

Abschlussbericht

zum Vorhaben:

**Innovatives und umweltfreundliches Lacksystem für Automobil-
Chrom-Optik**

2136

Fördernehmer/-in:

Bix Beschichtungen GmbH

Umweltbereich

(Integrierter Umweltschutz, Klimaschutz, Energie)

Laufzeit des Vorhabens

04.06.2014 – 30.10.2016

Autoren

Andreas Bix, Johannes Bix, Christoph Bix

Daniela Derißen, Marcus Lodde

Gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Datum der Erstellung

14.08.2017

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen UBA	Projekt-Nr. 2136
Titel des Vorhabens Innovatives und umweltfreundliches Lacksystem für Automobil-Chrom-Optik	
Autoren, Namen, Vornamen Andreas Bix, Johannes Bix, Christoph Bix, Bix Beschichtungen GmbH, Meßkirch Daniela Derißen, Marcus Lodde, prisma consult GmbH / Effizienz-Agentur NRW, Duisburg	Vorhabensbeginn 04.06.2014
	Vorhabensende (Abschlussdatum) 30.10.2016
Fördernehmer (Name, Anschrift) Bix Beschichtungen GmbH Veritasring 6 88605 Meßkirch	Veröffentlichungsdatum 14.08.2017
	Seitenzahl 66
Gefördert im Rahmen des BMUB-Umweltinnovationsprogramms des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit	
<p>Im Rahmen des Vorhabens sollte nachgewiesen werden, dass mit Umsetzung des innovativen und umweltfreundlichen Lacksystem für Automobil-Chrom-Optik die Aufbringung eines korrosionsbeständigen chromfreien Schichtsystems (auf Kunststoffsubstrate) möglich ist, welches funktionell und optisch mit dem galvanischen Verchromen identisch ist. Auf diese Weise kann die galvanische Verchromung im Innen- und Außenbereich von Kraftfahrzeugen vollständig durch ein innovatives Lackierverfahren ersetzt und der Einsatz von Schwermetallen (Chrom VI) vermieden werden.</p> <p>Während es bisher bei den über eine galvanische Verchromung hergestellten Chromteilen verbreitet zu Korrosionsschäden kommt, ist das neue Lacksystem vorwiegend auf organischen Stoffen und Aluminiumpigmenten (im „farbgebenden“ Basislack) aufgebaut.</p> <p>Im durchgeführten Messprogramm (Mai 2016 bis Oktober 2016) wurden spezifische Messdaten ermittelt, die auf eine Jahresproduktion von 173.000 m³ (entspricht einer Durchsatzleistung von 3.000.000 Bauteilen/a) hochgerechnet wurden. Im Ergebnis reduziert sich der jährliche spezifische Gesamtenergieverbrauch im Vergleich zum herkömmlichen Lackierverfahren um 25,65 kWh/m² auf 16,55 kWh/m² (um 60%) und realisiert damit eine CO₂-Einsparung von 2.217 t/a CO₂-Äquivalenten. Im Vergleich zur galvanischen Beschichtung können 4,8 t Schwermetalle (Chrom VI) und Frisch- und Abwassermengen in Höhe von ca. 14.700 m³/a vermieden werden.</p> <p>Es ergibt sich durch die hochgerechneten Material- und Energiekosteneinsparung ein Kapitalrückfluss nach 4 Jahren. Die tatsächlichen Kosten für das Vorhaben betragen 5.695.529,23 €.</p> <p>Die Anwendung kann auf größere Bauteile im Bereich Automobil (Zierleisten, Kühlergrill, Beschläge und Leuchten) ausgeweitet werden.</p>	

Schlagwörter

Innovatives Lackierverfahren, Chrom-Optik, Galvano-Optik, Vermeidung Chrom VI, Kunststoffsubstrate

Anzahl der gelieferten Berichte

Papierform: 10

Elektronischer Datenträger: 1

Sonstige Medien

Newsletter, Loseblattsammlung der Effizienz-Agentur NRW und Veröffentlichung auf deren Homepage unter www.ressourceneffizienz.de und auf der Firmenhomepage unter www.bix-lackierungen.com

Report Data Sheet

Aktenzeichen UBA	Projekt-Nr. 2136
Report Title Innovative and environmentally-friendly lacquer system for automotive chrome-look	
Author, Surname, First name Andreas Bix, Johannes Bix, Christoph Bix, Bix Beschichtungen GmbH, Meßkirch Daniela Derißen, Marcus Lodde, prisma consult GmbH / Effizienz-Agentur NRW, Duisburg	Project Start Date 04.06.2014
	Project End Date (Completion Date) 30.10.2016
Funding Recipient (Name, Address) Bix Beschichtungen GmbH Veritasring 6 88605 Meßkirch	Publishing Date 14.08.2017
	Number of Pages 666
Funded as part of the „BMUB-Umweltinnovationsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit“ (English:Environment Innovation Programme by the German Federal Ministry of the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety.)	
<p>Within the scope of the project, it has become possible to prove that with the implementation of the innovative and environmentally-friendly lacquering system for automotive chrome-look, it is also possible for the application of a corrosion-proof, chrome-free coating system (based on a plastic substrate) which is identical to galvanized chromium-plating both functionally and optically. Through this, galvanized chromium-plating both inside and outside the vehicle can be completely substituted by an innovative lacquering procedure and the application of heavy metals (Chrome VI) can be avoided.</p> <p>Whereas up to now, in the case of galvanized chromium-plating manufactured chrome parts, corrosion damage is frequently noticeable; the new lacquering system is primarily based on organic materials and aluminium pigments (in “colour-giving” base lacquer).</p> <p>In the measurement programme conducted (May-October 2016), specific measurement data was examined which projected an annual production of 173,000 m³ (corrsponding to an output of 3,000,000 parts). In the result, the annual specific energy consumption was considerably reduced in comparison with the conventional lacquering procedure from 25.65 kWh/m² to 16,55 kWh (of 60 %). Drawn to the energy consumption we achieve a reduction from CO₂ to 2.217 t/a CO₂-equivalents. In comparison of galvanized chromium-plating manufactured chrome parts there is a reduction of 4,8 t heavy metal (chrome VI) and fresh and wastewater in the amount of 14.700 m³/a.</p> <p>Relating to the annual production of 173.000 m³, through the material and energy cost savings, a reflux of capital will occur after 4 years. The actual costs for the project amounted to € 5,695,529.23.</p> <p>The application can be extended to larger components in the automobile industry (body trimmings, radiator grills, metal fittings and lights).</p>	

Keywords

Innovative lacquering procedure, chrome-look, galvanized-look, avoidance of chrome VI, plastic substrates.

Number of reports provided

Paper Form: 10

Digital Form: 1

Additional Media

Newsletter, collection of loose-leaf articles produced by Effizienz-Agentur NRW and publications on their homepage at www.ressourceneffizienz.de and on the company's homepage at www.bix-lackierungen.com

Kurzfassung

Ausgangssituation

Bix Lackierungen GmbH ist ein mittelständischer Oberflächenveredeler aus Meßkirch in Baden-Württemberg, der seit über 125 Jahren auf hochwertige Beschichtungen spezialisiert ist. Die Unternehmensgruppe besteht aus den Unternehmen Bix Lackierungen GmbH, Lothar Bix GmbH und der Bix Beschichtungen GmbH. Alle Gesellschaften sind zertifiziert nach ISO 9001 und ISO 14001.

