährliche Lackverbrauch an Grund-, Füller- und Decklack einschließlich Verdünnung und Härter beträgt ca. 30 t/a. Von der Hauptfarbe (hellgrau) werden etwa 13 t/a verarbeitet, die restlichen Lacke verteilen sich auf etwa 50 verschiedene Farbtöne. Jährlich müssen etwa 20 Tonnen Lackabfälle entsorgt werden.

Vor dem Hintergrund der Verminderung der Umweltbelastungen und möglichst gleichzeitiger Betriebskosteneinsparung beim Lackieren sowie der Farbton- und Werkstückvielfalt wurde die Machbarkeit der Pulverbeschichtung der Blech-, Guß- und Schweißkonstruktionen untersucht. Dabei war zu prüfen, ob die bei der Blechbeschichtung unvermeidbar anfallenden Pulverlackreste als Dickschichtgrundierung für Gußteile verwendet werden können. Die Gußteile sollen anschließend mechanisch bearbeitet und mit einem Decklack überlackiert werden können. Dadurch soll der bisherige Aufwand zum Nachgrundieren, Spachteln, Trocknen, Schleifen sowie Abdecken der Werkstücke eingespart bzw. reduziert werden.

Die Machbarkeitsuntersuchungen zur Pulverbeschichtung der betrachteten Werkstücke (Blech-, Guß- und Schweißteile) ergab:

- * Die MAQUET-Prüfvorschrift ist mit einem Polyurethan-Pulverlacksystem erfüllbar.
- * Eine wässrige Vorbehandlung zur Verbesserung der Reinigung und Haftung ist erforderlich, wobei gleichzeitig für den IST-Zustand eine Qualitätsverbesserung erreicht werden kann.
- * Pulverlackreste aus der Blechteilebeschichtung lassen sich zur Grundierung der Guß- und Schweißteile verwenden.
- * Die Einführung der Pulverbeschichtung ist mit einer Änderung und

Neugestaltung des Arbeitsablaufs bei der Werkstückherstellung und damit mit der Änderung der Konstruktion der Teile verbunden.

- * Die Decklackierung der pulverbeschichteten Gußteile kann mit Naß- oder Pulverlackmaterial erfolgen.

Die Kostenbilanz weist bei Einführung der Pulverbeschichtung gegenüber der Ausgangssituation eine Lackierbetriebskosteneinsparung von mehr als DM 700.000,- pro Jahr aus. Für die Investition der Vorbehandlungs- und Pulverbeschichtungsanlage werden etwa DM 3,3 Mio. veranschlagt. Zuzügliche Kosten für bauliche Änderungen, Anfahrphase sowie konstruktive Änderungen der Werkstücke sind dabei nicht berücksichtigt. Die Amortisation der Pulverlackieranlage liegt daher im mittelfristigen Bereich von ca. 5,5 Jahren bei 1-Schicht-Betrieb und in Verbindung mit einer Kapazitätsverdoppelung und Einführung des 2-Schicht-Betriebes bei etwa 2,5 Jahren.

Um zukünftig die Lackierbetriebskosten zu reduzieren, hat die MAQUET AG gemeinsam mit den Projektbeteiligten dieser Machbarkeitsuntersuchung die Pulverbeschichtungsoption am Beispiel der Edelstahlblechteile für ihr Operationsaalprogramm weiter forciert. In einem Schwesterbetrieb der MAQUET AG, der über eine etwa 3 Jahre alte Pulverbeschichtungsanlage verfügt und freie Kapazitäten hat, sollen ab Mitte 1997 die genannten Werkstücke pulverbeschichtet werden. Ferner konnte durch konstruktive Änderungen an einzelnen Gußteilen die zu lackierende Fläche verringert werden. Durch beide Maßnahmen wird kurzfristig eine Verringerung der zu entsorgenden Lackabfälle um etwa 11,5 t/a erwartet.

1 Stand der Technik

1.1 Stand der Technik zur Beschichtung von Blech-, Guß- und Schweißteilen

Die Pulverbeschichtung wird häufig zur Beschichtung von Metallteilen eingesetzt, wie z. B. in der Stahlmöbelherstellung. Die Anwendung dieser Technologie beschränkt sich auf gleichartige Werkstoffe und wenige Farbtonwechsel.

Die Fa. MAQUET stellt Krankenhauseinrichtungen her. Als Werkstoffe werden verzinkte und chrompassivierte Stahlbleche (Modulit-Elemente), Edelstahlbleche (Variop-Elemente für Operationssäle), Aluminium- und Stahlguß, Baustahl (Schweißkonstruktionen) und Kunststoff (Polster) eingesetzt. Besonders wichtig neben den optischen Anforderungen ist die Chemikalienbeständigkeit, die in Krankenhäusern eine Grundvoraussetzung ist. Hinzu kommen eine außergewöhnliche Farbtonvielfalt. Aus diesen Gründen wird noch sehr häufig die Naßlackierung angewendet.

1.2 Weiterentwicklung des Stands der Technik durch dieses Projekt - Zielsetzung

Im Rahmen dieses Projekts wird untersucht, ob bei vielen unterschiedlichen Werkstoffen und einer hohen Farbtonvielfalt die Pulverbeschichtung technisch machbar und wirtschaftlich ist. Dabei soll auch geprüft werden, ob die bei der Blechbeschichtung anfallenden Pulverlackreste als Dickschicht-Grundierung für Gußteile verwendet werden können. Die Gußteile sollen anschließend mechanisch bearbeitet und mit einem Decklack überlackiert werden können. Dadurch soll der bisherige Aufwand zum Nachgrundieren, Spachteln, Trocknen, Schleifen sowie das Abdecken der Gußteile abgeschafft, bzw. reduziert werden. Hierzu sind im betrachteten Anwendungsfall bei der Fa. MAQUET folgende Problemfelder zu klären:

- * An die Pulverlackschicht werden hohe Anforderungen hinsichtlich Lösemittel und Chemikalienbeständigkeit gestellt.
- * Nach der Beschichtung werden Kartonwaben eingeklebt. Die Beschichtung für das Schrankprogramm erfolgt daher nur einseitig.
- * Die dickere Pulverschicht muß Umformprozesse ermöglichen, dies betrifft das Einpressen der Versteifungen an Türen (Kofferecken).
- * Verwendbarkeit der Pulverlackverluste, die durch die Farbtonvielfalt

und Kleinserien anfallen zur Grundierung von Gußteilen.

- * Die Teile müssen vollständig auslackiert werden (Faraday-Käfig in tiefen Schubladen).
- * Erarbeitung eines geeigneten Vorbehandlungsverfahrens für die unterschiedlichen Werkstoffe durch Versuche in bestehenden Lackieranlagen.
- * Überprüfung der Überlackierbarkeit ohne Anschleifen der Pulverschicht bei Gußteilen.
- * Untersuchung der Nachlackier- und Ausbesserungsfähigkeit der Pulverbeschichtung.
- * Anlagenplanung, basierend auf einer wirtschaftlichen Kapazitätsplanung, zur Integration in den gesamten Fertigungsablaufs einschließlich Handling und Materialflußbetrachtung.

Für die Fa. MAQUET ist die Pulverbeschichtung ihres Teilespektrums interessant, da die vorhandene Naßlackanlage mit mehr als 30 Jahren Laufzeit relativ alt ist und deshalb eine Ersatzinvestition geplant ist. Die Pulverbeschichtung weist das Potential auf

- * die Qualität zu verbessern,
- * die Prozeßsicherheit zu steigern,
- * den Abfall zu reduzieren und
- * die Arbeitsbedingungen zu verbessern.

