

# Entlacken als Dienstleistung

P. Deixelberger

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

**45/2010**

## **Impressum:**

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter  
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

# Entlacken als Dienstleistung

Mag. Peter Deixelberger, Dr. Josef Steiner,  
DI Klaus Schabbauer, Ing. Florian Koglgruber  
IPUS GmbH

Ing. Herwig Wrulich  
HWM technisches Büro für Maschinenbau

Dr. Johannes Fresner  
Stenum GmbH

Rottenmann, Mai 2010

**Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie**



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie



## Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT. Sie wurde im Jahr 2000 vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie im Rahmen des Impulsprogramms Nachhaltig Wirtschaften als mehrjährige Forschungs- und Technologieinitiative gestartet. Mit der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT sollen durch Forschung und Technologieentwicklung innovative Technologiesprünge mit hohem Marktpotential initiiert und realisiert werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements und der großen Kooperationsbereitschaft der beteiligten Forschungseinrichtungen und Betriebe konnten bereits richtungsweisende und auch international anerkannte Ergebnisse erzielt werden. Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt über den hohen Erwartungen und ist eine gute Grundlage für erfolgreiche Umsetzungsstrategien. Anfragen bezüglich internationaler Kooperationen bestätigen die in FABRIK DER ZUKUNFT verfolgte Strategie.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse – seien es Grundlagenarbeiten, Konzepte oder Technologieentwicklungen – erfolgreich umzusetzen und zu verbreiten. Dies soll nach Möglichkeit durch konkrete Demonstrationsprojekte unterstützt werden. Deshalb ist es auch ein spezielles Anliegen die aktuellen Ergebnisse der interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Homepage [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at) und die Schriftenreihe gewährleistet wird.

Dipl. Ing. Michael Paula  
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie



# Inhaltsverzeichnis

1. Kurzfassung .....	4
2. Einleitung .....	7
2.1. Allgemeine Einführung in die Thematik.....	7
2.2. Ausgangssituation und Motivation.....	7
2.3. Zielsetzungen des Projektes .....	9
2.4. Beschreibung des Standes der Technik.....	10
2.5. Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema.....	11
3. Hintergrundinformationen zum Projektinhalt .....	13
3.1. Verwendete Methoden und Daten.....	13
3.2. Vorgangsweise und verwendete Daten, Beschreibung der Erhebung.....	13
3.2.1 Entwicklung der Dienstleistung .....	13
3.2.2 Entwicklung der Anlagenteile, Bau eines Prototypen, Inbetriebnahme und Test.....	19
3.3. Stand der Technik .....	21
3.4. Neuerungen und Vorteile gegenüber dem Ist-Stand (Innovationsgehalt) .....	22
4. Ergebnisse des Projektes.....	23
5. Detailangaben in Bezug auf die Ziele der Programmlinie .....	25
5.1. Einpassung in die Programmlinie.....	25
5.2. Beitrag zum Gesamtziel der Programmlinie und den sieben Leitprinzipien nachhaltiger Projektentwicklung .....	25
5.3. Beitrag zu den Zielen der 5. Ausschreibung .....	26
5.4. Einbeziehung der Zielgruppen und Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse im Projekt.....	26
5.5. Umsetzungspotenziale für die Projektergebnisse .....	27
5.6. Potenzial für Demonstrationsvorhaben .....	28
6. Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen .....	30
6.1. Erkenntnisse für das Projektteam .....	30
6.2. Wie arbeitet das Projektteam mit den erarbeiteten Ergebnissen weiter?.....	31
6.3. Für welche Zielgruppen sind die Projektergebnisse relevant und interessant und wer kann damit wie weiterarbeiten?.....	32
7. Ausblick und Empfehlungen.....	33
7.1. Wo liegen die Chancen / Schwierigkeiten / Risiken bei der Realisierung / Umsetzung in Richtung Demonstrationsprojekt? .....	33
7.2. Empfehlungen für weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten .....	33
7.3. Resümee hinsichtlich der im Projekt verfolgten Ziele.....	34



# 1. Kurzfassung

Entlacken ist eine Anforderung in allen Betrieben, die metallische Werkstoffe oder Kunststoffe lackieren oder beschichten. Dies betrifft ca. 100 Betriebe in Österreich mit einer zu entlackenden Gesamtfläche von ca. 50- bis 100.000 m<sup>2</sup>.

Beim Beschichten in industriellen Anlagen werden üblicherweise auch Anlagenteile, wie z.B. Gehänge, auf denen die zu lackierenden Teile montiert sind, oder Gitterroste am Boden im Laufe der Zeit mit Lack bedeckt. Diese müssen daher regelmäßig entlackt werden. Dieses Entlacken geschieht heute einerseits chemisch, durch den Einsatz von Lösungsmitteln, oder thermisch, durch das Abbrennen der Lackoberflächen oder durch Sandstrahlen oder Bürsten. Am häufigsten werden in Österreich die zu entlackenden Teile per LKW nach Ungarn oder in die Slowakei transportiert und dort thermisch entlackt.

Ziel des Projektes „Entlacken als Dienstleistung“ war es, die Komponenten für eine impulsgesteuerte Wasserstrahlhochdruckanlage zu entwickeln und eine Pilotinstallation beim Kunden zu errichten, die in der Lage ist, den Entlackungsvorgang mit einem impulsgesteuertem Wasserstrahl durchzuführen. Gleichzeitig soll dem Kunden die gesamte Dienstleistung des Entlackens vor Ort inklusive Transport und Austausch der zu entlackenden Teile, Qualitätssicherung, Abrechnung und Vertragsgestaltung angeboten werden.

Die Anlage beruht auf einer Kombination aus impulsgesteuertem Wasserstrahl und selbst regelnder, energieeffizienter und ohne Verschleiß arbeitender Hochdruckpumpe (basierend auf dem österreichischen Gebrauchsmuster AT 004489U1) und wurde weltweit noch nicht eingesetzt. Die Impulssteuerung des Hochdruckwassers unterbricht den Wasserstrahl bis zu 50 mal pro Sekunde, sodass durch die geschoßähnliche Wirkung eine hohe Reinigungsleistung bei niedrigeren Drücken erzielt werden kann. Das Wasser wird dabei im Kreislauf geführt. Als Abfall fällt nur der Lackschlamm an. Der Einsatz von aggressiven chemischen Lösungsmitteln oder von großen Mengen an thermischer Energie entfällt.

Die angewendete Methodik zur Entwicklung der gesamten Dienstleistung basiert auf einem systemanalytischen Ansatz zur Erstellung eines Kundenmodells und eines Prozessmodells.

Die Funktion des Wasserwerkzeuges in Kombination mit der Hochdruckpumpe wird mit einer Hochgeschwindigkeitskamera dargestellt und analysiert.

Die Entwicklungsarbeit, der Bau und die Installation der Pilotanlage erfolgten im Wesentlichen wie geplant. Aufgrund der vorerst unbefriedigenden Reinigungsleistung gestaltete sich die Testphase wesentlich länger und aufwändiger als ursprünglich angenommen. Bei bestimmten Lacken werden mit der Anlage im Automatikbetrieb bereits beachtliche Reinigungsleistungen erzielt. Der Betrieb mit der Handlanze ist derzeit noch nicht zufriedenstellend, da die Unterbrechung des Wasserstrahls vom Verbindungsschlauch zwischen der Anlage und der

Handlanze nicht übertragen wird. Dies konnte mit einer Hochgeschwindigkeitskamera visualisiert werden.

## **Abstract**

De-lacquering is a need for all enterprises which paint or coat metal materials or plastics, in Austria, approximately 100 companies. At their sites, some 100.000 m<sup>2</sup> of surfaces have to be stripped of coatings.

Components of plants like hangers, or floor grids are covered by coating material overspray over time. They have to be de-lacquered periodically. There are different approaches to de-lacquering: chemical de-lacquering involving the use of solvents, thermal de-lacquering by basically burning off the paint film or mechanical de-lacquering by shotblasting or brushing. The most common approach in Austria is to truck the parts to Hungary or the Slovak Republic and have them stripped there.

The objective of the project “De-Lacquering as a Service” was to develop components of a plant working with pulsed high pressure water jet and construct a pilot installation, which is able to de-lacquere parts with high pressure pulsed water. Simultaneously, the whole service of de-lacquering at the face should be offered to the client including transport and change of the parts to be de-lacquered, quality management, accounting and the contract with the client.

The combination of pulsed high pressure water jet and self controlling, energy efficient and maintenance-free high pressure water pump (based on the Austrian registered trademark AT 0044890U1) has not yet implemented worldwide. The puls control of the high pressure water is interrupting the water stream up to 50 times per second and by that a superior cleaning effect can be done at relatively low pressures. The water cycle is completely closed in this system. The only waste is paint sludge. No aggressive chemicals or excess of thermal energy is used with this service.

The method used to develop the service as a whole is based in an approach of system analysis to form a client model and a process model.

Working of the water jet tool in combination with the high pressure pump is shown and analyzed by high speed camera.

Development, construction and implementation of the pilot installation have in the main been completed as planned. Because of the unsatisfying cleaning effect in the first run the testing period has lasted longer and become more expensive than planned in the beginning. There are still remarkable cleaning results at certain kinds of lacquer by using the automatic device. The results of cleaning with the handlanze are not yet satisfying, caused by the inability to transfer

the cutting of the jet of water from the device to the hand lance through the connecting hose.  
This could be visualized by using a high speed camera.