Das projektdurchführende Unternehmen, die Bix Beschichtungen GmbH, wurde mit Gesellschaftsvertrag vom 31.10.2013 gegründet. Leistungsspektrum des neu gegründeten Unternehmens sind Chromeffektlackierungen, mit dem sich Echtchromoberflächen in verschiedensten Effekten nachbilden (z.B. VW/Audi 3Q7 & L-BT5, Daimler Silver Shadow, BMW Perlglanz, Porsche Alushine) lassen.

Bei der Behandlung von metallischen und nichtmetallischen Oberflächen durch chemische und elektrochemische Verfahren unterscheidet man grundsätzlich drei Basisverfahren:

- Schichtabtragende Verfahren wie das Beizen oder Brennen
- Schichtauftragende Verfahren wie die galvanische und chemische Abscheidung von Metallen und Metalllegierungen
- Schichtumwandelnde Verfahren wie das Anodisieren, Chromatieren oder Phosphatieren

Der Arbeitsablauf ist bei allen Verfahren vom Prinzip her identisch. Dem prozessbestimmenden Arbeitsschritt geht immer eine Vorbehandlung voraus; in der Regel schließt sich eine Nachbehandlung an. Bei allen Verfahren werden die Werkstücke im Verlauf des Prozesses nacheinander mit verschiedenen Prozesslösungen behandelt.¹

Ziel des Vorhabens

Die Bix Beschichtungen GmbH plante den erstmaligen großtechnischen Einsatz eines innovativen und umweltfreundlichen Verfahrens mit dem Ziel, auf Kunststoffsubstrate ein korrosionsbeständiges chromfreies Schichtsystem aufzutragen, das funktionell und optisch identisch ist mit dem galvanischen Verchromen. Durch die neue Kombination von Trockeneisreinigung und Lackierung sollte erstmals eine optisch der Chromschicht gleichwertige, genauso kratzfeste Schicht aufgebaut werden, die jedoch eine wesentlich bessere Korrosionsbeständigkeit aufweist. Die innovative Beschichtung sollte alle Anforderungen, die bislang nur durch galvanische Schichten erreicht wurden, erfüllen.

Die sich aus der Anwendung des neuen Verfahrens ergebenden Umwelteffekte wurden auf Basis einer Durchsatzleistung von ca. 3.000.000 Bauteilen/a, das entspricht ca. 173.000 m²/a Beschichtungsfläche, angegeben und wurden zu den jeweiligen bisher angewendeten Verfahren (galvanische Verchromung bzw. konventionelles Lacksystem) in Beziehung gesetzt.

¹ Aus „Entwurf des deutschen Beitrags zu den besten verfügbaren Techniken bei der „ Behandlung metallischer und nichtmetallischer Oberflächen mit chemischen und elektrochemischen Verfahren“, S. 6.

Innovatives Lacksystem versus galvanische Verchromung:

- Oberflächen, welche mit dem Verfahren „Innovatives Lacksystem für Automobil-Chrom-Optik“ erzeugt werden, sind absolut korrosionsbeständig. Korrosionsschäden, welche bei Fahrzeuganbauteilen (bei verchromten Flächen im Aussenbereich) auftreten, sind ausgeschlossen
- Einsparung Schwermetalle (Chrom VI) in Höhe von ca. 4,8 t/a sowie Frisch- und Abwasser in Höhe von ca. 14.700 m³/a (Daten aus BVT Galvanik von 2005, Nr. 8.5.2 Referenzanlage C).

Innovatives Lacksystem versus konventionelle Lackierverfahren:

- Rotationsbürstenverfahren: Es soll der gesamte Wasserverbrauch an drei Lackierkabinen ($3 \cdot 245 \text{ m}^3/\text{a} = 735 \text{ m}^3/\text{a}$) und damit auch der Abwasseranfall im Vergleich zur nassen Abluftreinigung sowie ($3 \cdot 5,1 \text{ t/a} = 15,3 \text{ t/a}$) Chemikalien vermieden werden.
- Einsparung von ($3 \cdot 17.922 \text{ kg} = 53.766 \text{ kg/a}$) Sondermüll (Lackschlamm, Wasser, Chemikaliengemisch / Abfallschlüsselnummer 080116).
- Lackaufbau: Die Basecoatschicht hat bei den meisten Lacksystemen eine Schichtdicke von 15 – 20 µm. Das neue Reflexion-System nutzt eine Basecoatschicht von lediglich 2 µm, bei ansonsten gleichem Aufbau. Es errechnet sich bei den Standard-Systemen eine Basecoatmasse von 14,55 [g/m²], bei dem Reflexion System von 1,94 [g/m²], das entspricht einer Reduzierung von 86 %. Durch die Reduzierung der Basecoatschicht auf dem Bauteil wird ebenfalls die Menge des verwendeten flüssigen Lackmaterials Standard System 116,4 [g/m²] versus Reflexion System 77,6 [g/m²] = 38,8 [g/m²], entsprechend 33 %, vermindert. Bei geschätzten 3.000.000 Bauteilen/a (das entspricht ca. 173.000 m²/a) werden im Vergleich somit 6,71 t/a Lackmaterial eingespart ($38,8 \text{ [g/m}^2] \cdot 173.000 \text{ m}^2/\text{a}$).
- Energieeinsparung: Anlagendurchsatz 20 m²/h für beide Anlagentypen: Im Rahmen des dargestellten Vergleichs (konventionell 42,2 kWh/m² versus Galvano Optik 25,1 kWh/m²) ergibt sich ein Energieeinsparpotenzial von 19,9 kWh/m² im Vergleich zum Energiebedarf Kunststoff verchromt. Bei 20 m² pro Stunde und 6.000 Betriebsstunden im Jahr bei der Firma Bix Beschichtung GmbH beträgt das Einsparpotenzial 2.388.000 kWh/a.
- Innovatives Lacksystem im Vergleich zu einem handelsüblichen lösemittelhaltigen Lacksystem: Obwohl der Lösemittelanteil im innovativen Lacksystem höher ist, kann durch den wesentlich geringeren Einsatz ein beachtlicher Lösemittelanteil von 66 % reduziert werden (Reduzierung um 20.671 l/a von 31.725 l/a bei Nutzung eines herkömmlichen lösemittelhaltigen Basislackes auf 11.054 l/a bei Basislack für das innovatives Lacksystem).
- Die aufgetragenen Lackschichten sind so dünn, dass Kunststoffteile ohne Beeinträchtigung thermisch wiederverwertet werden können.

Technische Lösung

Zur Erreichung der beschriebenen Ziele ist nachfolgend in Abbildung 1 der Aufbau der Reinigungs- und Beschichtungsanlage schematisch dargestellt.