Die Problemfelder werden bei diesem Anwendungsfall im Rahmen einer Machbarkeitsstudie untersucht und die technische und wirtschaftliche Realisierbarkeit der Pulverbeschichtungstechnologie beurteilt. Beteiligt sind das Anwenderunternehmen, der Lackhersteller, ein Anlagenhersteller gemeinsam mit dem Fraunhofer IPA im Rahmen einer Arbeitsgemeinschaft der Fachunternehmen innerhalb eines Projektteams (siehe Anhang).

Die wesentlichen Aufgabenstellungen verteilen sich wie folgt:

- * Pulverlackhersteller :
 - Pulverlack-Auswahl und Modifizierung nach den Spezifikationsvorgaben bzgl. Chemikalien- und Lösemittelbeständigkeit, Glanzgrad, Überlackierbarkeit, Reparaturfähigkeit usw.,
 - materialspezifischer Kostenvergleich Wasserlack zu Pulverlack und
 - Durchführung spezifischer Korrosionstests und Qualitätstests.

- * Anlagenhersteller :
 - Ausarbeitung eines geeigneten Anlagenkonzepts (Auslegung, Vorbehandlung, Trockner, Fördersystem usw.),
 - Ermittlung des Energieverbrauchs und
 - Auslegung der Pulversprühkabine mit Applikation durch einen vom Anlagelieferanten beauftragten Gerätehersteller.

- * Anwender:
 - Definition der Ziele und der Qualitätsanforderungen,
 - Ermittlung der Daten für die Kostenrechnung,
 - Erarbeitung eines internen Pflichtenhefts.
 - Im Auftrag des Anwenders hat das Fraunhofer IPA die Aufgaben, die Untersuchungen beratend zu begleiten und eine rechnerunterstützte Umwelt- und Kostenbewertung der Pulverbeschichtungstechnologie im Vergleich zum IST-Zustand durchzuführen. In der Umwelt- und Kostenbetrachtung sind die Einsparungspotentiale und die Amortisation für die Neuinvestition einer Pulverbeschichtungsanlage zu ermitteln.

2 Kurzbeschreibung des Anwenders (Teilprojekträger)

Die Fa. MAQUET ist ein namhafter Hersteller von Operationstischen und Operationssaaleinrichtungen sowie eines Möbelprogramms für Krankenhäuser, die durch ihren modularen Aufbau auf gegebene Räumlichkeiten zugeschnitten werden können. Im Werk Rastatt wurden 1995 mit ca. 1450 Mitarbeitern ein Umsatz von ca. DM 200 Mio. erzielt.

Ausschnitt aus dem Produktionsprogramm der MAQUET AG

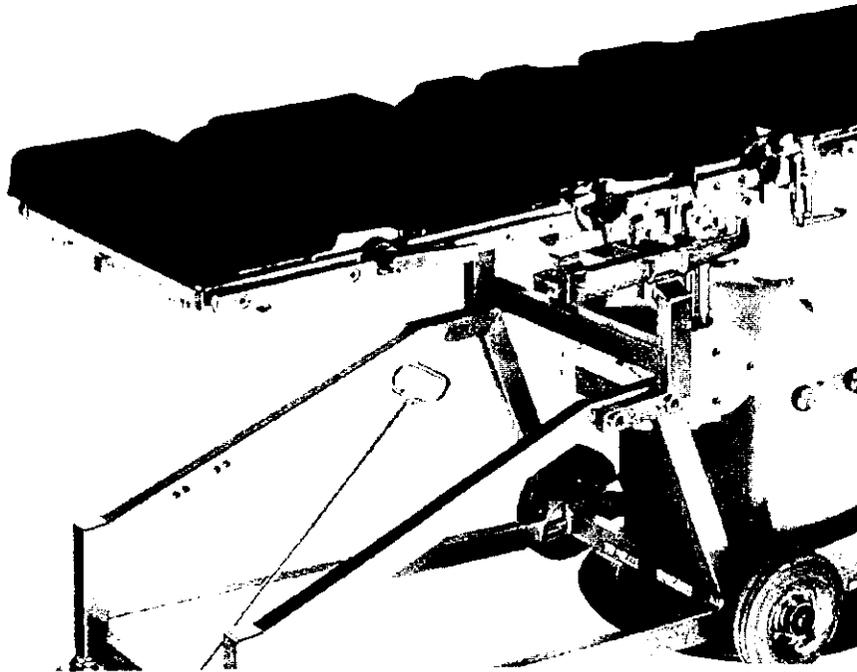


Abb. 1: Operationstisch

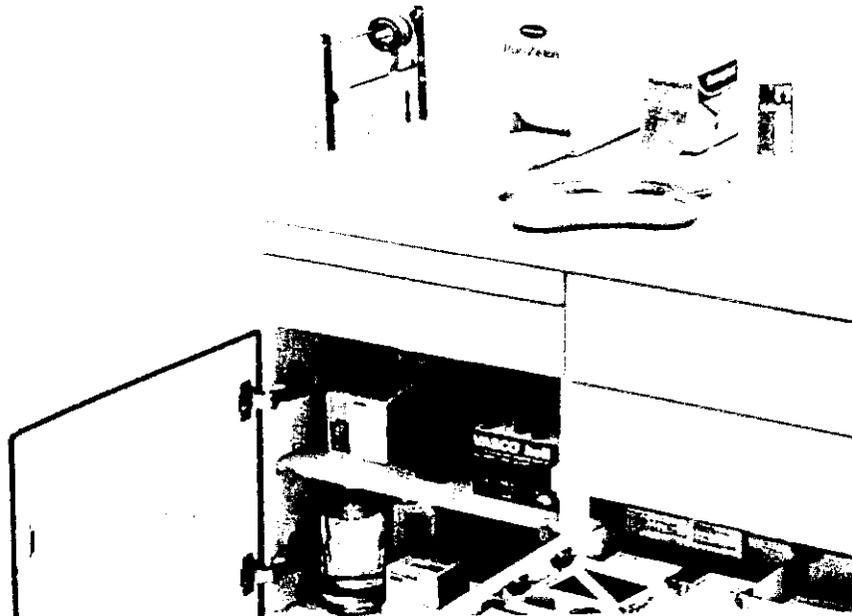


Abb. 2: Modulit Element

3 Zustand der Lackiererei

3.1 IST-Zustand

Bei der Firma MAQUET werden für die im Rahmen dieses Projekts zu untersuchenden Teile im Einschichtbetrieb jährlich 30,7 t Lacke (Grund-, Füller- und Decklacke einschließlich Verdünnung) mit einem Festkörpergehalt von 52 % verarbeitet. Zur Vorbehandlung der Teile werden ca. 3,1 t/a Reinigungslösemittel eingesetzt. Der Anteil an Lösemittel beträgt insgesamt für die Reinigung ca. 3,1 t/a und für die Lackierung ca. 15 t/a. Der Lösemittelanfall verteilt sich auf drei Anlagen innerhalb des Betriebs. Die Lackieranlagen werden im vorliegenden Bericht nach den Abteilungen A, B und C bezeichnet.

Zur Beschichtung des Produktionsspektrums werden eine Hauptfarbe (Hellgrau) mit ca. 13000 kg/a und für den Rest ca. 50 verschiedene Farbtöne eingesetzt. Pro Schicht werden ca. 5 - 6 Farbwechsel durchgeführt.