## **2. Einleitung**

### **2.1. Allgemeine Einführung in die Thematik**

Entlacken ist eine Anforderung in allen Betrieben, die metallische Werkstoffe oder Kunststoffe lackieren oder beschichten. Dies betrifft ca. 100 Betriebe in Österreich mit einer zu entlackenden Gesamtläche von ca. 50- bis 100.000 m<sup>2</sup>.

Beim Beschichten in industriellen Anlagen werden üblicherweise auch Anlagenteile, wie zB Gehänge, auf denen die zu lackierenden Teile montiert sind oder Gitterroste am Boden, im Laufe der Zeit mit Lack bedeckt. Skids (Gestelle für den Transport von großen Teilen wie Fahrerinnen), Gehänge und Gitterroste müssen daher regelmäßig entlackt werden, damit sie maßhaltig sind, damit beim elektrostatischen Lackieren eine gute Leitfähigkeit besteht und damit die Ansammlung von Schmutz vermieden wird.

Dieses Entlacken geschieht heute einerseits

- chemisch, durch den Einsatz von Lösungsmitteln
- oder thermisch, durch das Abbrennen der Lackoberflächen
- oder mechanisch, durch Sandstrahlen oder Bürsten.

Das Entlacken wird von größeren Betrieben heute meistens an spezialisierte Unternehmen vergeben. Zum chemischen Entlacken hat zB die Firma Bayer in Kooperation mit Tiefenbacher in Wien Entlacken mit chemischen Verfahren als Dienstleistung angeboten und damit eine Anerkennung im RIO-Award bekommen.

Am häufigsten werden in Österreich die zu entlackenden Teile per LKW nach Ungarn oder in die Slowakei transportiert und dort thermisch entlackt.

### **2.2. Ausgangssituation und Motivation**

Das Reinigen mit Hochdruckwasser wurde zum Entlacken bisher noch nicht großflächig eingesetzt, weil mit konventionellen Hochdruckpumpen die notwendigen Drücke (400 bis über 2000 bar) nicht beherrscht werden. Mit der neuen Technologie soll die Hochdruckreinigung mit Wasser auch zum Entlacken technisch und wirtschaftlich einsetzbar sein.

Das Vorhaben wurde ausgehend von einem Versuch mit einer impuls-gesteuerten Anlage mit vielversprechenden ersten Ergebnissen sowie einschlägiger Erfahrung in der Anwendung der Wasserhochdruck-Technologie begonnen.

Das Projekt war durch das bereits bestehende Engagement des Antragstellers in der Abwasserreinigung bei einem großen LKW-Produzenten ermöglicht. Durch den unmittelbaren Aufbau und Einsatz der entstehenden Anlage vor Ort kann sowohl die technische Realisierbarkeit unmittelbar getestet werden, als auch der ökonomische Nutzen direkt evaluiert werden.

## 2.3. Zielsetzungen des Projektes

Ziel des Projektes „Entlacken als Dienstleistung“ war es, aufbauend auf den vorhandenen Vorarbeiten und den einschlägigen Erfahrungen in der Wasserhochdruck-Technologie das Impulshochdruckverfahren weiter zu entwickeln und für die spezifischen Anforderungen des Entlackens tauglich zu machen. Dafür waren insbesondere ein Wasserwerkzeug sowie eine selbstregelnde Hydraulikpumpe zu entwickeln. Es sollte eine Pilotinstallation beim Kunden errichtet werden, die in der Lage ist, den Entlackungsvorgang mit einem impulsgesteuertem Wasserstrahl durchzuführen.

Des Weiteren soll unter Berücksichtigung der spezifischen Gegebenheiten ein Dienstleistungspaket für das Entlacken vor Ort mit allen damit verbundenen Leistungen entwickelt und dem Kunden angeboten werden.

Dieses umfasst

- die Anwendung der Impulshochdruckreinigung zum Entlacken im Betriebsgelände
- Logistik der zu entlackenden Teile,
- die Definition von Qualitätskriterien und die Qualitätssicherung,
- die einfache Abrechnung der Leistungen
- die Vertragsgestaltung.

Weitere Ziele dieser Entwicklung umfassen

- Minimale Wartungskosten für das System,
- eine große Variabilität der einzusetzenden Düsen,

Mit der Realisierung des Projekts sind folgende Vorteile und Erwartungen verknüpft:

- Die Qualität der Entlackung erhöht sich gegenüber konventionellen Verfahren mit Hochdruckwasser entscheidend aufgrund des einstellbaren Drucks und der einstellbaren Geometrie des Wasserstrahles
- das Wasser wird über Filtereinheiten permanent recycelt
- gegenüber den thermischen Verfahren wird die Maßhaltigkeit der Teile wesentlich verbessert
- gegenüber den chemischen Verfahren besteht der Vorteil, dass aggressive Lösungsmittel, wie sie dort eingesetzt werden, völlig entfallen – damit entfallen die notwendigen Schutzvorrichtungen, Absaugungen, Lösemittelrückgewinnungsanlagen oder Transport des Lösungsmittels
- durch die Bearbeitung der Teile vor Ort entfällt der Transport der Teile per LKW
- das Verfahren ist an verschiedene Problemstellungen anpassbar und automatisierbar.

Das Anbieten von Entlacken als Dienstleistung hat für Lackierbetriebe folgende Vorteile:

- Abrechnung nach entlackter Fläche oder Stück (bei großen Teilen) oder nach Gewicht (bei Kleinteilen)
- gleich bleibende Qualität durch die Arbeit von Spezialisten
- durch die Entlackung vor Ort sowie durch eine Integration der Entlackung in den Produktionsprozess – soweit möglich - kann ein schneller Wiedereinsatz der Teile erfolgen und ist ein geringerer Vorrat an Teilen notwendig.

## **2.4. Beschreibung des Standes der Technik**

Das Entlacken wird häufig als Stiefkind in den Produktionsbetrieben betrachtet, ist aber dennoch ein wichtiger Bestandteil der Oberflächenbehandlung. Das chemische Entlacken beschränkte sich bis zur gesetzlichen Beschränkung des Einsatzes von CKW's auf Methylenchlorid. Damit konnten übliche Beschichtungen von allen Trägermaterialien entfernt werden, ohne das Material anzugreifen. Nachdem allerdings das Gefahrenpotential dieser CKW's erkannt wurde, stellten viele Firmen ihre chemische Entlackung auf alkalische Heissentlacker um. Andere lösten die Abteilung auf und vergaben diese Arbeiten außer Haus.

Dies war der Zeitpunkt, zu dem das thermische Entlacken an Bedeutung gewann. Dabei traten Probleme auf, die bei der CKW-Entlackung unbekannt waren. Materialermüdungen aufgrund der thermischen Belastung waren keine Seltenheit. Parallel bemühte sich die chemische Industrie um Alternativen zu den CKW's.

Aus der untenstehenden Tabelle wird ersichtlich, dass für viele Entlackungsprobleme spezielle Lösungen gefordert sind. Die Vielseitigkeit der chemischen Entlackung ist bisher durch nichts zu ersetzen.

<b>CHEMISCHE ENTLACKUNG</b>				
<b>CHEMIKALIE</b>	<b>VORTEILE</b>	<b>NACHTEILE</b>	<b>BEMERKUNG</b>	<b>GEEIGNET FÜR</b>
Schwefelsäure	Schell Gründlich Günstig	Angriff auf Nicht- eisenmetalle, Sehr aggressiv	Aluminium und Messing entfallen, auf Umgebung achten	Stahl (Aluminium)
Natronlauge	Günstig, Relativ ungiftig	Keine Industrielacke, Keine Buntmetalle	Findet kaum noch Anwendung	Stahl
Kalilauge	Relativ Günstig Relativ ungiftig	Keine Buntmetalle Unflexibel	Anwendung mit Additiven	Stahl
NMP-Produkte	Besonders für Aluminium und Buntmetalle	Sehr teuer, Abwasserprobleme, MAK-Werte	Nur für bestimmte Anwendungen sinnvoll	Aluminium und Buntmetalle
Aminhaltige Produkte	Besonders für Aluminium und Buntmetalle, Relativ flexibel	Sehr teuer, unangenehmer Geruch, Rauchbildung, gekapselte Anlage	Birgt grosse Probleme	Aluminium und Buntmetalle
<b>THERMISCHE ENTLACKUNG</b>				
<b>VERFAHREN</b>	<b>VORTEILE</b>	<b>NACHTEILE</b>	<b>BEMERKUNG</b>	<b>GEEIGNET FÜR</b>
Pyrolyse	Wenig Abfall, saubere Entlackung, trockene Nachreinigung möglich	Hohe Anschaffungskosten, hoher Wartungsaufwand, nur thermisch belastbare Teile	Sehr Umweltfreundlich	Gehänge, Gitterroste, Begrenzt für Fehlbeschichtungen
Wirbelbett	Schnelle Entlackung	Hohe Staubemission, Verschleppung von Sand Thermischer Schock	Dioxinbildung	Gehänge, Gitterroste, begrenzt für Fehlbeschichtungen.