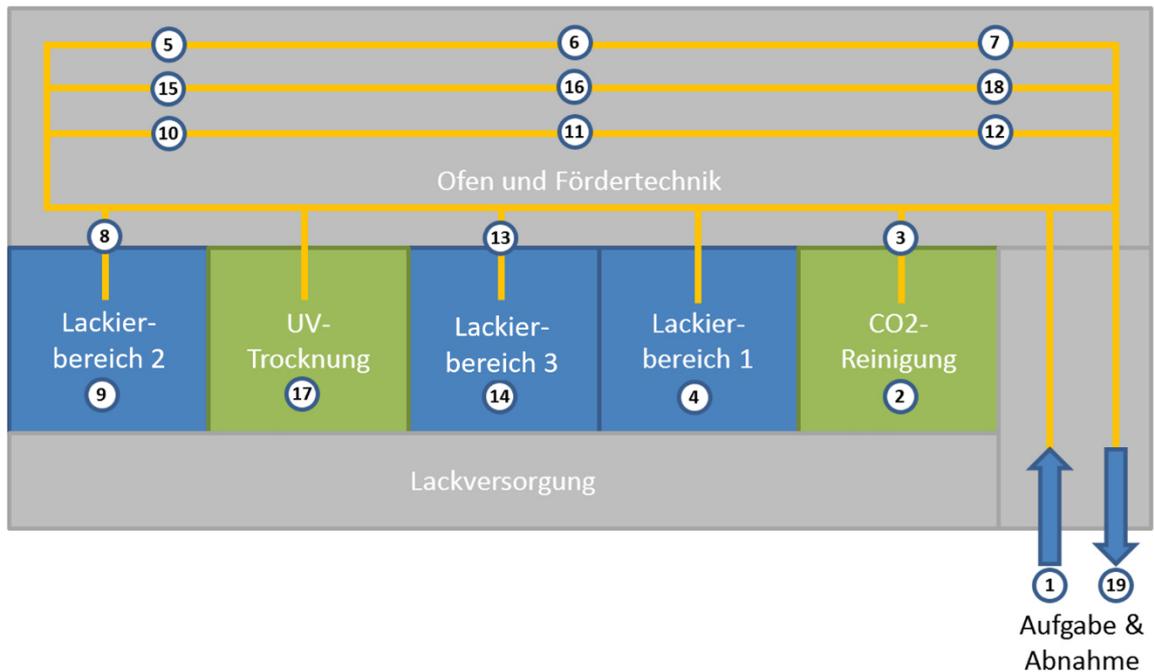


Abbildung 1: Schematische Kurzdarstellung des Anlagenkonzepts²

Entsprechend der eingearbeiteten Nummerierungen im Aufstellplan ist der Ablauf wie folgt vorgesehen:

Verfahren	Verweildauer
1. Manuelle Aufgabe der Teile	
2. CO ₂ Reinigen	180 s
3. Ionisieren	Im Durchlauf
4. Spritzlackieren I Grundlack (Primer)	ca. 180 s
5. Abdunsten I	10-15 min
6. Lacktrocknen I	45 min
7. Abkühlen I	15 min
8. Ionisieren	Im Durchlauf
9. Spritzlackieren II Basislack (Base Coat)	ca. 180 s
10. Abdunsten II	1-15 min variabel einstellbar
11. Lacktrocknen II	30 min
12. Kühlen II	15 min
13. Ionisieren	Im Durchlauf
14. Spritzlackieren III Klarlack (Clear Coat)	ca. 180 s
15. Abdunsten III	10-15 min
16. Lacktrocknen III	30-45 min
17. UV-Lacktrocknen	Im Durchlauf
18. Kühlen	15 min
19. Manuelle Abnahme der Teile	

² Die Abbildung gibt den tatsächlichen Aufbau der Anlage wieder. Der Lackierbereich 2 ist an der angegebenen Stelle aufgrund der Nähe zum Trockner angebracht.

Ergebnisse aus technischer und wirtschaftlicher Sicht und hinsichtlich Umweltentlastung

	Konventionelles Lackierverfahren	Innovatives Lackierverfahren Abschätzung bei Antragstellung (Soll)	Innovatives Lackierverfahren Tatsächlicher Verbrauch gem. Messprogramm (Ist)	Abweichung Soll/Ist (%)
Lackverbrauch [g/m ²] ³	116,40	77,60	118,81	+ 53,11
Lösemittel [ml/m ²] ⁴	180	64	187	+ 92,19
Basecoatmasse [g/m ²] ⁵	14,55	1,94	3,04	+ 56,70
Overspray [g/m ²]	-	-	1,2 ⁶	

Tabelle 1: Messergebnisse Lackverbrauch (Basecoatmasse)

	Konvent. Lackierverfahren	Innov. Lackierverfahren Abschätzung bei Antragstellung (Soll)	Innov. Lackierverfahren Tatsächlicher Verbrauch gem. Messprogramm (Ist)	Abweichung Soll/Ist (%)
Stromverbrauch (kWh/m²)	27,2	16,8	7,77	-46,26
Erdgasverbrauch Lackierung	15	8,25	4,81	-37,60
Erdgasverbrauch RNV (kWh/m ²)	0	0	3,97	+100,00
Erdgasverbrauch Gesamt	15	8,25	8,78	+6,00
Gesamtenergieverbrauch	42,2	25,1	16,55	-34,10

Tabelle 2: Messergebnisse Energieeinsparung

Die Messergebnisse des Lackverbrauches sind auf anähernd gleichem Niveau wie im herkömmlichen Lackierverfahren und bleiben somit unter den bei Antragstellung erwarteten Zielvorstellungen, die Messergebnisse der Energieeinsparung liegen dagegen über den bei Antragstellung abgeschätzten Zielen. Im Ergebnis reduziert sich der jährliche spezifische Gesamtenergieverbrauch im Vergleich zum herkömmlichen Lackierverfahren um 25,65 kWh/m² auf 16,55 kWh/m² (um 60%). Bezogen auf die Energieeinsparung wird eine CO₂-Einsparung von 2.217 t/a CO₂ realisiert.

Bei der im nachfolgenden dargestellten Material- und Energiekosteneinsparung ergibt sich ein Kapitalrückfluss nach 4 Jahren.

³ Lieferform des Lackes inkl. Bindemittel, Pigment und Lösemittel.

⁴ Summe aller im verarbeitungsfähigen Lack enthaltenen Lösemittel.

⁵ Festkörperanteile (Bindemittel und Pigment) die im Lack enthalten sind.

⁶ Der Verbrauch an Overspray (g/m²) wurde bei Antragstellung nicht abgeschätzt, aber im Messprogramm ermittelt.

Die tatsächlichen Kosten für das Vorhaben betragen 5.695.529,23 €.

Übertragbarkeit / Maßnahmen zur Verbreitung der Projektergebnisse

Neu bei dem innovativen und umweltfreundlichen Lacksystemverfahren ist, dass die optische Erscheinung und die Beständigkeit einer galvanisch aufgetragenen Chromschicht ausschließlich mit Lackschichten erreicht werden können.

Durch die Anwendung des innovativen-Verfahrens auf größere Bauteile werden z.T. völlig neue Anwendungsmöglichkeiten erschlossen:

- Ausweitung im Bereich Automobil, Zierteile wie Dachreling, Kühlergrill
- Beschläge
- Leuchten etc.