Nachstehend sind für das Produktionsprogramm die Verfahrensabläufe bei der Lackierung beschrieben:

- * Modulit-Elemente und Schubfächer, Abteilung A
Stahlblechteile, verzinkt und chrompassiviert

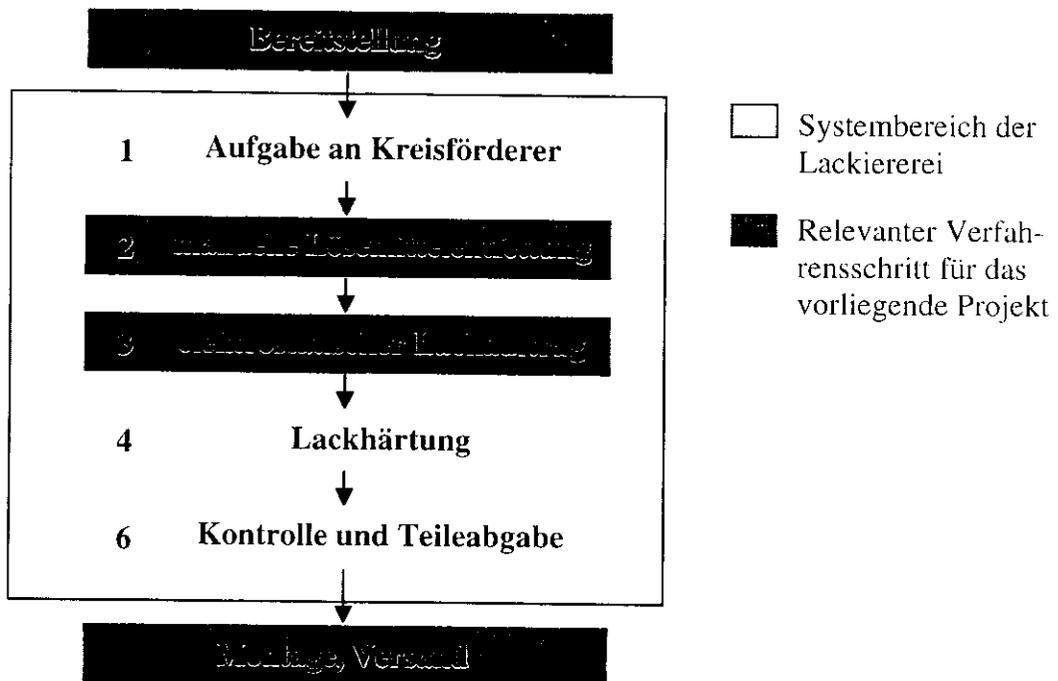


Abb. 3: Verfahrensablauf IST-Zustand für Blechteile

* Variop-Elemente (Operationssaaleinrichtungen)

Blechteile aus Edelstahl 1.4301

Die Teile werden derzeit extern beschichtet.

* Gußteile und Schweißkonstruktionen, Abteilungen B und C

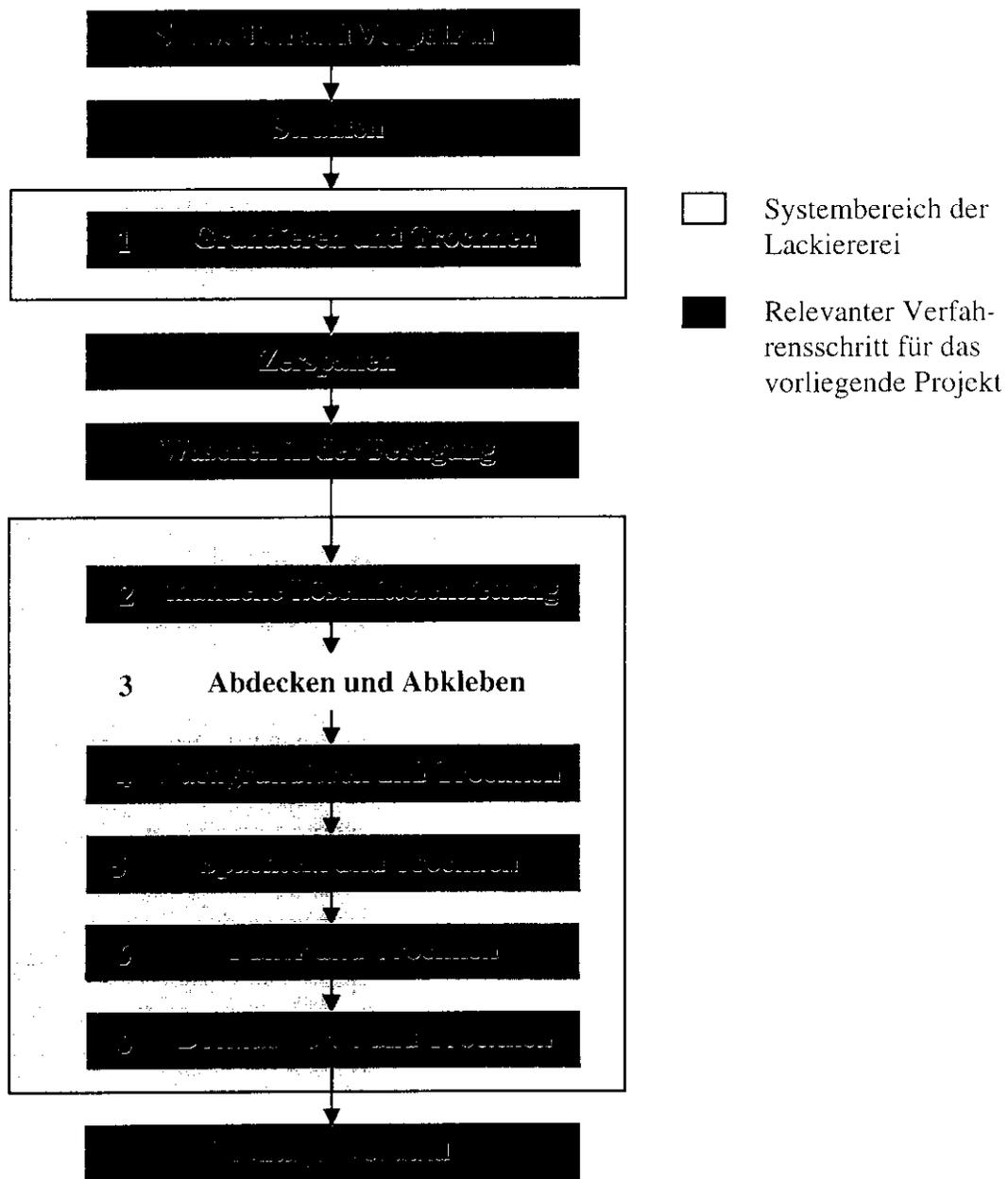


Abb. 4: Verfahrensablauf IST-Zustand für Guß- und Schweißteile

Bei der Lackverarbeitung der Modulit-Teile wird mit der Hochrotationsglocke ein Lackauftragwirkungsgrad von ca. 70 % erreicht. Bei den übrigen Teilen liegt der Lackauftragwirkungsgrad unter 50 %. Die anfallende Lackoverspraymenge wird in den Lackierkabinen ausgewaschen, koaguliert und der Lackschlamm verwertet. Zusammen mit dem ausgehärteten Lackmaterial von Kleinserien fallen ca. 20,3 t/a Lackabfall zur Verwertung an.