Die mechanische Entlackung basiert entweder auf Bürsten, was nur für bestimmte Geometrien der Werkstücke möglich ist, oder auf Sandstrahlen. Dessen Nachteile sind: Staubentwicklung, erforderliche Abdichtung des Bereiches, Anfall von kontaminierten Altsanden.

Obwohl das Reinigen mit Hochdruckwasser heute in manchen Bereichen Stand der Technik ist, wird es zum Entlacken bisher noch nicht großflächig eingesetzt, weil mit konventionellen Hochdruckpumpen die notwendigen Drücke (400 bis über 2000 bar) nicht beherrscht werden.

## 2.5. Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema

Die Fa. HWM Technisches Büro für Maschinenbau GmbH, namentlich Hr. Ing. Herwig Wrulich, beschäftigt sich seit vielen Jahren mit Hochdruck-Technologie.

Vorversuche haben gezeigt, dass mit dem Einsatz der Impulssteuerung im Druckbereich von 500 bis 800 bar Reinigungsergebnisse erzielt werden können, die mit Konstantdruckverfahren

erst ab ca. 1500 bis 2000 bar möglich sind. Das würde im Verhältnis zu vergleichbaren Verfahren auch eine deutliche Steigerung der Energieeffizienz bedeuten.

Ausgehend von dieser Beobachtung sowie einschlägiger Erfahrung in der Anwendung der Wasserhochdruck-Technologie - beim Entzundern in Stahlwerken oder beim Reinigen von Drehgestellen in Bahnreparaturwerkstätten – wurde dieses Vorhaben begonnen. Mit der neuen Technologie soll die Hochdruckreinigung mit Wasser auch zum Entlacken technisch und wirtschaftlich einsetzbar sein.

Das neue System basiert auf dem Gebrauchsmuster 4489 vom 25. Juli 2001 (AT 004 489 U1), erteilt der Firma Wrulich Technisches Büro für Maschinenbau (Projektpartner HWM im gegenständlichen Projekt END). Die dort registrierte Erfindung bezieht sich auf eine Hochdruckflüssigkeitspumpe mit wenigstens einem von einem Stufenkolben gebildeten Druckübersetzer zur Erzeugung einer Hochdruckflüssigkeit, insbesondere Hochdruckwasser, wobei der Stufenkolben von einem insbesondere regelbaren, unter Überdruck stehendem Hydraulikfluid beaufschlagbar ist(...).

Relevante Patente für konventionelle Hochdruckwasserpumpen sind:

DE-OS 35 45 130 (besonders Dichtungen)

DE-OS 24 24 046 (Druckübersetzer)

DE-OS 37 25 221 (hydraulischer Hilfskreislauf)

GB-A 1 470 956 (hydraulischer Hilfskreislauf)

EP-A 0 216 508 (Druckübersetzer)

EP-A 0 233 771 (Druckübersetzer)

US-A 5 639 218 (Druckübersetzer)

## **3. Hintergrundinformationen zum Projektinhalt**

### **3.1. Verwendete Methoden und Daten**

Die angewendete Methodik zur Entwicklung der Dienstleistung basiert auf der Systemanalyse nach Vester zur Erstellung des Kundenmodells (Stakeholdermodells) und des Prozessmodells.

Zur Erstellung der Pilotanlagen werden die Schritte verfahrenstechnische Entwicklung (Fließbild, Regelschema) durchlaufen, gefolgt von Konstruktion und Prototypenbau. Die Funktion des Wasserwerkzeuges und der Handlanze in Kombination mit der Hochdruckpumpe im Impulsverfahren wird mit einer Zeitraffervideoanalyse analysiert.

Für den Testbetrieb der Anlage werden anhand eines Testplans verschiedene Parametereinstellungen gewählt, deren jeweilige Ergebnisse evaluiert werden. Eventuelle Verbesserungsmaßnahmen werden im Projektteam abgeleitet.

Das Projektmanagement erstellt Aktivitäten-, Termin- und Ressourcenpläne und kontrolliert deren Einhaltung. Bei Abweichungen von den Projektzielen werden entsprechende korrigierende Maßnahmen veranlasst.

### **3.2. Vorgangsweise und verwendete Daten, Beschreibung der Erhebung**

#### **3.2.1 Entwicklung der Dienstleistung**

Zur Entwicklung der Dienstleistung wurde im Sinne des systemanalytischen Ansatzes ein Kundenmodell entwickelt, das die im Folgenden angeführten Überlegungen beinhaltet.

Desgleichen wurde ein Prozessmodell entwickelt, das die Vereinfachungen und Änderungen in den Abläufen, die durch das neue Reinigungsverfahren möglich werden, darstellt. Dabei wurde auch die Möglichkeit der Integration des Entlackungsvorganges in den bestehenden Produktionsfluss untersucht.

#### **Der Kunde und die Rahmenbedingungen**

Die zu erbringende Dienstleistung des Entlackens wird bereits jetzt von einem fremden Dienstleister durchgeführt. Dieser holt im Wochenrhythmus bereitgestellte verschmutzte Teile per LKW und fährt damit zur thermischen Entlackung ins Ausland. Der Kunde ist mit der derzeitigen Abwicklung zufrieden und muss also durch die Realisierung des Vorhabens erhebliche Vorteile erkennen können.

Als wesentliche Akteure bzw. Zielgruppen wurden beim Kunden identifiziert:

- das Lackierwerk
- Einkauf
- Instandhaltung
- Qualitätswesen
- Gebäudemanagement

Die für den Kunden für die Entscheidung maßgeblichen Kriterien sind:

- Preis
- Ausreichende Reinigungsleistung
- Halten der Maßgenauigkeit der Teile.

Der Aspekt der Ressourcenschonung wird vom Kunden nur wohlwollend zur Kenntnis genommen.

Daraus kann dann ein Vorteil argumentiert werden, wenn durch den Einsatz des neuen Verfahrens eine entsprechende Imageverbesserung einhergeht.

Die Rahmenbedingungen für das Projekt waren davon gekennzeichnet, dass die Branche von der Finanz- und Wirtschaftskrise besonders schwer getroffen wurde. Die Absatzkrise bewirkte, dass sich der Kunde erst nach einiger Zeit auf der Suche nach Einsparungspotenzialen mit dem Thema des Entlackens auseinandergesetzt hat.

### **Der Einsatzbereich und die Qualitätsanforderungen**

Der **Einsatzbereich** für das Entlacken und die Einsatzmöglichkeit der Impulshochdruckanlage wurde grundsätzlich wie folgt definiert:

- Gitterroste, die die Böden der Lackierkabinen bilden, können jedenfalls im Automatikbetrieb gereinigt werden
- Große Rahmengestelle (Skids) als Träger für Fahrerhauskabinen können aufgrund der Abmessungen (ca. drei mal zwei Meter) nur im manuellen Betrieb mit der Handlanze gereinigt werden
- Aufhängungen und Vorrichtungen mit sehr unterschiedlichem Ausmaß können teilweise im Handbetrieb gereinigt werden, teilweise ist weiterhin thermische Entlackung vorzusehen.

Die **Häufigkeit**, mit der die Teile entlackt werden müssen, wird von mehreren Faktoren bestimmt:

- von der Art des Lackes
- von der Menge des aufgetragenen Lackes; diese wiederum ist abhängig von der Produktionsleistung im jeweiligen Produktionsabschnitt und von der Technik des Lackauftrages.

Die **Qualitätsanforderungen** für die Entlackung sind bisher im Wesentlichen auf die Sichtkontrolle durch die Instandhaltungsabteilung beschränkt. Bei wichtigen Teilen wie Skids als

Tragevorrichtung für ganze LKW-Kabinen oder diversen Vorrichtungen wird die Maßgenauigkeit an Auflagepunkten gemessen. Ausreichende Qualität ist dann gegeben, wenn eine festgelegte Toleranzgrenze eingehalten wird. Bei einigen Aufhängungen wird mittels Schablonen die Maßhaltigkeit der Teile überprüft.

Der Vorteil des thermischen Verfahrens ist, dass die Entlackung derart vollständig erfolgt, dass kaum Beanstandungen aufgrund unvollständiger Entlackung zu verzeichnen sind. Deswegen wird beim bisherigen Verfahren auf eine weitergehende Qualitätsdefinition verzichtet. Relativ häufig tritt aber mechanischer Verzug auf, der sich entweder in der Nichteinhaltung von Messtoleranzen zeigt oder bereits optisch zu erkennen ist und von einem externen Dienstleister in einer Schlosserei repariert wird.

Im Projekt wurde mit dem Kunden die folgende weitere Handhabung festgelegt:

- bei Teilen mit erforderlicher hoher Maßgenauigkeit werden die derzeit eingesetzten Mess- und Prüfverfahren beibehalten.
- Bei Gitterrosten, die den Boden von Lackierkabinen bilden, ist die Luftdurchlässigkeit (Luft wird gemeinsam mit dem sogenannten Overspray von unten weggesaugt) entscheidend. Messungen der Luftdurchlässigkeit werden je nach den Erfahrungen mit den ersten größeren Serien, die mit dem Hochdruckverfahren entlackt worden sind, in Erwägung gezogen.
- Auch bei allen übrigen zu entlackenden Teilen konnte man sich aufgrund mangelnder Erfahrungswerte nicht zu einer Definition der Qualitätsanforderungen durchringen. Für den Kunden ist die Beibehaltung der bisherigen Regelung – hauptsächlich optische Kontrolle der Teile – die bevorzugte Lösung.