So werden fertigungs- und designtechnisch neue Dimensionen erschlossen, die sich für Hersteller und Endverbraucher vorteilhaft auswirken und durch andere Materialien nicht erzielt werden können: Verzicht auf Chrom, Gewichtsreduzierung durch andere Substrate (Kunststoff statt Stahl oder Aluminium). Unser Vorhaben bietet somit eine Übertragbarkeit auf andere und größere Bauteile für den Automobilbereich als auch auf andere Branchen und Produkte.

Durch den Bau einer ersten Serienlackieranlage, die auf die Beschichtung der Chrom-Optik spezialisiert ist, konnte das Verfahren in ersten Schritten am Markt etabliert werden. Die Anzahl an Anfragen und an laufenden Projekten steigt zurzeit kontinuierlich an. Zur Aufrechterhaltung der Kapazitäten am Markt, beschäftigt sich die Fa. Bix Lackierungen daher bereits mit Planungen zur Realisierung einer weiteren Lackieranlage. Auf Grund der großen Nachfrage innerhalb eines großen Marktes, ist es wünschenswert, wenn auch weitere Mitbewerber sich zu diesem Schritt entschließen und damit eine große Marktdurchdringung mit der Galvanik-Optik erzielt werden kann.

Als direkte Anwender dieser technischen Innovation kommen in Deutschland ca. 5-10 Mitbewerber aus dem Bereich der Automobilindustrie mit vergleichbaren Angebotspektren in Frage.

Summary

Initial Situation

Bix Lackierungen GmbH is a medium-sized surface refiner from Meßkirch in Baden-Württemberg, which has been a specialist in high quality surfacing for over 125 years. The company group consists of the companies: Bix Lackierungen GmbH, Lothar Bix GmbH and Bix Beschichtungen GmbH. All companies are certified according to ISO 9001 and ISO 14001.

The company conducting the project „Bix Beschichtungen GmbH“, was founded on 31.10.2013 with articles of association. The service range of the newly founded company include chrome-effect lacquering in which genuine chrome surfaces reproduce various effects (e.g. VW/Audi 3Q7 & L-BT5, Daimler Silver Shadow, BMW Perlglanz, Porsche Alushine).

For the treatment of metallic and non-metallic surfaces through chemical and electro-chemical processes, 3 basis procedures can essentially be differentiated between:

- Layer ablation procedure such as staining or burning
- Layering procedure such as galvanic and chemical separation of metals and metal alloys
- Layering transformation procedure such as anodizing, chroming or phosphating

The workflow is in principle identical for all procedures. The process-determining work step is always preceded by a pre-treatment; as a rule of thumb, a post-treatment also occurs. In all procedures, the work pieces are treated with various process solutions during the procedure.⁷

Aim of the Project

With the application of an innovative and environmentally-friendly procedure for the first time on an industrial scale, Bix Beschichtungen GmbH aimed to apply a corrosion-resistant, chrome-free layering system to plastic substrates which is identical to galvanised chroming both functionally and optically. Through the new combination of dry-ice cleaning and lacquering, a layer was to be formed which optically was just as high quality as a chrome layer but was also equally as scratch-resistant. Furthermore, the layer exhibited incredible corrosion-resistance. The innovative coating should have been able to fulfil all optical requirement and automotive specification, up to that point in time, had only been possible with galvanized layers.

The environmental effects resulting from the application of the new procedure were based on an output of approx. 3,000,000 parts per year, which corresponds to 173,000 m²/pa of coating surfaces and was compared to the previously applied procedure (galvanized chroming or conventional lacquering system).

⁷ Taken from „Draft of the German contribution to the best available technologies „ for the „treatment of metallic and non-metallic surfaces with chemical and electro-chemical procedures“ P.6

Innovative Lacquering System versus Galvanic Chroming:

- Surfaces, which have been produced using the „innovative lacquering system for automobile chrome-look“ procedure are completely corrosion-resistant. Corrosion damage, which occurs on vehicle parts, is no longer possible (in the case of chromed surfaces on the outside of the vehicle).
- Savings on heavy metals (Chrom VI) to the amount of approx. 4.8 t/pa as well as on fresh and waste water to the amount of approx. 14,700 m³/pa (data from BVT Galvanik from 2005, No. 8.5.2 Reference index C).

Innovative Lacquering System versus Conventional Lacquering Procedure:

- Rotating-Brush Procedure: the total water consumption should occur in 3 lacquering cabinets (3*245 m³/pa = 735 m³/pa) and through this, the amount of waste water (in contrast to the wet exhaust air treatment process) and the chemical application should be avoided (3*5,1 t/pa = 15.3 t/pa).
- Savings of (3*17,922 kg = 53,766 kg/pa) hazardous waste (lacquer sludge, water, chemical composites / waste code number 080116).
- Lacquer application: the base coating layer normally has a thickness of between 15 – 20 µm in the majority of lacquering systems. The new reflection system uses a base coating layer of just 2 µm, with the same level of application. With a standard system, a base coating amount of 14.55 [g/m²], and with the reflection system of 1.94 [g/m²] can be calculated which means an 86 % reduction. Through the reduction of the base coating layer on the components, additionally the amount of liquid lacquer materials applied in the standard system is 116.4 [g/m²] compared to the reflection system- 77.6 [g/m²] = 38.8 [g/m²], which corresponds to a reduction of 33 %. With around 3,000,000 components/a (corresponding to approx. 173,000 m²/pa) this results in a saving of 6.71 t/a of lacquer material (38.8 [g/m²] * 173,000 m²/a).
- Energy savings: system output 20 m²/h for both system types: within the scope of the illustrated comparison (conventional 42.2 kWh/m² versus „Galvanic-Look“ 25.1 kWh/m²) there is energy saving potential of 19.9 kWh/m² in comparison with the energy requirement for plastic chroming. In the case of 20 m² per hour and 6,000 operating hours per year, the savings potential at Bix Beschichtung GmbH amounts to 2,388,000 kWh/a.
- Innovative lacquering system in comparison with a standard, solvent-based lacquering system: Although the amount of solvents in the innovative lacquering system is higher, through the considerably reduced application, a noticeable reduction in the amount of solvents (66%) can be observed. (Reduction by 20,671 l/a from 31,725 l/a in the application of a conventional solvent-based base lacquer to just 11,054 l/a of base lacquer for the innovative lacquering system).
- The applied lacquer layers are so thin that plastic parts can be thermally recycled without any impairments.

Technical Solution

In order to achieve the described aim, diagram 2 on the next page illustrates the schematic construction of the cleaning and coating systems.