Die Kostenanalyse des gesamten Lackierbereichs (Abb. 3) zeigt, daß die hohen Lackierkosten von ca. DM 16,- pro m² durch den hohen Personalaufwand für drei Lackierabteilungen sowie für Spachtel-, Schleif- und Abdeckerarbeiten und durch die für die ca. 35 Jahre alte Anlage notwendigen hohen Wartungs- und Instandhaltungskosten verursacht werden.

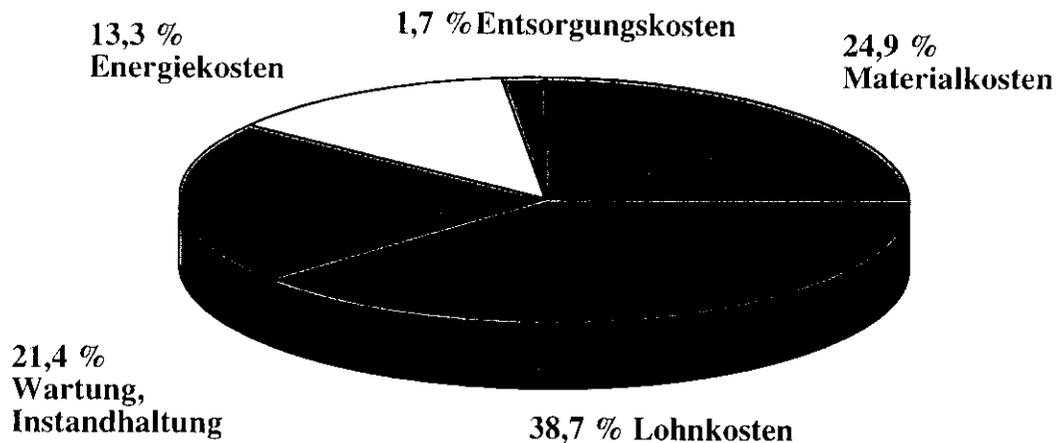


Abb. 5: Kostenanteile des gesamten Lackierprozesses

3.2 Geplanter SOLL-Zustand

Mit der geplanten Pulverlacktechnologie sollen die bisher angefallenen Lösemitel und Lackschlammabfälle vermieden werden. Die bisher eingesetzte Lösemittelacktechnologie in der vorhandenen Anlage hat folgende Schwachstellen:

- * Entfettung der Teile manuell mit organischen Lösemiteln, was arbeitsphysiologisch bedenklich ist und die Umwelt belastet,
- * keine Umluftführung der automatischen Spritzkabine,
- * für die Abdunstzone und den Lackrockner ist keine Abluftreinigung vorhanden,
- * die Durchsatzleistung ist begrenzt.

Abb. 4 zeigt den Verfahrensablauf wie die Pulverbeschichtung für Blech-, Guß- und Schweißteile geplant ist. Daraus ist ersichtlich, daß die kostenintensiven Arbeitsgänge "Spachteln, Trocknen, Schleifen und Abdecken" durch den Einsatz von Dickschichtpulvern reduziert bzw. abgeschafft werden sollen.

Die am Endprodukt sichtbaren Guß- und Schweißteile durchlaufen die Anlage zweimal, d. h. zwischen der Grundierung mit Restepulver und dem Decklackieren mit dem richtigen Farbton werden die mechanischen Bearbeitungen durchgeführt. Nicht sichtbare Teile werden mit dem Restepulver einseitig lackiert.

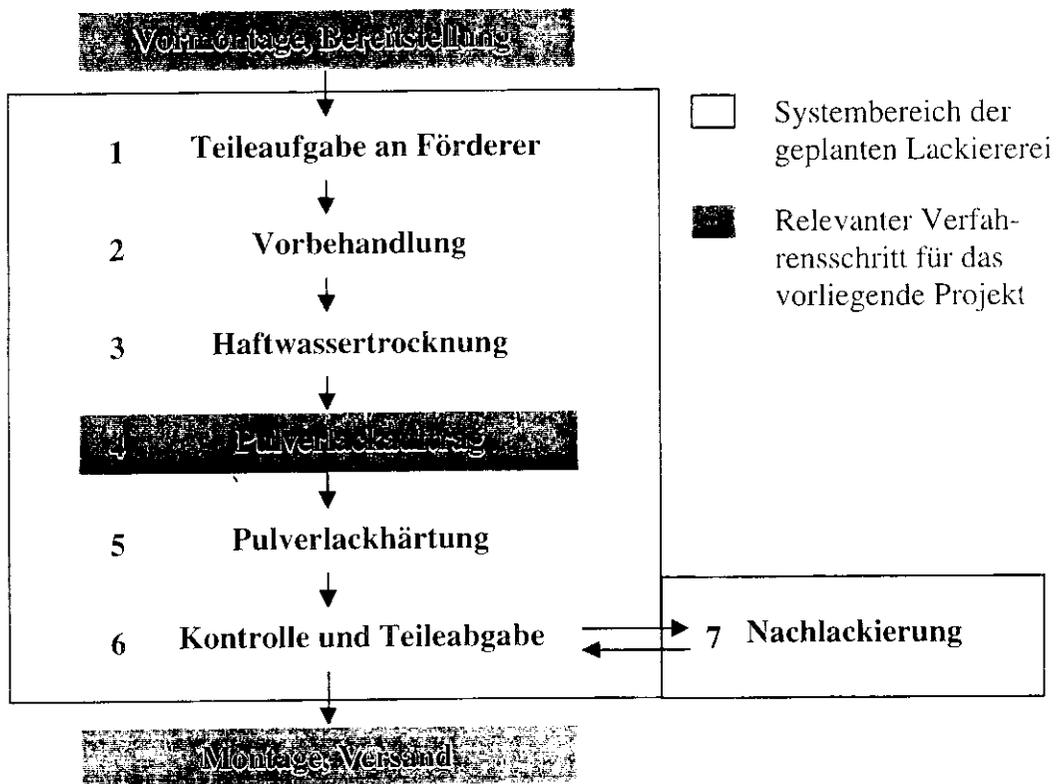


Abb. 6: Verfahrensablauf SOLL-Zustand

4 Durchgeführte Untersuchungen und Ergebnisse

4.1 Festlegung einer geeigneten Vorbehandlung

Die zur Zeit bei der Fa. MAQUET angewendete Vorbehandlungsmethode, das manuelle Entfetten mit Lösemittel ist nicht mehr Stand der Technik, da

- * die Arbeitsweise für die Beschäftigten arbeitsphysiologisch bedenklich ist,
- * die Umwelt durch Lösemittel belastet wird,
- * die Qualität von der Ausführung der Entfettung abhängig ist und
- * die meisten Lackhersteller keine Garantien für eine ausreichende Lackhaftung übernehmen.

Die in dieser Weise entfetteten Werkstücke können zwar mit den genannten Qualitätseinschränkungen mit einem lösemittelhaltigen Lackmaterial beschichtet werden. Beim Einsatz von wasserlöslichen Lacken und der Pulverlacktechnologie führt die Lösemittelentfettung jedoch zu erheblichen Benetzungs- und Haftungsproblemen. Aufgrund des vorher beschriebenen Werkstoffspektrums der Firma MAQUET muß ein Vorbehandlungsverfahren festgelegt werden, das für die Pulverbeschichtung dieser Werkstoffe geeignet ist. Die Vorbehandlung der blanken und verzinkten Stahlteile kann problemlos durch eine kombinierte Entfettung mit Fe-Phosphatierung erfolgen. Die Guß- und Edelstahlwerkstoffe werden als schwieriger angesehen. Um eine Aussage über die geeignete Vorbehandlung treffen zu können, wurden Versuche in zwei Produktionsanlagen mit unterschiedlichen Vorbehandlungsverfahren durchgeführt.