Ein derart unklarer Qualitätsanspruch ist für den geplanten Einsatz des Hochdruckverfahrens unbefriedigend und nicht ausreichend. Die subjektive Einschätzung „ausreichenden“ Reinigungsgrades ist für eine saubere vertragliche Regelung nicht geeignet.

Aufgrund der noch nicht voll befriedigenden Reinigungsleistung der Anlage (siehe dazu die folgenden Kapitel) kann von Seiten des Projektbetreibers derzeit aber kein endgültiger Lösungsvorschlag für die Qualitätsanforderungen und eine entsprechende Vorgangsweise bei Nichterfüllung derselben vorgelegt werden.

Neben der weiteren Arbeit zur Verbesserung der Reinigungsleistung wurde der Weg gewählt, in einem Probeauftrag den Kunden mit den erreichten Ergebnissen zu konfrontieren und eine gemeinsame Evaluierung der Ergebnisse vorzunehmen.

## **Die Prozesse**

Die verschmutzten Teile (Gitterroste, Skids, Aufhängegerüste) werden im Rahmen der Wartungs- und Reinigungsarbeiten im Lackierwerk nach einem festgelegten Reinigungsplan in regelmäßigen Intervallen aus den Lackierkabinen entfernt und durch neue, gereinigte ersetzt.

Es besteht ein Zwischenlager nahe dem Lackierwerk. Die verschmutzten Teile werden mittels E-Fahrzeugen in das Zwischenlager befördert. Gleichzeitig werden gleichartige, gereinigte Teile vom Zwischenlager geholt und im Lackierwerk entsprechend positioniert.

Die verschmutzten Teile werden im Wochenrhythmus vom Zwischenlager geholt, auf LKW verladen und zum Entlacker (dzt. thermisch-chemisches Reinigungsverfahren) befördert. Für einen gesicherten Transport werden teilweise standardisierte, teilweise speziell angefertigte Gestelle verwendet, die beim Entlacker auch als Trägergestelle im Brennofen dienen. Die angelieferten, gereinigten Teile werden optisch geprüft, einige spezielle Teile sowie Skids werden vermessen. Befriedigend gereinigte und maßhaltige Teile werden danach in das Zwischenlager befördert. Nicht den Qualitätserwartungen entsprechende Teile werden zu einem externen Dienstleister (Schlosserei) innerhalb des Werksgeländes gebracht und von diesem entsprechend repariert. Bei zu großen Verformungen werden Teile entsorgt, wenn sie nicht mehr wirtschaftlich sinnvoll korrigiert werden können.

Das vorliegende Projekt ist grundsätzlich von einer wesentlichen Vereinfachung der Teilelogistik in Teilbereichen ausgegangen:

Für die Skids (Trägergestelle für LKW-Kabinen) war gemeinsam mit dem Kunden ein Grobkonzept erarbeitet worden, in dem die **Integration** der Reinigung der Skids in den bestehenden Produktionsfluss vorgesehen ist. Dazu wäre eine zusätzliche Kabine erforderlich, die direkt neben der Förderstraße angeordnet ist. Nach den vorgesehenen Intervallen wird der zu reinigende Skid ausgeschleußt, in der Reinigungskabine gereinigt und wieder in die Förderstraße eingeschleußt. Damit erübrigte sich der aufwändige Transport und jedwede Zwischenlagerung dieser Teile.

→ Nach Evaluierung der Situation vor Ort musste dieses Vorhaben aufgrund der vorhandenen baulichen Einschränkungen aufgegeben werden. Somit sind auch Skids weiterhin für die Entlackung aus dem Lackierwerk zum Zwischenlager zu befördern, von wo sie zum jeweiligen Entlacker zu verbringen sind.

Bei Gitterrosten und anderen Teilen, die an den produktionsfreien Tagen ausgetauscht werden, besteht bei Reinigung mit dem Hochdruckverfahren im Betriebsgelände die Möglichkeit, die Reinigung sofort durchzuführen und den gereinigten Teil unmittelbar wieder einzubauen. Dadurch entfällt im Normalfall die Notwendigkeit der Zwischenlagerung.

Auf diese Weise lässt sich das Zwischenlager erheblich reduzieren.

Die benötigte Teilepalette kann dadurch auch erheblich reduziert werden, das Ausmaß der Reduktion wird vorerst auf ein Drittel des gesamten Bestandes geschätzt. Dies ist natürlich auch von der weiteren Entwicklung der Produktionsmengen abhängig.

Da mit dem neuen Verfahren mechanischer Verzug bei den gereinigten Teilen nahezu ausgeschlossen werden kann, entfällt großteils das Ausrichten von Teilen wie bei der thermisch-chemischen Entlackung und der entsprechende Hin- und Rücktransport zur bzw. von der

Schlosserei. Diese Transportleistung für künftig verbleibende Schlosserarbeiten wird in die anzubietende Dienstleistung einbezogen.

Für den Kunden ergeben sich somit durch das Anbieten der gesamten Dienstleistung des Entlackens folgende Vereinfachungen im logistischen Ablauf:

Nur ein Ansprechpartner für folgende Leistungen:

- Austausch der verschmutzten gegen gereinigte Teile
- Jedweder Transport verschmutzter oder gereinigter Teile (zwischen Lackierwerken, Zwischenlager, Schlosserei)
- Entlackung
- Disposition und Abrechnung mit der Schlosserei

Diese Leistungen wurden bisher von verschiedenen Verantwortungsträgern durchgeführt: internes Personal für Austausch der Teile und Transport, externer Entlackler, externe Schlosserei. Nun können alle Aufgaben, die aus dem Entlacken von Teilen entstehen, zur Gänze von einem Dienstleister ausgeführt werden.

### **Wirtschaftlichkeit für den Kunden und Abrechnungsmodell**

Folgende **Kostenfaktoren** sind bisher für den Kunden relevant:

- a) Kosten der Entlackung pro Einheit (inkl. etwaiger externer Transporte)
- b) Kosten der Reparatur von Teilen bei mechanischem Verzug
- c) Austausch von verschmutzten gegen gereinigte Teile
- d) Beförderung (Transporte jeweils zwischen Lackierwerk, Zwischenlager, LKW-Verladung, Waschplatz, Schlosserei)
- e) Platzbedarf des Zwischenlagers
- f) Erfordernis der Nachbeschaffung von Teilen

Die Kosten für a) und b) sind für den Kunden unmittelbar erfassbar und transparent, dagegen sind c) bis f) für den Kunden nicht direkt greifbar bzw. werden nicht unmittelbar mit dem Entlackungsverfahren in Verbindung gebracht.

Bereits für die Entlackung (a) beträgt die Einsparung mit dem neuen Verfahren gegenüber der Ist-Situation aufgrund des gültigen Angebotes an den Kunden bei den derzeit erwarteten Mengen pro Jahr etwa 25%.

Für b) e) und f) ist ebenfalls eine erhebliche Einsparung zu erwarten.

Die Kosten der zusätzlichen Dienstleistungen (c und d) werden nun bei der Abrechnung über den Dienstleister für den Kunden transparent.

Insgesamt sollte der Kunde eine Einsparung von 30 bis 35 % erzielen können, die bei verstärkter Produktion noch höher ausfallen kann.

Bereits bisher wurden die von einem externen Dienstleister gereinigten Teile nach einfachen Messgrößen **abgerechnet**:

- Gitterroste nach Fläche (m<sup>2</sup>)
- Skids nach Stück
- Sonstige Teile nach Gewicht (kg)

Diese Abrechnungsmodalität kann beibehalten werden.

Die im Rahmen der gesamten Dienstleistung zusätzlich zu erbringenden Transportleistungen werden ebenfalls in diese Abrechnung inkludiert.

Inwieweit weitere Leistungen wie z.B. die Tätigkeit des Teileaustauschs auch in den Preis pro Einheit eingerechnet werden sollen, muss noch in weiteren Gesprächen mit dem Kunden festgelegt werden.

### **Vertragsgestaltung**

Folgende Sachverhalte werden zwischen dem Anbieter der gesamten Dienstleistung „Entlacken“ (Auftragnehmer) und dem Kunden (Auftraggeber) vertraglich geregelt:

#### **1.) ANGEBOTSGEGENSTAND**

Die Entlackung von Gitterrosten, Skids und Kleinteilen mittels Impuls-Hochdruckreinigungstechnologie.

#### **2.) LEISTUNGSPALETTE**

Die zu entlackenden Teile setzen sich wie folgt zusammen:

- Gitterroste
- Skids
- Kleinteile

Im Leistungsumfang inkludiert sind alle Nebenleistungen wie Austausch der Teile und Transportleistungen zwischen Lackierwerken, Zwischenlager, Waschplatz, Schlosserei.

Die Entsorgung des anfallenden Abwassers und des Lackschlammes wird vom Anbieter veranlasst und werden die Kosten für die Entsorgung von ihm getragen.

Die Bereitstellung von Strom und Frischwasser obliegt dem Auftraggeber. Die Kosten werden zu den jeweils gültigen Tarifen an den Auftragnehmer verrechnet. Die Mengenableserung erfolgt mittels Zählern.