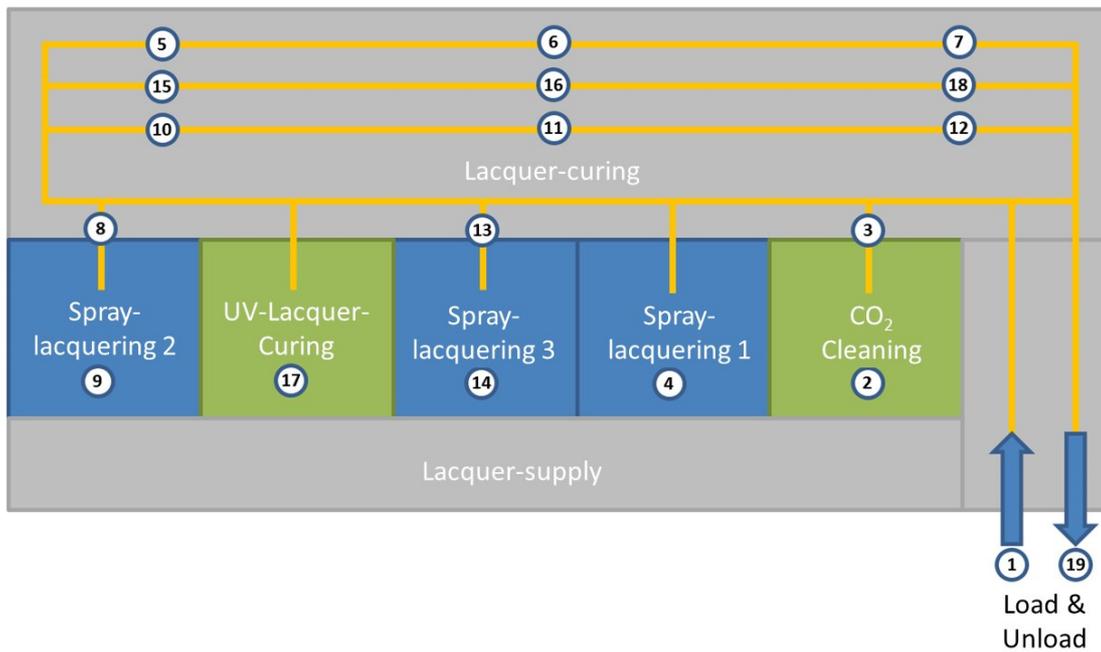


Figure 2: Schematic Illustration of the System Concept⁸

The following correspond to the displayed numbers in the diagram:

Procedure	Duration
1. Manual function of the part	
2. CO ₂ cleaning	180 s
3. Ionizing	Throughfeed
4. Spray-lacquering I Primer	approx. 180 s
5. Vaporizing I	10-15 min
6. Lacquer-curing I	45 min
7. Cooling I	15 min
8. Ionizing	Throughfeed
9. Spray-lacquering II Base coat	approx. 180 s
10. Vaporizing II	1-15 min variably adjustable
11. Lacquer-curing II	30 min
12. Cooling II	15 min
13. Ionizing	Throughfeed
14. Spray-lacquering III Clear coat	approx. 180 s
15. Vaporizing III	10-15 min
16. Lacquer-curing III	30-45 min
17. UV-Lacquer-curing	Throughfeed
18. Cooling	15 min
19. Manual inspection of the part	

⁸ The illustration shows the real installation of the system concept. The spray-lacquering 2 is situated on this position because of the short way to the vaporizing

Results from a technical and economic perspective and the environmental benefit

	Conventional Lacquering Procedure	Innovative Lacquering Procedure Estimation at the time of application (Target)	Innovative Lacquering Procedure Actual consumption according to the measurement programme (Actual)	Deviation Target/Actual (%)
Lacquer Consumption [g/m ²] ⁹	116.40	77.60	118.81	+ 53.11
Solvents [ml/m ²] ¹⁰	180	64	187	+ 92.19
Base coat amount [g/m ²] ¹¹	14.55	1.94	3.04	+ 56.70
Overspray [g/m ²]	-	-	1.2 ¹²	

Table 3: Measured results on lacquer consumption (Base coat amount)

	Conventional Lacquering Procedure	Innovative Lacquering Procedure Estimation at the time of Application (Target)	Innovative Lacquering Procedure Actual consumption according to the measurement programme (Actual)	Deviation Target/Actual (%)
Electricity consumption	27.2	16.8	7.77	-46.26
Natural gas consumption lacquer	15	8.25	4.81	-37.60
Natural gas consumption RNV	0	0	3.97	+100.00
Natural gas consumption total	15	8.25	8.78	+6.00
Total energy	42.2	25.1	16.55	-34.10

Table 4: Measured results on energy savings

Through this, we can observe that the measured results of the lacquer consumption (base coat amounts) are below the expected targets at the time of the application. However, the energy savings are above the estimated targets at the time of application.

⁹ Form of delivery inclusive medium, pigment and solvents.

¹⁰ Amount of all solvents in the workable lacquer consumption.

¹¹ Solids content (solvents and pigment) which are contained in the lacquer consumption.

¹² The consumption of „Overspray“ (g/m²) was not estimated at the time of the application, but was examined in the measurement programme.

In the following illustration of material and energy cost savings, a capital reflux is achieved after 4 years. The actual cost for the project amounted to € 5,695,529.23.

Transferability / Measures to distribute the project's results

With the innovative and environmentally-friendly lacquer system procedure, the optical appearance and the resistance of galvanically applied chrome layer have been achieved for the first time exclusively with lacquer coats.

Through the application of the innovative procedure on larger components, completely new application areas have been discovered:

- Further extension in the automobile field, body trims such as roof luggage rails, radiator grills
- Metal fittings
- Lights etc.

Through this, new dimensions in both production and design will be facilitated which will provide benefits for manufacturers as well as end users and which will not be achievable with other materials: omission of chrome, weight reductions via other substrates (plastic as opposed to steel or aluminium). Our projects provide transferability to other and larger components in the automotive sector as well as other industries and products.

Via the construction of a series production lacquer system which is specialized in chrome-look coatings, the procedure has been able to establish itself in the market as an initial step. The number of enquiries and current projects is increasing constantly. In order to maintain the market capacity, the Bix family have already begun to plan a further painting line. Due to the heavy demand from a large market, it is desirable that other competitors decide to pursue these steps and therefore achieve better market penetration with the galvanic-look.

As a direct user of this technical innovation, 5-10 competitors from the automobile sector with comparable products come into consideration in Germany.

Inhaltsverzeichnis

Berichts-Kennblatt	2
Report Data Sheet	4
Kurzfassung.....	6
Summary	12
Abbildungsverzeichnis	19
Tabellenverzeichnis	21
1. Einleitung	22
1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens.....	22
1.2 Ausgangssituation	22
2. Vorhabensumsetzung	24
2.1 Ziel des Vorhabens.....	24
2.2 Darstellung der technischen Lösung (Auslegung und Leistungsdaten) ..	25
2.3 Darstellung der Umsetzung des Vorhabens	28
2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)	32
2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten	32
3. Ergebnisse	34
3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung.....	34
3.2 Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms.....	43
3.2.1 Rohdaten und Messungen.....	43
3.2.2 Absolute und spezifische Messergebnisse	53
3.3 Umweltbilanz	54
3.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse.....	58
3.5 Technischer Vergleich zu konventionellem Verfahren	60
4. Empfehlungen.....	64
4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung	64