Die Produktionsanlage 1 enthält eine Vorbehandlung, die mit einer getrennten Entfettung und Eisenphosphatierung arbeitet. Das Konzept hat folgende Vorteile:

- * die Standzeit der Entfettungsbäder kann durch eine auf die Chemie abgestimmte Ultrafiltrationsanlage verlängert werden,
- * Teile, die nur entfettet werden und wieder in die Fertigung gehen, können bei abgeschalteter Phosphatierung an der Anlage behandelt werden,
- * die installierte 2-stufige Entfettung ist für die Beschichtung des dort eingesetzten Edelstahlmaterials geeignet.

Die Vorbehandlung der Produktionsanlage 1 besteht aus acht Zonen. Es wurden Chemikalien der Firma CM Oberflächentechnik AG in Dintikon, Schweiz, eingesetzt. Aus dem Produktionsprogramm der Fa. MAQUET wurden Proben un-

terschiedlicher Werkstoffe vorbehandelt und anschließend mit dem im Betrieb vorhandenen Pulver beschichtet und ausgehärtet. Ein Teil der Proben war mit den bei der Fa. MAQUET verwendeten Schmierstoffen, Stanzölen und Reinigungsmitteln beaufschlagt. Alle beschichteten Proben wurden bei Firma Wörwag einem Kondenswassertest nach DIN 50017 KK unterzogen. Es waren alle Teile in Ordnung.

Ein Querversuch bei einer Vorbehandlung mit 3 Zonen der Produktionsanlage 2 zeigte keine abweichenden Ergebnisse. Die Entfettung und die Fe-Phosphatierung erfolgt mit einem Kombimittel in nur einer Zone.

Der bei beiden Versuchen angewandte Kondenswassertest ist nur ein Kurztest. Langzeituntersuchungen zur Ermittlung der Beständigkeit und Dauerhaftigkeit bei den erhöhten Anforderungen wurden aus Zeitgründen nicht durchgeführt. Nach den Erfahrungen des Lacklieferanten erfüllt eine zweistufige Entfettung wie in der Produktionsanlage 1 besser die Anforderungen der Fa. MAQUET.

Bei gestrahlten und anschließend pulverbeschichteten Gußteilen, die nicht wässrig vorbehandelt wurden, zeigten sich Haftungsprobleme.

Bis zur Klärung der Ursachen für die unzureichende Haftung sollten die Gußteile vorläufig nach dem Strahlen wässrig vorbehandelt werden.

4.2 Pulverlackentwicklung und -herstellung

Der Lackhersteller modifizierte einen Pulverlack, der die Prüfvorschriften der Firma MAQUET für alle Werkstoffe (außer Kunststoffe) erfüllt. Der Pulverlack ist auf Polyurethanbasis mit erhöhter Elastizität und Schlagzähigkeit (> 120 inchpound). Des weiteren hat der Lack eine hohe Beständigkeit gegen Desinfektionsmittel und gegen UV-Licht sowie eine hohe Farbtongenauigkeit ($dE < 0,5$). Eine wichtige Eigenschaft ist die Haftung auf Edelstahl 1.4301.

Für häufig vorkommende Farbtöne wird eine Pulverrückgewinnung eingesetzt. Bei selteneren Farbtönen soll das Overspray-Pulver als Restpulver aufgefangen und die Guß- und Schweißteile damit beschichtet werden.

4.2.1 Zwischenhaftung von Lackaufbauten

Da das Restpulver zur Beschichtung der Gußteile eingesetzt werden soll, ist eine farbliche Sortierung nicht möglich. Sichtbare Teile müssen daher zusätzlich mit

einem Decklack beschichtet werden. Die in der Anfangsphase aufgetretenen Probleme bei der Überlackierung von Pulverlack konnten durch Entwicklungsarbeiten vom Lacklieferanten gelöst werden. Es wurde eine Verbesserung der Zwischenhaftung bei den nachfolgend beschriebenen Lackaufbauten erreicht:

- * Pulverlack + Pulverlack,
- * Pulverlack + verschiedene 2K-Naßlackssysteme und
- * Pulverlack + Primer + verschiedene 2K-Naßlackssysteme.

Die Prüfung der Einzelmaterialien und der Aufbauten auf Haftungseigenschaften und Haftung nach Feucht- und Chemikalienbelastung nach den Anforderungen von MAQUET erfolgten im Hause Wörwag.

4.2.2 Reduzierung von Schleif- und Spachtelarbeiten

Um festzustellen, ob die Oberfläche der Gußteile durch die Pulverbeschichtung so egalisiert werden, daß auf Schleif- und Spachtelarbeiten verzichtet werden kann, wurde ein Liegenfuß aus Aluminiumguß mit den nachstehend beschriebenen Verfahren mit Pulver beschichtet und nach den Vorgaben des Lacklieferanten 10 min bei 200 °C ausgehärtet.

- * Erwärmen der Probe auf 200 °C und sofort gepulvert (Heißbeschichtung),
- * Erwärmen der Probe auf 200 °C, nach Abkühlung beschichtet und
- * kalt beschichtet.

Bei der Heißbeschichtung wurde gegenüber der Kaltbeschichtung keine wesentliche Verbesserung der Teileoberfläche erreicht. Auf nachträgliche Schleifarbeiten kann vorläufig noch nicht verzichtet werden. Verbesserte Gießverfahren werden sicherlich die kostenintensiven Schleifarbeiten reduzieren bzw. vermeiden.

Bei der Beschichtung von Aluminiumgußteilen können in der Lackoberfläche beim Aushärten Bläschen durch Ausgasungen auftreten. Während der Versuche mit dem Pulverlack waren keine Blasen, bzw. Krater von Ausgasungen an der Oberfläche festzustellen. Der Pulverlack kann appliziert werden ohne daß die Gußteile zur Ausgasung vorher aufgeheizt werden müssen.

4.3 Anlagen und Gerätetechnik

Der Anlagenhersteller erarbeitete eine Planung für eine neue Pulverbeschichtung. Der schematische Aufbau der Anlage ist in Abbildung 5 dargestellt. Wesentliche Bestandteile der Anlage sind eine 5-Zonen-Vorbehandlung mit Haftwassertrockner, zwei Automatik- und eine Handsprühkabine zur Pulverbeschichtung, ein Aushärteofen und eine Förderanlage.

Die Automatiksprühkabinen sind mit 6 Sprühpistolen mit Corona-Aufladung an 2 Hubautomaten ausgerüstet.