#### **3.) ARBEITSSICHERHEIT / GEWERBERECHTLICHE GENEHMIGUNG**

Der Arbeitsplatz zum Betreiben der Impuls-Hochdruckreinigungsanlage wird mit allen notwendigen Sicherheitsstandards ausgestattet und es wird bei der zuständigen Behörde um gewerberechtliche Genehmigung angesucht. Die notwendigen Sicherheitsmaßnahmen und Vorkehrungen bezüglich der Arbeitnehmerschutzbelange werden erfüllt.

#### **4.) KAUFMÄNNISCHE BEDINGUNGEN**

##### **4.1. Preise**

4.2. Verrechnung und Zahlungsbedingungen

4.3. Sublieferanten

Es steht dem Auftragnehmer frei, bestimmte Teile, die mit der Hochdruck-Anlage nur aufwändig zu reinigen sind, zur Entlackung an Sublieferanten weiterzugeben. Die Verrechnung der gesamten Teilepalette erfolgt für den Auftraggeber jedoch immer über den Auftragnehmer.

Der Auftragnehmer ist auch in allen Qualitätsfragen der alleinige Ansprechpartner für den Auftraggeber.

### **3.2.2 Entwicklung der Anlagenteile, Bau eines Prototypen, Inbetriebnahme und Test**

Die Hochdruckreinigungsanlage besteht aus folgenden Teilen:

- Hochdruckpumpe
- Wasserwerkzeug (Düsen)
- Auffangbecken

Beim manuellen Arbeiten nimmt das Wasserwerkzeug die Form einer so genannten „Lanze“ an. Beim automatischen Arbeiten ist das Wasserwerkzeug ein Düsenkopf oder Düsen, die auf einem Rahmen etc. montiert sind.

Die Impulssteuerung bewirkt ein Zerlegen des Wasserstrahles in einzelne wirksame Tropfen, die mit hoher Wirkung die eigentliche Entlackung durchführen.

Durch die Impulssteuerung lassen sich durch die geschoßähnliche Wirkung der Einzeltropfen hohe Reinigungsleistungen bei niedrigeren Drücken erreichen. Die selbstregelnde Hochdruckpumpe kann sehr energieeffizient und ohne mechanischen Verschleiß das gepulste Hochdruckwasser zur Verfügung stellen.

Das Wasser wird dabei im Kreislauf geführt. Als Abfall fällt nur der Lackschlamm an. Der Einsatz von aggressiven chemischen Lösungsmitteln oder von großen Mengen an thermischer Energie entfällt.

Die Komponenten der Anlage wurden auf Basis des vorhandenen Know Hows neu- bzw. weiterentwickelt und ein Prototyp gebaut.

Für eine systematische Prüfung der Funktionalität wurde ein Test- und Optimierungsplan erstellt, der auch die Variation verschiedener Anlagenparameter und den Einsatz verschiedener Lackarten beinhaltet hat.

### **Entwicklung**

Die für das Impulshochdruck-Verfahren erforderliche **Neuentwicklung** der selbstregulierenden Hochdruckpumpe sowie die **Weiterentwicklung** von Wasserwerkzeugen und Pulsationsgebern wurden durchgeführt.

Für den **Automatikbetrieb** wurde der Pulsator zur Unterbrechung des Wasserstrahls direkt in das Wasserwerkzeug integriert. Das Wasserwerkzeug wurde auf einem Vertikalschlitten befestigt, an der über einer Einschienehängebahn Gitterroste vorbeigeführt werden. Auf die Ausrüstung des Reinigungsplatzes mit einer Spritzkabine wurde vorerst verzichtet. Sie wird bei Beauftragung einer größeren Menge zu reinigender Teile nachgerüstet, um allen sicherheitstechnischen Auflagen gerecht zu werden.

Für den **Handlanzenbetrieb** wurde der Pulsator direkt neben der Hochdruckpumpe positioniert. Von dort wird das Wasser über einen Schlauch an die Handlanze übertragen.

Der Prototyp für die Hydraulik-Hochdruckpumpe wurde direkt beim Lieferanten der Hydraulikeinheit zusammengebaut und die Basisfunktion getestet. Die Gesamtanlage wurde vor Ort am vorgesehenen Waschplatz beim Kunden zusammengebaut.

### **Testbetrieb**

Die Anlage wurde im Automatik- und im Handlanzenbetrieb getestet, die Ergebnisse aufgezeichnet, ausgewertet und analysiert. Die ersten Testergebnisse waren sehr unterschiedlich. Daraufhin wurden die beeinflussenden Parameter ermittelt und ein Test- und Optimierungsplan erstellt.

### **Evaluierung der Testergebnisse**

(siehe dazu auch im Anhang Prüfbericht)

Für den **Automatikbetrieb** wurden ausschließlich Gitterroste gereinigt. Diese stammen aus verschiedenen Einsatzorten (Lackierboxen) mit unterschiedlichen Lackarten. Folgende Parameter wurden während der Versuchsreihen variiert und folgende Ergebnisse erzielt:

- Druck: Höherer Druck erhöht die Reinigungsleistung. Optimale Leistung wird bei 700 bar erzielt
- Drehzahl Sprühkopf: offensichtlich kein Einfluss auf die Reinigungsleistung
- Spritzabstand Sprühkopf vom zu reinigenden Gitterrost: das beste Ergebnis wird mit einem Abstand von 1,5 cm erreicht
- Vorschubtakt Einschienehängebahn: Reinigungsleistung steigt mit geringerer Geschwindigkeit. Derzeitiges wirtschaftliches Optimum bei 0,35 – 0,40 m/min
- Vertikalgeschwindigkeit Sprühkopf: Reinigungsleistung steigt mit geringerer Geschwindigkeit. Derzeitiges wirtschaftliches Optimum bei ca. 7 m/min.

Resumee aus Automatikbetrieb:

Der **Verschmutzungsgrad** der Gitterroste übt keinen wesentlichen Einfluss auf die erreichbare Reinigungsqualität aus. Stärker verschmutzte Gitterroste müssen **länger** gereinigt werden (oder in mehreren Durchgängen).

Die erreichbare Reinigungsqualität ist abhängig von der **Lackart** (Einsatzort, Lackierbox) der verschmutzten Gitterroste.

Gitterroste aus der Kleinteile- und Kunststoff-/Finish-Lackierung (harter Lack) erreichen einen Reinheitsgrad von > 90 %. Gitterroste aus der Füller-Lackierung (Grundierung) (sehr weicher,

elastischer Lack) erreichen einen Reinheitsgrad von < 50 %. Gitterroste aus den Decklack-Lackierlinien (weicher, elastischer Lack) erreichen einen Reinheitsgrad zwischen 50 und 80 %. Sind die Lacke an den Gitterrosten über mehrere Tage eingetrocknet (ausgehärtet), können diese nicht mehr effizient gereinigt werden.

**Der erreichte Reinheitsgrad im Automatikbetrieb** entspricht derzeit nur für Gitterroste aus der Kleinteile- und Kunststoff-/Finish-Lackierung in etwa den Erwartungen des Kunden (der Kunde fordert - zumindest verbal - einen Reinheitsgrad von mind. 95 %) und ist für den Grossteil der Gitterroste noch unzureichend. Weitere Optimierungsprogramme sind erforderlich.

Für den **Handlanzenbetrieb** wurden folgende Teile gereinigt:

Rahmenwägen (kleine Skids), Flutungsrohre, Gitterroste

Folgende Parameter wurden während der Versuchsreihen variiert und folgende Ergebnisse erzielt:

- Druck: Reinigungsleistung steigt linear mit dem Druck. Es besteht aber keine Verbesserung gegenüber herkömmlichen Hochdruckreinigern. Dies ist auf die großteils fehlende Pulsation bei der Handlanze zurückzuführen, die bei der Übertragung im Schlauch verlorenght. Dies konnte mit der Hochgeschwindigkeitskamera visualisiert werden.
- Spritzabstand Düse vom zu reinigenden Teil: das beste Ergebnis wird mit dem sinnvollen Minimalabstand von 1-2 cm erreicht

### **Resumee aus den Versuchen im Handlanzenbetrieb**

Auf Grund der kaum vorhandenen Pulsation sind die Ergebnisse aus den Versuchen mit der Handlanze noch nicht aussagekräftig.

Trotz geringerer Drücke wird aber schon jetzt mit der Handlanze häufig eine befriedigende Reinigungsqualität erreicht, weil jeder Punkt der zu reinigenden Teile sowohl in individuellem Abstand als auch in individuellem Winkel erreichbar ist.

## **3.3. Stand der Technik**

Das übliche Verfahren der Hochdruckreinigung arbeitet mit einer Konstantpumpe, die mit einem Überdruckventil gekoppelt ist. Die Konstantpumpe baut konstant Druck auf. Wenn dieser Druck zu hoch wird (z.B. wenn das Wasser nicht benötigt wird, oder wenn durch die Düsen weniger Wasser ausströmt), entlastet das Überdruckventil und verhindert damit Schäden der Pumpe. Der Fluss von Wasser ist aber sehr schlecht einstellbar und die energetische Effizienz dieses Verfahrens ist relativ gering (siehe dazu auch Anhang 11.3. Funktionsbeschreibung Hochdruck-Wasserpumpe).