4.2	Modellcharakter	64
4.3	Zusammenfassung	65

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Kurzdarstellung des Anlagenkonzepts	9
Figure 2: Schematic Illustration of the System Concept	14
Abbildung 3: Produktionsgebäude am Standort Meßkirch, Veritasring 6 (Frontansicht, Foto von Oktober 2016).....	23
Abbildung 4: Produktionsgebäude am Standort Meßkirch, Veritasring 6 (Rückansicht, Foto von Oktober 2016).....	23
Abbildung 5: Schematische Kurzdarstellung der Reinigungs- und Beschichtungsanlage	26
Abbildung 6: Trockeneispistole mit Warenträger (Foto vom 18.09.2015).....	29
Abbildung 7: Trockeneispellets (Foto vom 18.09.2015).....	29
Abbildung 8: Anlieferung und Start der Aufbauarbeiten Lackieranlage (Foto vom 19.08.2014)	29
Abbildung 9: Aufbauarbeiten zur Lackieranlage (Foto vom 22.08.2014).....	30
Abbildung 10: Foto aus der Bauphase der Lackieranlage (Foto vom 19.09.2014).....	30
Abbildung 11: Einbau der Lüftungstechnik in die Lackieranlage (Foto vom 16.10.2014)	30
Abbildung 12: Einbauarbeiten zur Fördertechnik der Lackieranlage (Foto vom 23.10.2014)	31
Abbildung 13: Anlieferung der RNV (Foto vom 11.02.2015).....	31
Abbildung 14: Aufgebaute RNV-Anlage (Foto vom 20.08.2015)	32
Abbildung 15: Lackierkabinen nach Abschluss der Aufbauarbeiten (Foto vom 20.08.2015)	32
Abbildung 16: Auffangbehälter Trockeneisdüse (Foto vom 07.09.2015).....	35
Abbildung 17: Abbildung der Bürsten (Foto vom 07.09.2015).....	37
Abbildung 18: Eintauchtiefe der Abrakelvorrichtung in die Bürsten (Foto vom 07.09.2015)	37
Abbildung 19: Mobiles Bürstenreinigungsgerät zum einmaligen Abreinigen der Bürsten in ausgebautem Zustand (Foto vom 07.09.2015)	38
Abbildung 20: Bremse um den Wagen in Position zu halten (Foto vom 07.09.2015)	40
Abbildung 21: Beispiel eines durch die Bremse gehaltenen Wagen (Foto vom 07.09.2015)	40
Abbildung 22: Lackierroboter (Foto vom 12.02.2015).....	41
Abbildung 23: Abbildung der Druckluftversorgungsstation (Foto vom 07.09.2015)	42
Abbildung 24: Grundträger mit bestückten Teilen.....	44

Abbildung 25: Lackablagerung im Abluftkanal (links) und Abluftventilator (rechts)	48
Abbildung 26: Oberflächenoptik mit Wolkenbildung (links) und wolkenfreie Oberflächenoptik (rechts)	56
Abbildung 27: Vergleich galvanisch erzeugte Lenkradzierblende für die Automarke Volvo links und über innovatives Lacksystem erzeugte Blende rechts	62
Abbildung 28: Sicherheitsdatenblatt der Firma Berlac.....	63

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Messergebnisse Lackverbrauch (Basecoatmasse).....	10
Tabelle 2: Messergebnisse Energieeinsparung.....	10
Table 3: Measured results on lacquer consumption (Base coat amount).....	15
Table 4: Measured results on energy savings	15
Tabelle 5: Projektplan.....	28
Tabelle 6: Teilvorhaben	28
Tabelle 7: Messstellen, -medien und –parameter.....	34
Tabelle 8: Anlagenauslastung mit Chrom-Optik	43
Tabelle 9: Lackierte Fläche in m ²	44
Tabelle 10: Umsatz in €.....	45
Tabelle 11: Lackverbrauch in den Lackierkabinen.....	45
Tabelle 12: Lagerbewegungsdaten August 2016	46
Tabelle 13: Lösemittelanteile	46
Tabelle 14: Gesamt Lösemittelanteil	47
Tabelle 15: Ausschuss	47
Tabelle 16: Overspray	49
Tabelle 17: Energieverbrauch: Strom.....	49
Tabelle 18: Energieverbrauch bezogen auf Chrom-Optik: Strom	50
Tabelle 19: Energieverbrauch: Gas	50
Tabelle 20: Energieverbrauch bezogen auf Chrom-Optik: Gas	51
Tabelle 21: Messung des Kohlenstoffgehalts in der Abluft	51
Tabelle 22: Messung des Kohlenstoffgehalts in der Abluft am 24.05.2016	52
Tabelle 23: Messung des Kohlenstoffgehalts in der Abluft am 26.07.2016	52
Tabelle 24: Spezifische Messwerte	53
Tabelle 25: Hochgerechneter Jahresverbrauch bei einer Fläche von 173.000 m ² /a.....	54
Tabelle 26: Messergebnisse Lackverbrauch (Basecoatmasse).....	55
Tabelle 27: Messergebnisse Energieeinsparung.....	57
Tabelle 28: Amortisationsrechnung nach Erfolgskontrolle des Projektes ohne Berücksichtigung des gewährten Zuschusses.....	59
Tabelle 29: Amortisationsrechnung nach Erfolgskontrolle des Projektes unter Berücksichtigung des gewährten Zuschusses.....	60

1. Einleitung

1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens

Bix Lackierungen GmbH ist ein mittelständischer Oberflächenveredeler aus Meßkirch in Baden-Württemberg. Mit mehr als 250 Mitarbeitern sind wir seit über 125 Jahren auf hochwertige Beschichtungen spezialisiert. Wir verstehen uns als innovativer Lieferant von qualitativ hochwertigen und individuellen Beschichtungen für industrielle Groß- und Kleinserien. Die Unternehmensgruppe besteht aus den Unternehmen Bix Lackierungen GmbH, Lothar Bix GmbH und der Bix Beschichtungen GmbH. Alle Gesellschaften sind zertifiziert nach ISO 9001 und ISO 14001.

Das projektdurchführende Unternehmen, die Bix Beschichtungen GmbH, wurde mit Gesellschaftsvertrag vom 31.10.2013 gegründet. Leistungsspektrum des neu gegründeten Unternehmens sind Chromeffektlackierungen, mit dem sich Echtchromoberflächen in verschiedensten Effekten nachbilden (z.B. VW/Audi 3Q7 & L-BT5, Daimler Silver Shadow, BMW Perlglanz, Porsche Alushine) lassen.

Der Lackaufbau kann u.a. auf Polycarbonat (PC), Polymethylmethacrylat (PMMA), Acrylnitril-Butadien-Styrol-Polycarbonat (ABS-PC), Polypropylen/Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk (PP/EPDM) und Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) erfolgen und macht somit den teuren Einsatz von Galvano-ABS und Mehrkomponentenwerkzeugen überflüssig. Weitere Vorteile sind der Entfall von Korrosions- und Versprödungseffekten. Der Einsatz ist für Interieur und Exterieur nach Automobilstandards geprüft und freigegeben (z.B. TL 211, dies ist eine Bezeichnung für eine VW Spezifikation im Außenbereich).

Chromeffektlackierungen bieten somit eine attraktive und umweltschonende Alternative zum herkömmlichen Verchromen mit Chrom VI.