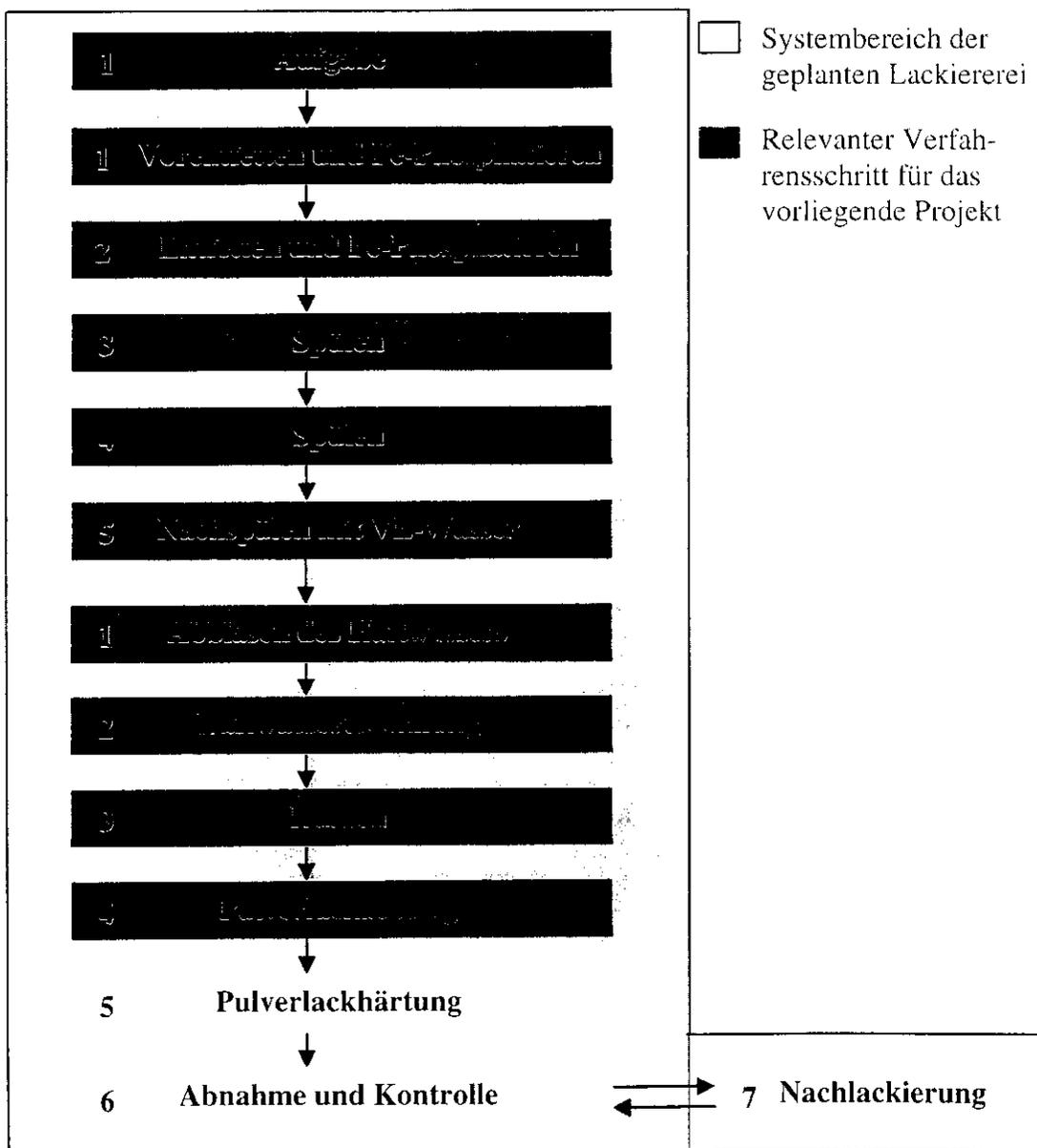


Abb. 7: Verfahrensschritte der geplanten Neuanlage

Der Transport der Werkstücke erfolgt mittels einer Power+Free-Förderanlage. Die Förderanlage hat Erweiterungsmöglichkeiten von Speicherplätzen im Auf- und Abgabebereich bzw. vor den Pulverkabinen. In der angebotenen Ausführung ist nur ein kontinuierlicher Transport durch die Anlage möglich.

5 Vergleich der Pulverlacktechnik mit dem IST-Zustand

5.1 Fertigungstechnik

In den vorher beschriebenen Untersuchungen ist die Machbarkeit der Pulverbeschichtungstechnik festgestellt worden. Zur Integration der Anlagentechnik müssen konstruktive Änderungen an den Werkstücken, z.B. Wasserablaufbohrungen, Maßänderungen wegen höherer Schichtstärke usw. sowie Änderungen im Fertigungsablauf vorgenommen werden, z.B. Einkleben der Kartonwaben nach dem Lackierprozeß.

Die Pulverbeschichtungsanlage wurde ortsunabhängig geplant. Die Integration soll zusammen mit den Änderungen im Fertigungsablauf durchgeführt werden.

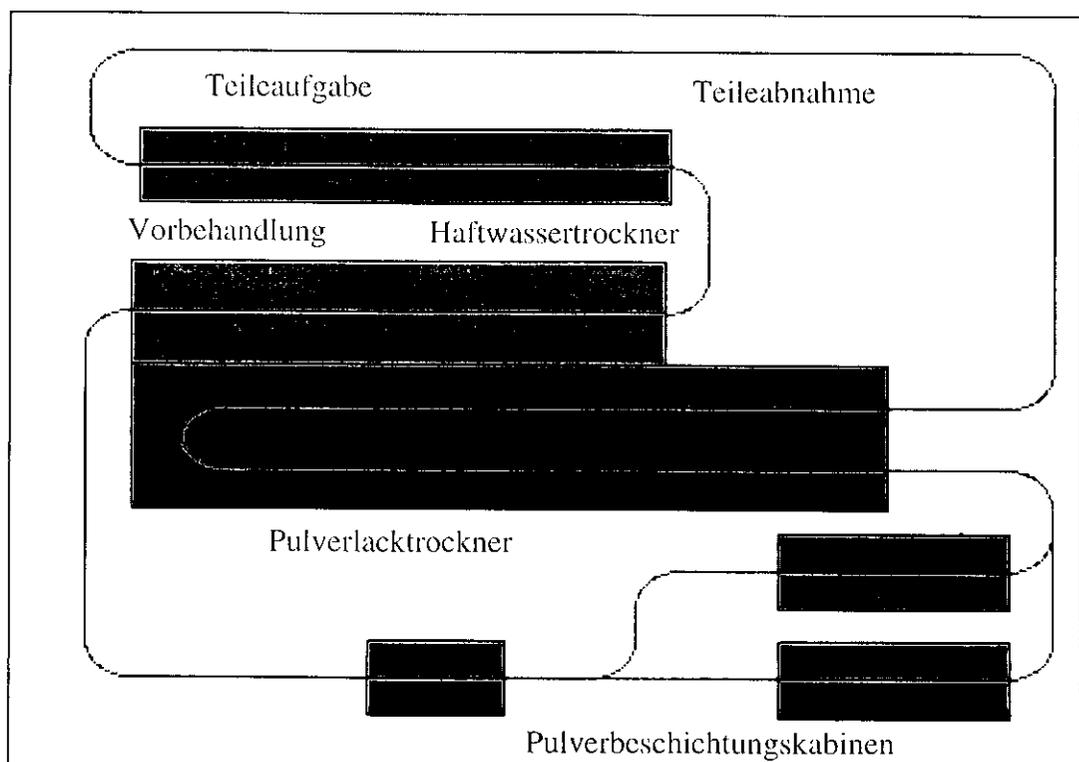


Abb. 8: Schemadarstellung zur Anlagentechnik

5.2 Umweltbelastungen

Bei der Fa. MAQUET werden jährlich ca. 30,7 t lösemittelhaltige Lacke verarbeitet mit einem Festkörpergehalt von 52 %. Der Lösemittelverbrauch für Reinigung und Lackierung beträgt 18,1 t/a. Zur Verwertung fallen jährlich ca. 20,3 t Lackschlamm als Sonderabfall an. In der Tabelle in Abbildung 9 ist der Lackbedarf für die 3 Lackierabteilungen aufgeschlüsselt. Im Materialnutzungsgrad sind Lackauftragswirkungsgrade und 2-K-Abfälle enthalten. Die verzinkten Blechteile werden nur einschichtig, die Guß- und Schweißteile teilweise zwei- oder dreischichtig lackiert.