### **3.4. Neuerungen und Vorteile gegenüber dem Ist-Stand (Innovationsgehalt)**

Im vorliegenden Projekt wird eine selbstregelnde Hydraulikpumpe entwickelt, die gemeinsam mit einem Pulsator zur Unterbrechung des Wasserstrahles und einem entsprechend ausgelegtem Wasserwerkzeug die Impulshochdruckreinigung ermöglicht. Damit entsteht ein neues, über einen hohen Anforderungsbereich einsetzbares Hochdruckreinigungsgerät: Die selbstregelnde Pumpe muss nicht mehr für eine spezielle Düse ausgelegt werden, sondern bietet eine große Variationsmöglichkeit beim Einsatz des jeweiligen optimalen Wasserwerkzeugs (siehe dazu auch Anhang 11.3. Funktionsbeschreibung Hochdruck-Wasserpumpe).

Für den Anwendungsbereich des Entlackens bedeutet das Hochdruckverfahren eine wesentliche Verbesserung gegenüber den konventionellen Methoden:

- **Einsatz mechanischer Verfahren anstelle von chemischen oder thermischen**

Durch den Einsatz von Hochdruckwasser wird der Einsatz von aggressiven chemischen Lösungsmitteln zum Abbeizen vermieden. Dadurch entfallen alle entsprechenden Rahmenbedingungen des Umganges mit gesundheitsschädlichen Lösungsmitteln, sowie deren Transport und Aufbereitung.

Im Vergleich zum Abbrennen entfällt der hohe Energieeinsatz für das Gas der Abbrennöfen und mechanischer Verzug der Teile durch thermische Beanspruchung wird vermieden.

- **Anbieten einer gesamten Dienstleistung anstelle eines isolierten Verfahrens**

Für den Lackierbetrieb besteht die Möglichkeit, den gesamten Prozess des Entlackens inkl. der internen Austausch- und Transportarbeiten erledigen zu lassen.

## 4. Ergebnisse des Projektes

Im Folgenden werden die geplanten Meilensteine und die dabei erzielten Ergebnisse zusammengefasst:

- Entwicklung eines **Kundenmodells**: es wurden die relevanten Abteilungen und Personen des Kunden erfasst und die Interessenslage sowie die für eine Entscheidung für das neue Verfahren maßgeblichen Kriterien eruiert. Der Kunde muss durch die Realisierung erhebliche Vorteile erkennen können (niedriger Preis, „ausreichende“ Reinigungsleistung, Maßgenauigkeit der Teile). Die ökologische Ausrichtung hat dann einen positiven Einfluss auf die Entscheidung des Kunden, wenn durch den Einsatz des neuen Verfahrens eine entsprechende Imageverbesserung einhergeht.

Die **Rahmenbedingungen** für die Einführung der Leistungen waren durch den Wunsch nach weiterer Auslagerung von Leistungen anfänglich gut, aufgrund der schwierigen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen (Finanzkrise) verzögerte sich aber die aktive Mitarbeit des Kunden.

Der **Einsatzbereich** umfasst alle Teile, die entlackt werden müssen. Voll im Automatikbetrieb werden Gitterroste gereinigt. Die übrigen Teile werden nach Möglichkeit mit der Handlanze gereinigt. Die für das Hochdruckverfahren weniger gut geeigneten Teile müssen weiterhin bei Sublieferanten thermisch entlackt werden.

Die **Qualitätsanforderungen** konnten für eine sauber abrechenbare Leistung noch nicht ausreichend genau mit dem Kunden definiert werden. Bestehende Mess- und Prüfverfahren bei Teilen mit erforderlicher hoher Maßgenauigkeit werden beibehalten. Bei Gitterrosten und Kleinteilen konnten noch keine objektiven Kriterien vereinbart werden. In einem künftigen Probeauftrag soll gemeinsam mit dem Kunden eine qualitative Evaluierung der Ergebnisse vorgenommen werden.

Ein **Abrechnungsmodell** und eine **Wirtschaftlichkeitsrechnung** aus der Kundensicht liegen vor. Ein Angebot an den Kunden wurde gelegt. Für den Kunden ergeben sich aufgrund derzeitig gültiger Annahmen bezüglich der Dauer und Qualität der Reinigungsleistung eine mögliche Einsparung von etwa 25%, unter Einbeziehung der zusätzlichen Leistungen wie Transport und Austausch der Teile von etwa 30 bis 35% gegenüber den bisherigen Verfahren.

Die **Vertragsgestaltung** für eine künftige Zusammenarbeit ist vorbereitet. Der Auftragnehmer wird der alleinige Ansprechpartner für alle Leistungen rund um das Entlacken.

- Entwicklung des **Prozessmodells**: Die bestehenden Abläufe und Vorgänge im Zusammenhang mit dem Entlacken von Teilen wurden genau analysiert. Die durch das Verfahren ermöglichte Vereinfachung der Abläufe wurde definiert und ist in die Wirtschaftlichkeitsrechnung für den Kunden und in die Angebotspreise eingegangen.

Die ursprünglich geplante Integration des Verfahrens in den Fertigungsfluss wurde aufgrund von Platzproblemen und deswegen erforderlichem aufwändigem Umbaus nicht weiter verfolgt.

- **Entwicklung von Anlagenkomponenten:** Die für das Impulshochdruck-Verfahren erforderliche Neuentwicklung der selbstregulierenden Hochdruckpumpe sowie die Weiterentwicklung von Wasserwerkzeugen und Pulsationsgebern wurden plangemäß durchgeführt.  
Für den **Automatikbetrieb** wurde der Drehschieber zur Unterbrechung des Wasserstrahls direkt in das Wasserwerkzeug integriert. Für den **Handlanzenbetrieb** wurde der dafür ein Pulsator direkt neben der Hochdruckpumpe positioniert.
- Bau von **Prototypen** der Anlagenkomponenten und der Gesamtanlage: Die o.a. Komponenten wurden gebaut. Für den Automatikbetrieb wurde das Wasserwerkzeug auf einem Vertikalschlitten befestigt, an der über eine Einschienenhängebahn Gitterroste vorbeigeführt werden.
- **Test:** Die Anlage wurde im Automatik- und im Handlanzenbetrieb getestet, die Ergebnisse aufgezeichnet, ausgewertet und analysiert. Mittels eines Optimierungsprogramms wurden relevante Parameter verändert und die Auswirkung auf die Reinigungsleistung analysiert.
- **Evaluierung der Testergebnisse:** im **Automatikbetrieb** konnte bei einigen Lacken eine beachtliche Reinigungsleistung erzielt werden, bei anderen ist der Erfolg noch ausständig. Der **Betrieb mit der Handlanze** ist derzeit überhaupt noch nicht zufriedenstellend, da die Unterbrechung des Wasserstrahls vom Verbindungsschlauch zwischen Anlage und Handlanze nicht übertragen wird. Dies konnte durch Aufnahmen mit einer Hochgeschwindigkeitskamera visualisiert werden.

## **5. Detailangaben in Bezug auf die Ziele der Programmlinie**

### **5.1. Einpassung in die Programmlinie**

Der Anspruch des vorliegenden Projekts ist es, eine Weiterentwicklung der Hochdruck-Technologie durch Einsatz einer selbstregelnden Pumpe und der Unterbrechung des Wasserstrahls zu betreiben. Durch die Anwendung bei der Entlackung von Teilen aus Lackierfabriken sollen bisher eingesetzte, ökologisch belastende chemische und thermische Verfahren ersetzt oder teilweise ersetzt werden.

Weitere Anwendungsbereiche für dieses verbesserte Hochdruckverfahren sind denkbar.

### **5.2. Beitrag zum Gesamtziel der Programmlinie und den sieben Leitprinzipien nachhaltiger Projektentwicklung**

Das Projekt ist wie in der Ausrichtung der Programmlinie Fabrik der Zukunft vorgegeben, von vorneherein auf sofortige Umsetzung in einem Industriebetrieb ausgerichtet. Die Voraussetzungen zur sinnvollen Erweiterung zu einer Demonstrationsanlage mit kommerzieller Nutzung sind absolut gegeben.

Das Vorhaben wird mehreren „Leitprinzipien Nachhaltiger Technologieentwicklung“ gerecht:

- Prinzip der Dienstleistungs-, Service- und Nutzenorientierung

Das Vorhaben ist auf die Erbringung von Dienstleistungen ausgerichtet. Die neue Technologie der Hochdruckwasserpumpe mit Impulssteuerung bildet die Basis, eine saubere Lösung für das Entlacken von Teilen im Rahmen eines Betreibermodells als Dienstleistung anzubieten. Zusätzlich werden durch die Bearbeitung vor Ort Transporte zu ausländischen Bearbeitern vermieden.

- Prinzip der Nutzung erneuerbarer Ressourcen

Durch den technologisch geänderten Prozess wird der beim thermischen Verfahren zum Abbrennen der Teile benötigte Energieeinsatz vermieden.

- Effizienzprinzip

Die Technologie der Hochdruckpumpe zum Entlacken ist den herkömmlichen chemischen bzw. thermischen Verfahren in der Energie- und Materialeffizienz – für den Betrieb der Hochdruckpumpe sind 75 kWh erforderlich - und bezüglich der Kosten weit überlegen. Dadurch ist es möglich, dem Anwender eine wesentlich kostengünstigere Lösung der Aufgabe anzubieten. Die Kosten nur für die Entlackung reduzieren sich für den Anwender

um etwa ein Viertel, zusätzliche Einsparungen ergeben sich durch Vermeidung von Logistikkosten und geringeren Reparaturkosten.