1.2 Ausgangssituation

Die Branche der Oberflächentechnik ist in Deutschland ein erheblicher wirtschaftlicher Faktor; sie gilt als Schlüsseltechnologie für viele andere Industriebereiche (z.B. Elektro- u. Automobilindustrie). Mehr als 3.000 galvanotechnische Betriebe, Zulieferer und Dienstleistungsunternehmen mit ca. 100.000 Mitarbeitern erwirtschaften einen Jahresumsatz von 4 Mrd. €. Ökonomen schätzen, dass die galvanische Oberflächenveredelung allein in Deutschland jährlich Korrosions- und Verschleißschäden in Höhe von 20 – 40 Mrd. € verhindert.¹³

Bei der Behandlung von metallischen und nichtmetallischen Oberflächen durch chemische und elektrochemische Verfahren unterscheidet man bisher grundsätzlich drei Basisverfahren:

- Schichtabtragende Verfahren wie das Beizen oder Brennen
- Schichtauftragende Verfahren wie die galvanische und chemische Abscheidung von Metallen und Metalllegierungen
- Schichtumwandelnde Verfahren wie das Anodisieren, Chromatieren oder Phosphatieren

¹³ Aus „Entwurf des deutschen Beitrags zu den besten verfügbaren Techniken bei der „ Behandlung metallischer und nichtmetallischer Oberflächen mit chemischen und elektrochemischen Verfahren“, S. 5.

Der Arbeitsablauf ist bei all diesen Verfahren vom Prinzip her identisch. Dem prozessbestimmenden Arbeitsschritt geht immer eine Vorbehandlung voraus; in der Regel schließt sich eine Nachbehandlung an. Bei allen Verfahren werden die Werkstücke im Verlauf des Prozesses nacheinander mit verschiedenen Prozesslösungen behandelt.¹⁴

Das hier vorgestellte innovative Lackierverfahren wurde von der Lothar Bix GmbH entwickelt. Für die Bix Beschichtungen GmbH wurde in Messkirch ein neues Industriegrundstück erschlossen auf dem das Projekt zur innovativen Beschichtung in Automobil-Chrom-Optik realisiert werden sollte. Im Zuge der Vorhabensumsetzung sollten ca. 25-30 Arbeitsplätze neu geschaffen werden, wovon aktuell bereits 23 Mitarbeiter eingestellt sind. Bix Beschichtungen ist ein Oberflächenveredeler und auf hochwertige Lackierungen für industrielle Groß- und Kleinserien spezialisiert. Wir arbeiten hierzu eng mit unseren Kunden und Partnern zusammen, um innovative Lösungen zu entwickeln und diese nachhaltig und effizient umzusetzen. Die Hauptumsatz- und Innovationsschwerpunkte liegen zur Zeit in der Lackierung von UV aushärtenden Lacksystemen und von Chromeffektbeschichtungen. Auf den nachfolgenden Abbildungen 3 und 4 sind das Unternehmensgelände am Standort abgebildet.



Abbildung 3: Produktionsgebäude am Standort Meßkirch, Veritasring 6 (Frontansicht, Foto von Oktober 2016)



Abbildung 4: Produktionsgebäude am Standort Meßkirch, Veritasring 6 (Rückansicht, Foto von Oktober 2016)

¹⁴ Aus „Entwurf des deutschen Beitrags zu den besten verfügbaren Techniken bei der „Behandlung metallischer und nichtmetallischer Oberflächen mit chemischen und elektrochemischen Verfahren“, S. 6.

2. Vorhabensumsetzung

2.1 Ziel des Vorhabens

Die Bix Beschichtungen GmbH plante den erstmaligen großtechnischen Einsatz eines innovativen und umweltfreundlichen Verfahrens mit dem Ziel, auf Kunststoffsubstrate ein korrosionsbeständiges chromfreies Schichtsystem aufzutragen, das funktionell und optisch identisch ist mit dem galvanischen Verchromen. Durch die neue Kombination von Trockeneisreinigung und Lackierung sollte erstmals eine optisch der Chromschicht gleichwertige, genauso kratzfeste Schicht aufgebaut werden, die jedoch eine wesentlich bessere Korrosionsbeständigkeit aufweist. Die innovative Beschichtung sollte alle Anforderungen, die bislang nur durch galvanische Schichten erreicht wurden, erfüllen.

Im Vorfeld der Idee wurden über einen Zeitraum von zwei Jahren mit dem Anlagenbauer Rippert Anlagentechnik, dem Lackhersteller Berlac und der Lothar Bix GmbH Vorversuche getätigt und auf einer Pilotanlage Musterserien gefertigt. Erste Freigabeerklärungen bekannter Automobilhersteller aus dem Hochpreissegment lagen vor.

Das oben beschriebene „Innovative Lacksystem für Automobil-Chrom-Optik“ steht damit in direkter Konkurrenz zur galvanischen Verchromung und soll diese langfristig ersetzen. Auch gegenüber konventionellen Lackierverfahren bietet dieses innovative Lacksystem entsprechende Umweltvorteile.

Aufgrund der eingesetzten Materialien und den ausgewählten Techniken ist davon auszugehen, dass die damit verbundenen Umweltauswirkungen geringer sind, als bei den bisherigen gängigen Standardverfahren in der Oberflächentechnik.

Die sich aus der Anwendung des neuen Verfahrens ergebenden Umwelteffekte wurden auf Basis einer Durchsatzleistung von ca. 3.000.000 Bauteilen/a, das entspricht ca. 173.000 m²/a Beschichtungsfläche, angegeben und wurden zu den jeweiligen bisher angewendeten Verfahren (galvanische Verchromung bzw. konventionelles Lacksystem) in Beziehung gesetzt.

Innovatives Lacksystem versus galvanische Verchromung:

- Oberflächen, welche mit dem Verfahren „Innovatives Lacksystem für Automobil-Chrom-Optik“ erzeugt werden, sind absolut korrosionsbeständig. Korrosionsschäden welche bei Fahrzeuganbauteilen (bei verchromten Flächen im Aussenbereich) auftreten sind ausgeschlossen (Beispielrechnung: Bei 800.000 Zierleisten per anno, müssen 10% aufgrund von Korrosionsschäden ausgetauscht werden).
- Einsparung Schwermetalle (Chrom VI) in Höhe von ca. 4,8 t/a sowie Frisch- und Abwasser in Höhe von ca. 14.700 m³/a (Daten aus BVT Galvanik von 2005, Nr. 8.5.2 Referenzanlage C).