Lackiererei Abteilung	zu beschichtende Fläche in m ²	IST-Zustand Lösemittellackmengen		SOLL-Zustand Pulverlackmengen	
		Schichtstärke in µm	Materialnutzungs- grad in %	Schichtstärke in µm	Materialnutzungs- grad in %
A (Blech)	56000	50	53	70	90
B (Guß)	29000	50	38	100	90
C (Guß)	18000	50	46	100	90
gesamt	103000				

Abb. 9: Vergleich des Lackbedarfs in den einzelnen Abteilungen

Bei der Pulverbeschichtung wird nach dem bisherigen Erkenntnisstand ein Verlustfaktor von 5 % entstehen. Da pro Tag 5 bis 6 Farbwechsel durchgeführt werden, ist mit weiteren 5 % an Abfällen durch Reinigung und Filterwechsel zu rechnen. In diesem Anteil ist auch die Menge enthalten, welche aus fertigungstechnischen Gründen nicht zur Beschichtung von Guß- und Schweißteile verwendet werden kann. Der Gesamtbedarf an Pulverlack beträgt ca. 19,2 t/a.

Abbildung 10 zeigt zusammengefaßt die ausschließlich auf den Lackapplikationsbereich bezogene Stoffstrombilanz, d. h. die Stoffströme aus der Vorbehandlung sind nicht berücksichtigt.

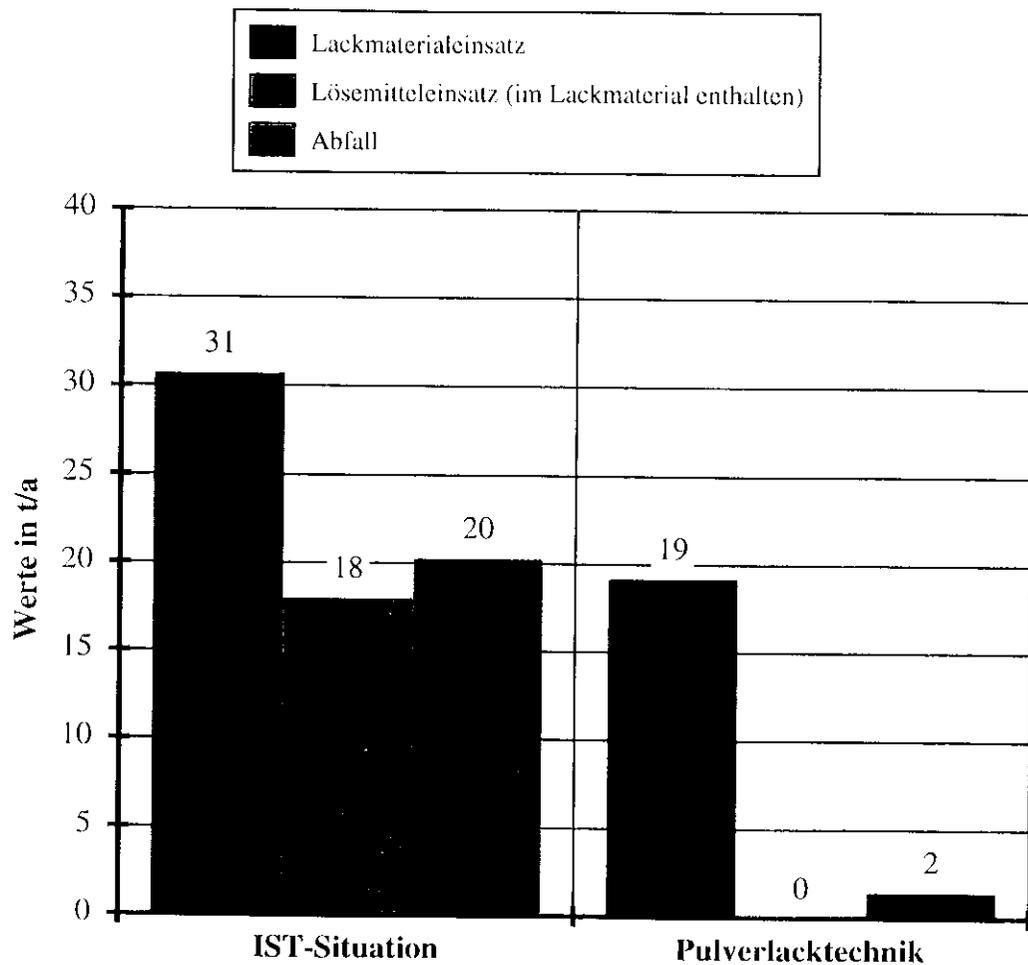


Abb. 10: Vergleich der Umweltbelastungen bei der Pulverlacktechnik mit dem IST-Zustand

5.3 Kosten

Die Investitionskosten für eine neue Pulverbeschichtungsanlage wurde vom Anlagenhersteller auf DM 2,7 Mio. beziffert. Die Kosten für bauseitige Leistungen, wie Heizkessel, bauliche Veränderungen, Hallenbeleuchtung, Anschlüsse für Strom, Wasser und Gas usw. betragen ca. DM 600.000.

Die Pulverlacktechnologie bringt eine Einsparung im Materialeinsatz von ca. 11,5 t/a. Wegen der alten Anlage reduzieren sich die Instandhaltungskosten um 56 %. Der personalaufwendige Betrieb von 3 Lackieranlagen läßt sich mit einer Neuanlage von 11 auf 7 Beschäftigte reduzieren, dies bedeutet eine Einsparung bei den Personalkosten um 34 %.

Die Einsparung ist begründet durch

- * weniger Handling für die Guß- und Schweißteile, da die dort verarbeiteten Teile in der Neuanlage beschichtet werden und
- * weniger Schleif- und Spachtelarbeiten aus optischen Gründen.

Um die bei der Pulverbeschichtung entstehende Problematik von ganzflächiger Nacharbeit und häufigem Farbwechsel kostenmäßig zu erfassen, wurden Reparaturkosten von DM 150.000,-/a und zwei Werker mit berücksichtigt. Die Kostenbilanz bezieht sich somit auf den gesamten Pulverbeschichtungsprozeß (Vorbehandlung, Beschichtung, Trocknung und Nacharbeit).