- **Prinzip der Rezyklierungsfähigkeit**

Diesem Prinzip wird das Verfahren durch die Wiederaufbereitung des eingesetzten Wassers gerecht.

- **Prinzip der Sicherung von Arbeit, Einkommen und Lebensqualität**

Durch die Dienstleistung des Entlackens vor Ort kann Wertschöpfung, die derzeit im Ausland entsteht, zurückgebracht werden, wobei hochwertige Arbeit im Rahmen des Einsatzes von modernster Technologie geschaffen wird.

### **5.3. Beitrag zu den Zielen der 5. Ausschreibung**

Das Projekt ist dem Thema Produkte und Produktdienstleistungs-Systeme im Rahmen der Programmlinie Fabrik der Zukunft zuzuordnen. Dabei steht neben der Produktentwicklung die Produktnutzung als Dienstleistung im Blickpunkt. Nicht nur das Verfahren selbst – impulsgesteuertes Hochdruckverfahren – verspricht ressourcenschonende Bearbeitung, auch die Erbringung der Dienstleistung vor Ort und die diesbezügliche Vermeidung von LKW-Transporten sowie der effiziente Ablauf der erforderlichen Aufgaben werden dem Anspruch nachhaltigen Wirtschaftens gerecht.

Da das Vorhaben auf unmittelbare kommerzielle Verwertung abzielt, ist die Beachtung des Kundennutzens von herausragender Bedeutung.

### **5.4. Einbeziehung der Zielgruppen und Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse im Projekt**

Das Unternehmen, in dem die Entlackung durchgeführt wird („Kunde“), ist aufgrund der Größe mit über 1.000 Mitarbeitern sowie als Teil eines internationalen Konzerns klar strukturiert und es sind innerhalb des Unternehmens verschiedene Ansprechpartner, aber auch Interessen zu berücksichtigen. Hilfreich für das Projekt war die grundsätzliche Ausrichtung des Kunden, nicht zur Kernkompetenz zählende Aufgaben an Externe auszulagern, und das Bestreben, mit weniger Ansprechpartnern auszukommen und die bewährten Partner mit einem größeren Aufgabengebiet zu betrauen. Ein Angebot zur Erstellung der gesamten Dienstleistung des Entlackens kommt dieser Strategie sehr entgegen.

Bereits in der Anfangsphase des Projekts wurden den für die gesamte Lackierung beim Kunden zuständigen Personen die Perspektiven des Projekts im Rahmen einer Präsentation dargestellt.

Daraus haben sich gemeinsame Anregungen für das Projekt sowie dessen sinnvollen Umsetzungsmaßnahmen ergeben.

Die Instandhaltungsabteilung ist vorrangig an einer reibungslosen Abwicklung des Austausches der zu reinigenden Teile, an der guten Reinigungsqualität und an der Aussicht auf weniger Reparaturaufwand aufgrund geringeren mechanischen Verzugs interessiert.

Dem Vorhaben förderlich ist die vom Qualitätswesen betriebene Tendenz des Kunden, die Teile häufiger reinigen zu lassen, damit die Staubbelastung beim Lackieren weiter vermindert wird. Hier kann das neue Verfahren mit wesentlich flexiblerer Leistungserbringung vor Ort dem Kunden große Vorteile verschaffen.

Nach Fertigstellung der Anlage wurde für ausgewählte Personen beim Kunden - unter Einbeziehung des mit dem Entlacken betrauten Personals aus Instandhaltung, Qualitätswesen und Einkauf – eine Vorführung der Wirkungsweise der Anlage durchgeführt.

Der Einkaufsabteilung wurde ein Angebot mit der Zielsetzung, kurzfristig einen Probeauftrag zu erhalten, gelegt. Dabei war zu berücksichtigen, dass mit den derzeitigen Reinigungsergebnissen und der Notwendigkeit, nach dem Automatikbetrieb mit der Handlanze nachzureinigen, noch keine großen Aufträge in kurzer Zeit abgewickelt werden können.

Die Vorteile für den Kunden aus der Erbringung der gesamten Dienstleistung wurden dargelegt. Weitere wichtige Ansprechstellen beim Kunden, insbesondere das Gebäudemanagement für Infrastrukturmaßnahmen, Elektrik und Wasserinstallation, wurden entsprechend dem Projektverlauf eingebunden.

Die Gewerbebehörde und das Arbeitsinspektorat wurden vorab über das künftige Vorhaben informiert.

Zur Durchführung von Entlackungen, die nicht wirtschaftlich – bei stark gegliederten Teilen - mit Hochdruckanlagen durchgeführt werden können, wurde mit einem thermischen Entlacker in der näheren Umgebung Kontakt aufgenommen und ein Angebot eingeholt.

## **5.5. Umsetzungspotenziale für die Projektergebnisse**

Die Perspektiven des Verfahrens in Hinblick auf die Kosteneinsparung gegenüber bisherigen Verfahren des Entlackens haben sich gefestigt. In den ursprünglichen Kalkulationen waren Reserven insofern berücksichtigt, als für die Zeitspanne des Automatikbetriebs der Anlage Personalaufwand angesetzt wurde und in die Kalkulationen eingeflossen ist. Mit diesen Zeiten sollten alle Nebentätigkeiten abgedeckt werden können. Die aus heutiger Sicht erforderlichen

Nebentätigkeiten sind insbesondere Transportleistungen. Derzeit werden die Zeiten auch noch für die Nacharbeit der mit der Automatanlage gereinigten Teile mit der Handlanze verbraucht. Wieweit Tätigkeiten wie der Austausch der Teile im Lackierwerk in den bestehenden Kalkulationen unterzubringen sind, hängt von den endgültigen Ergebnissen der Reinigungswirkung der Anlage ab.

Insgesamt mussten die Kalkulationen nicht geändert werden. Damit liegen die Preise, die man den potenziellen Kunden für das Entlacken anbieten kann, mehr als 30% unter den Preisen bei Anwendung konventioneller Verfahren, unter der Berücksichtigung, dass Nebentätigkeiten wie der Transport und der Austausch der zu entlackenden Teile mit in die Rechnung einbezogen werden.

Eine systematische Markterhebung im Bereich des Entlackens wurde noch nicht durchgeführt. Die ursprünglichen Einschätzungen des Marktpotenzials für das Entlacken von ca. 20 bis 30 Anwendern in Österreich scheinen nach wie vor plausibel. Hier wird auch im ersten Schritt das größte ökonomische Potenzial gesehen. Insbesondere sind in der Marktanalyse jene Anwendungen in Lackierbetrieben zu erheben, bei denen die verwendeten Lacke schon mit der derzeit installierten Anlage sehr zufriedenstellende Reinigungsleistungen erwarten lassen.

Im Verlauf des Projekts wurden als Ausfluss von Workshops neue Anwendungsbereiche für die Reinigung mit Impuls-Hochdruck-Technologie definiert. Neben der bereits bestehenden Idee, im Straßenbau Brückensanierungen durch den Abtrag mit Hochdruck durchzuführen, wurden folgende weitere möglichen Anwendungen aufgegriffen:

- Reinigung von Trockensieben in der Papierindustrie
- Reinigung von Formen, die in der Ziegelherstellung verwendet werden.

In beiden Anwendungsbereichen wurde das Verfahren maßgeblichen Personen präsentiert und die technischen Anforderungen skizziert. Für das Verfahren in der Papierindustrie wurden bereits konkrete Anforderungen definiert und eine grobe Kostenschätzung des Verfahrens angestellt.

Des Weiteren wurde vom Konstrukteur der Anlage eine Vorführung der Funktionsweise der Anlage für einen potenziellen Anwender für Reinigungsanwendungen in der Stahlindustrie angekündigt.

## **5.6. Potenzial für Demonstrationsvorhaben**

Aufgrund des an sich funktionsfähigen Prototypen und der bis jetzt – mit Abstrichen - erfolgversprechenden Ergebnisse des Verfahrens ist der Umbau zu einer kommerziell nutzbaren und für Demonstrationszwecke geeigneten Anlage naheliegend.

Der Kunde steht der Anwendung des neuen Verfahrens, nicht zuletzt aufgrund der erhofften Einsparungen, positiv gegenüber. Die Erreichung der qualitativen Anforderungen wird bei den geplanten Probeaufträgen gemeinsam mit dem Kunden evaluiert.

Ziel des künftigen Demonstrationsvorhabens ist der Umbau der Anlage in der Weise, dass die entsprechenden Reinigungsleistungen mit wirtschaftlichem Aufwand und für große Mengen im kalkulierten Zeitrahmen erbracht werden können.

## 6. Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen

### 6.1. Erkenntnisse für das Projektteam

Aus den Testergebnissen im Automatik- und Handlanzenbetrieb sowie aus den Videoanalysen mit der Hochgeschwindigkeitskamera sind folgende Erkenntnisse gewonnen worden:

- Bestimmte Lacke bereiten bei der Reinigung mit Hochdruckanlagen besondere Schwierigkeiten.
- Gitterroste sind mit der derzeitigen Anordnung des Wasserwerkzeuges im Automatikbetrieb offensichtlich weniger gut zu reinigen, als im manuellen Betrieb, da bei letzterem jeder Punkt des Gitters sowohl in individuellem Abstand, als auch in individuellem Winkel erreichbar ist, und zusätzlich die zeitliche Einwirkung des Wasserstrahls individuell gesteuert werden kann. Dasselbe ist auch für die Reinigung komplexer Aufhängeteile anzunehmen.
- Die rasche Drehbewegung des Düsenkopfes im Automatikbetrieb verhindert offensichtlich, dass bei gegebener Frequenz der Wasserstrahlunterbrechung eine geschoßähnliche Wirkung entsteht.
- Beim Handlanzenbetrieb wird derzeit die Pulsationswirkung durch die Übertragung von der Anlage zur Handlanze mit einem flexiblen Schlauch in den meisten Fällen zur Gänze – bzw. bei Verringerung der Pulsationsfrequenz und einem Schlauch von 10m Länge zu einem Großteil – absorbiert.
- Die verstärkte Reinigungswirkung der Pulsation in dieser genannten Testanordnung, in der eine geringfügige Pulsation bei der Handlanze ankommt, ist aber deutlich zu erkennen, was erwarten lässt, dass die Wirkung bei vollständiger Pulsation wie geplant eintreten wird.

## **6.2. Wie arbeitet das Projektteam mit den erarbeiteten Ergebnissen weiter?**

Das Projektteam wird in einem Workshop eine Beurteilung der Gesamtsituation vornehmen und die weiteren Schritte festlegen.

Folgende Maßnahmen bieten sich dabei an:

### **Automatikbetrieb:**

- Weitere Teststellung durch Variation der verwendeten Düsen. Insbesondere durch den Einsatz von Flachstrahldüsen im Automatikbetrieb erwartet man sich, dass schwer zu reinigende Lacke „angerissen“ werden und danach leicht abgelöst werden können.
- Variation der Drehgeschwindigkeit des Drehkopfes mit dem Wasserwerkzeug, sodass die Unterbrechung des Wasserstrahles tatsächlich eine stärkere Reinigungswirkung erzeugt.
- Sollte sich dadurch bei den derzeit nicht befriedigend zu lösenden Lacken keine Verbesserung ergeben, ist eine konstruktive Änderung erforderlich. Dabei könnte versucht werden, mit der Automatikvorrichtung die Wirkungsweise des manuellen Betriebs nachzubilden, indem sich der Düsenkopf in einer Art „Abtastverfahren“ langsam entlang des zu reinigenden Teiles bewegt, wodurch die Wasserstrahlunterbrechung durch längere Einwirkung auf ein und denselben Punkt des Teiles voll zur Geltung kommen könnte. Die einzelnen Punkte könnten außerdem in optimalem Abstand und mit verschiedenen Winkelstellungen angesteuert werden.

### **Handlanzenbetrieb:**

- auch im Handlanzenbetrieb sollen noch einmal weitere Teststellungen versucht werden, u.zw. ebenfalls durch Variation der verwendeten Düsen sowie der optimalen Pulsfrequenz. Zusätzlich soll versucht werden, weitere Konstellationen zu finden, bei denen die Pulsation bis zum Ende der Handlanze übertragen wird. Die Testergebnisse sollten durch Druckmessungen direkt an der Handlanze plausibilisiert werden. Eine verstärkte Reinigungswirkung sollte dabei unmittelbar erkennbar werden, möglicherweise ist die Pulsation aber wiederum nur durch Videoaufnahmen mit einer Hochgeschwindigkeitskamera überprüfbar.
- Sollte mit den derzeit eingesetzten flexiblen Schläuchen keine befriedigende Lösung gefunden werden können, ist der Pulsator analog zum Wasserwerkzeug des Automatikbetriebes direkt in die Handlanze zu integrieren. Dazu ist eine Aufhängevorrichtung für die Handhabung der Handlanze mit Pulsator erforderlich.

### **6.3. Für welche Zielgruppen sind die Projektergebnisse relevant und interessant und wer kann damit wie weiterarbeiten?**

Weiterhin sehr interessant sind die Ergebnisse für alle potenziellen Lackierbetriebe, für die die Perspektive eines ökologisch sinnvollen und kostengünstigen Verfahrens der Entlackung besteht.

Für weitere Zielgruppen, sowohl in der Anwendung des Verfahrens beim Entlacken, als auch in anderen potenziellen Anwendungsfeldern, besteht hinsichtlich der Verbesserung des Verfahrens noch entsprechender Entwicklungsbedarf.

Bisher wurde mit Interessenten bezüglich zweier weiterer potenzieller Anwendungsbereiche Gespräche geführt:

- Anwendung in der Reinigung von Trockensieben in der Papierindustrie
- Reinigung von Formen in der Ziegelproduktion.

Für beide Anwendungen ist zu evaluieren, ob die bisherigen bzw. die durch die geplanten weiteren Teststellungen erzielten Ergebnisse ausreichen, um sich bereits intensiver mit den Detail-Anforderungen zu beschäftigen.

Die weiteren Ziele im Rahmen des Projekts der Erstellung von Marketingunterlagen für einen systematischen Markteintritt beim Entlacken sowie in anderen Anwendungsfeldern wurden aufgrund der noch nicht befriedigenden technischen Leistung noch nicht realisiert.

## **7. Ausblick und Empfehlungen**

### **7.1. Wo liegen die Chancen / Schwierigkeiten / Risiken bei der Realisierung / Umsetzung in Richtung Demonstrationsprojekt?**

Es ist zu prüfen, inwieweit die bestehende Anlage durch Variation weiterer Parametereinstellungen und / oder durch konstruktive Änderungen und entsprechender Umbauten zu einer kommerziell nutzbaren Anlage mit Demonstrationscharakter gewandelt werden kann (siehe dazu das folgende Kapitel).

Voraussetzung dafür ist, dass die geplanten Probeaufträge in der Qualität den Kundenanforderungen entsprechen und auch wirtschaftlich abgearbeitet werden können.

### **7.2. Empfehlungen für weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten**

Weitere Testversuche mit veränderten Parametereinstellungen und neuen Düsen können kurzfristig und mit geringem Aufwand wesentliche Erkenntnisse darüber bringen, wieweit die derzeitigen konstruktiven Ansätze bessere Ergebnisse bringen können.

Sollte daraus keine befriedigende Reinigungsleistung erzielt werden können, ist ein Folgeprojekt zu definieren, welches folgende konstruktive Änderungen beinhalten sollte:

- im Handlanzenbetrieb sollte die Übertragung des Wasserstrahls durch einen flexiblen Schlauch vermieden werden und die Unterbrechung des Wasserstrahls direkt an der Handlanze durchgeführt werden. Dies scheint mit einem überschaubaren Kostenrahmen realisierbar zu sein.
- Im Automatikbetrieb müsste die derzeit erfolgende Rotationsbewegung des Düsenkopfes durch eine dem Handlanzenbetrieb angenäherte langsame Bewegung ersetzt werden, sodass die zu reinigenden Punkte genauer angesteuert werden können.

Diese konstruktiven Änderungen könnten durch einen Umbau der bestehenden Anlage zu einem neuen Prototypen bzw. einer Demonstrationsanlage umgesetzt werden.

Wichtig scheint auch zu sein, dass die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse rasch zu neuen Aktivitäten führen, insbesondere auch weil das Kundeninteresse bereits aufgrund der bisherigen Perspektiven stark geweckt worden ist.

Auch mit der weiteren Evaluierung der technischen Anforderungen in den neuen Anwendungsbereichen in der Papierindustrie, der Formenreinigung in der Ziegelproduktion sowie in der Betonsanierung kann unverzüglich fortgesetzt werden.

### **7.3. Resümee hinsichtlich der im Projekt verfolgten Ziele**

Die Zielsetzung im Bereich der technischen Entwicklung der Anlagenkomponenten und der Aufbau der Testanlage erfolgten im Wesentlichen wie geplant.

Die Testergebnisse im Automatikbetrieb ergeben bei einigen Lacken eine beachtliche Reinigungsleistung, bei anderen ist der Erfolg noch ausständig. Der Betrieb mit der Handlanze ist derzeit überhaupt noch nicht zufriedenstellend, da die Unterbrechung des Wasserstrahls vom Verbindungsschlauch zwischen Anlage und Handlanze nicht übertragen wird. Bei bestimmten Testeinstellungen kommt eine geringfügige Pulsation bei der Handlanze an, welche dann auch eine entsprechend verstärkte Reinigungswirkung erzeugt.

Die Entwicklung eines Dienstleistungspakets ist zu einem guten Teil wie geplant durchgeführt worden und resultierte in der Evaluierung des bestmöglichen Kundennutzens sowie in einem Abrechnungsmodell und der Neugestaltung der Abläufe bei der Entlackung.

Eine exakte Definition der Qualitätskriterien und der Abrechnungsmodalitäten konnte noch nicht vollständig durchgeführt werden. Dies ist in der noch nicht befriedigenden Reinigungsleistung der technischen Anlage begründet, die exakte und gesicherte Aussagen noch nicht zulassen.

Die ursprünglich geplante Integration des Verfahrens in den Fertigungsfluss wurde aufgrund von Platzproblemen und deswegen erforderlichem aufwändigen Umbaus nicht weiter verfolgt.