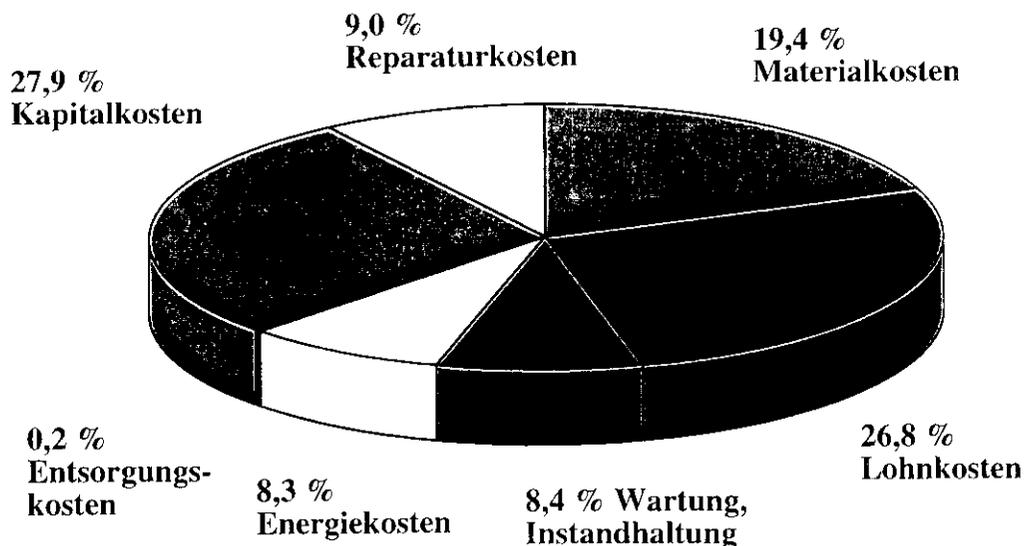


Abb. 11: Kostenanalyse Pulverlacktechnik

5.4 Qualität

Die Vorgaben in der Prüfvorschrift der Fa. MAQUET werden bei allen Tests erreicht. Die Pulverschicht auf den Blechteilen ist zwangsläufig höher als die Naßlackschicht und hat dadurch eine erhöhte Beständigkeit gegenüber Chemikalien, insbesondere gegen Desinfektionsmittel. Bei den Guß- und Schweißteilen ist aus farblichen Gründen ein zweiter Lackauftrag bei den sichtbaren Teilen notwendig.

6 Ergebnisse

Die Umstellung auf Pulverbeschichtungstechnologie ist für die Fa. MAQUET zu empfehlen. Die geforderten Qualitätsmerkmale werden erreicht. Die Beschichtung der Gußteile mit dem Restepulver aus der Farbenvielfalt der Blechteile ist problemlos möglich. Im sichtbaren Bereich kann die Restpulverschicht ohne besondere Vorbereitung des Untergrundes mit einem weiteren Lack- oder Pulverauftrag überlackiert werden.

Die Einführung der Pulverlacktechnologie hat wirtschaftliche Vorteile. Zum einen wird die vorhandene Altanlage ersetzt, zum anderen ist ein Einsparungspotential von mehr als DM 700.000 pro Jahr zu erwarten. Ohne Berücksichtigung der Aufwendungen für die Änderungen der Konstruktion und des Fertigungsablaufs beträgt die Amortisation für den einschichtigen Anlagenbetrieb ca. 5,5 Jahre.

Eine höhere Wirtschaftlichkeit und damit eine kürzere Amortisation wird durch einen zweiseichtigen Betrieb der Neuanlage erreicht. Die Kapazitätserhöhung, welche durch Einführung eines neuen Produktes oder durch Lohnbeschichtung erreicht werden kann, erhöht das Einsparungspotential auf ca. DM 1,4 Mio., die Amortisation beträgt ca. 2,5 Jahre.

Durch die Pulverlacktechnologie werden die Umweltbelastungen durch Lösemittel und Lackabfälle weitgehend vermieden.

Kriterien	Ergebnisse	Bemerkungen
Produkt - Blechteile - Guß- und Schweißteile	wässrige Vorbehand- lung erforder- lich	- für die Werkstoffvielfalt ist eine spezielle Vorbe- handlungsschemie erforderlich - Guß- und Schweißteile müssen nach dem Strahlen zur Zeit noch wässrig vorbehandelt werden
Qualität - Funktion - Optik	in Ordnung	- bessere Ergebnisse gegenüber IST-Zustand
Lackart	Pulverlack auf Polyure- thanbasis	- das Pulverlackmaterial wurde für den spezifischen Anwendungsfall entwickelt
Anlagen- und Energie- technik	verfügbar	- es muß eine Neuanlage investiert werden - die Eingliederung der Pulverbeschichtung in die vorhandene Fertigung muß neu strukturiert werden
Pulverover- spray-Recy- cling	interne Technik möglich	- Rückgewinnung über Zyclone - Bei seltenen Farbtönen wird Verlustpulver für die Grundierung von Guß- und Schweißteile verwen- det
Umwelt- belastungen - Sonderab- fälle - Lösemittel- emissionen - Kabinen- abwässer - Energie - Instandhal- tung	Reduzierung gegen IST 91 % 100 % 100 % 46 % 56 %	- ohne Berücksichtigung der Nachlackierarbeit und des Entlackungsaufwandes - gegenüber dem IST-Zustand werden die Umwelt- belastungen deutlich verringert
Kosten- einsparung - Lackver- brauch - Energie - Entsorgung - Personal	Reduzierung gegen IST 37 % 46 % 91 % 34 %	- gegenüber dem IST-Zustand werden die Lackier- kosten insgesamt um rund 13 % verringert. Ohne Berücksichtigung der Abschreibung für die Neuin- vestition reduzieren sich die Kosten um 38 % - unberücksichtigt sind hierbei die Aufwendungen der zur Realisierung notwendigen Vorlaufs- und betrieblichen Optimierungsphasen
Investitions- kosten für Neuanlage einschließlich Baukosten	DM 3,3 Mio.	- unberücksichtigt ist der Aufwand für die zur Real- isierung notwendigen Konstruktions- und Arbeits- ablaufänderungen - die zu erwartende Amortisationszeit liegt bei ca. 5,5 Jahren, wenn die Anlage 1-schichtig betrie- ben wird.

Abb. 12 : Ergebnisüberblick

7 Ausblick - Weiteres Vorgehen

Vor der Feinplanung und Realisierung der Pulverbeschichtungstechnologie sind neben den konstruktions- und fertigungsbedingten Änderungen nachstehend beschriebene Untersuchungen notwendig:

Produktspezifische Untersuchungen

- * Einpressen der Kofferecken an den Frontplatten,
- * Lackierung der Klebestreifen hinter den Führungsschlitzen im Inneren der Schränke,
- * Verbesserung der Haftung der Dichtraupe an der Frontplatte und
- * Untersuchung einer vereinfachten Reparatur von Fehlstellen (z.B. Spot-repair, usw.)

Fertigungstechnische Untersuchungen

- * Reduzierung der Farbwechsel,
- * Verkleidung der Guß- und Schweißteile und
- * Verbesserung der Gießtechnik (z.B. Gußhaut absieben, anderes Putzverfahren)

Diese Aufgaben könnten im Rahmen eines Fortsetzungsprojekts bearbeitet werden. Die Realisierung der Pulverbeschichtungstechnik könnte bei der Fa. MAQUET innerhalb von ca. 2 Jahren erfolgen.

Grundsätzlich bestehen Alternativen zur Pulverlackierung.

Eine Reduzierung der Menge an organischen Lösemitteln kann auch durch die Einführung von Wasserlacksystemen oder High-Solid-Lacken erreicht werden. Ob die vorhandene Anlage für diese Lacksysteme aufrüstbar ist, bedarf einer Untersuchung in enger Zusammenarbeit mit Lackherstellern.

Anhang

A1 Projekt-Arbeitsgemeinschaft

beteiligte Unternehmen	Ansprechpartner
ABAG Abfallberatungsagentur Stauferstraße 15 70736 Fellbach	Herr Grupp
Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA Nobelstraße 12 70569 Stuttgart	Herr Obst Herr Klein
OMT Otto Müller GmbH Friedrichstr. 8 70734 Fellbach	Herr Baumann
MAQUET AG Kehler Str. 31 76437 Rastatt	Herr Herrmann Herr Laubel
Wörwag Lack- und Farbenfabrik GmbH & Co. KG Strohgäustraße 28 70435 Stuttgart	Herr Karle