Innovatives Lacksystem versus konventionelle Lackierverfahren:

- Rotationsbürstenverfahren: Es soll der gesamte Wasserverbrauch an drei Lackierkabinen ($3 \cdot 245 \text{ m}^3/\text{a} = 735 \text{ m}^3/\text{a}$) und damit auch der Abwasseranfall im Vergleich zur nassen Abluftreinigung sowie ($3 \cdot 5,1 \text{ t/a} = 15,3 \text{ t/a}$) Chemikalien vermieden werden.
- Einsparung von ($3 \cdot 17.922 \text{ kg} = 53.766 \text{ kg/a}$) Sondermüll (Lackschlamm, Wasser, Chemikaliengemisch / Abfallschlüsselnummer 080116).
- Lackaufbau: Die Basecoatschicht hat bei den meisten Lacksystemen eine Schichtdicke von 15 – 20 µm. Das neue Reflexion-System in Galvano-Optik nutzt eine Basecoatschicht

von lediglich 2 µm, bei ansonsten gleichem Aufbau. Es errechnet sich bei den Standard-Systemen eine Basecoatmasse von 14,55 [g/m²], bei dem Reflexion System von 1,94 [g/m²], das entspricht einer Reduzierung von 86 %. Durch die Reduzierung der Basecoatschicht auf dem Bauteil wird ebenfalls die Menge des verwendeten flüssigen Lackmaterials Standard System 116,4 [g/m²] versus Reflexion System in Galvano-Optik 77,6 [g/m²] = 38,8 [g/m²], entsprechend 33 %, vermindert. Bei geschätzten 3.000.000 Bauteilen/a (das entspricht ca. 173.000 m²/a) werden im Vergleich somit 6,71 t/a Lackmaterial eingespart (38,8 [g/m²] * 173.000 m²/a).

- Energieeinsparung: Anlagendurchsatz 20 m²/h für beide Anlagentypen: Im Rahmen des dargestellten Vergleichs (konventionell 42,2 kWh/m² versus Reflexion-System in Galvano Optik 25,1 kWh/m²) ergibt sich ein Energieeinsparpotenzial von 19,9 kWh/m² im Vergleich zum Energiebedarf Kunststoff verchromt. Bei 20 m² pro Stunde und 6.000 Betriebsstunden im Jahr bei der Firma Bix Beschichtung GmbH beträgt das Einsparpotenzial 2.388.000 kWh/a.
- Innovatives Lacksystem im Vergleich zu einem handelsüblichen lösemittelhaltigen Lacksystem: Obwohl der Lösemittelanteil im innovativen Lacksystem höher ist, kann durch den wesentlich geringeren Einsatz ein beachtlicher Lösemittelanteil von 66 % reduziert werden (Reduzierung um 20.671 l/a von 31.725 l/a bei Nutzung eines herkömmlichen lösemittelhaltigen Basislackes auf 11.054 l/a bei Basislack für das innovatives Lacksystem).
- Die aufgetragenen Lackschichten sind so dünn, dass Kunststoffteile ohne Beeinträchtigung thermisch wiederverwertet werden können.

2.2 Darstellung der technischen Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

Der Aufbau der Reinigungs- und Beschichtungsanlage wird in der nachfolgenden Abbildung 5 dargestellt.

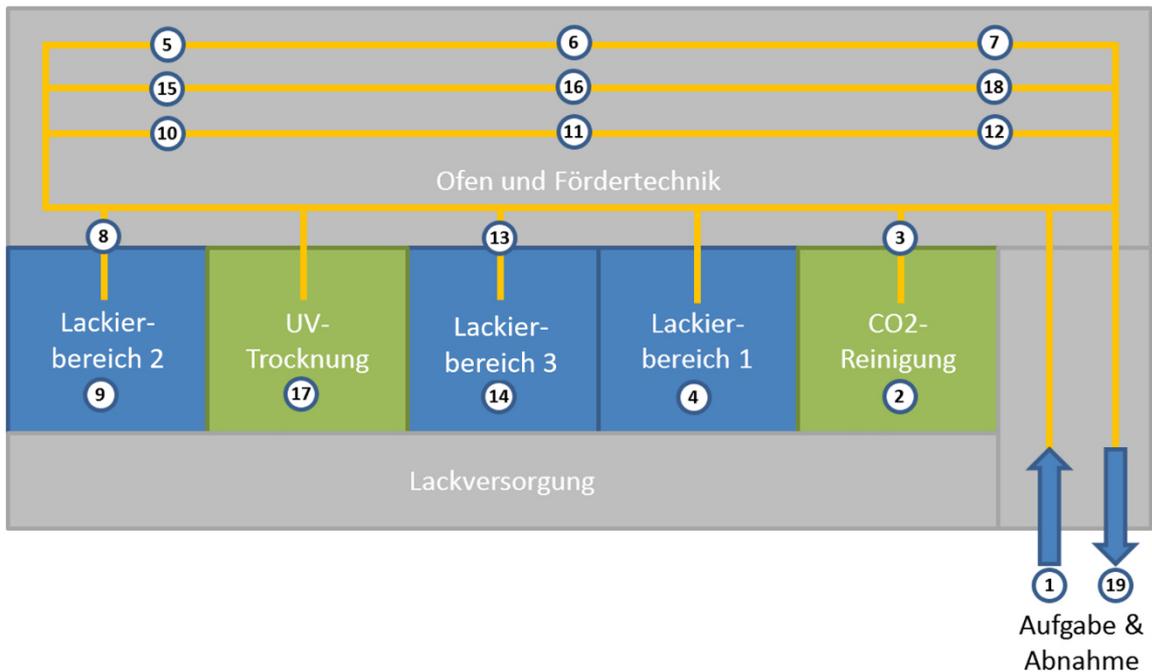


Abbildung 5: Schematische Kurzdarstellung der Reinigungs- und Beschichtungsanlage¹⁵

Entsprechend der eingearbeiteten Nummerierungen im Aufstellplan ist der Ablauf wie folgt vorgesehen:

Verfahren	Verweildauer
1. Manuelle Aufgabe der Teile	
2. CO ₂ Reinigen	180 s
3. Ionisieren	Im Durchlauf
4. Spritzlackieren I Grundlack (Primer)	ca. 180 s
5. Abdunsten I	10-15 min
6. Lacktrocknen I	45 min
7. Abkühlen I	15 min
8. Ionisieren	Im Durchlauf
9. Spritzlackieren II Basislack (Base Coat)	ca. 180 s
10. Abdunsten II	1-15 min variabel einstellbar
11. Lacktrocknen II	30 min
12. Kühlen II	15 min
13. Ionisieren	Im Durchlauf
14. Spritzlackieren III Klarlack (Clear Coat)	ca. 180 s
15. Abdunsten III	10-15 min
16. Lacktrocknen III	30-45 min
17. UV-Lacktrocknen	Im Durchlauf
18. Kühlen	15 min
19. Manuelle Abnahme der Teile	

¹⁵ Die Abbildung gibt den tatsächlichen Aufbau der Anlage wieder. Der Lackierbereich 2 ist an der angegebenen Stelle aufgrund der Nähe zum Trockner angebracht.

Nachfolgend wird der Verfahrensablauf detailliert beschrieben:

1. An einer Aufgabe-/Abgabestation werden die Bauteile auf das Fördersystem übergeben. Mittels Barcodescanner wird dem bestückten Laufwagen die Information für den geplanten Prozessablauf übergeben. Die Anlage ist so in der Lage in einem bunten Mix unterschiedliche Bauteile mit abweichenden Lackierabläufen oder Lackierprogrammen selbständig zu bearbeiten. Im Regelablauf werden die bestückten Warenträger in den mit gefilterter Luft gefluteten Reinraumbereich gebracht.
2. Der erste Prozessschritt ist hier die Teilereinigung. Mittels Trockeneispellets (gefrorenes Kohlenstoffdioxid) werden eventuell anhaftende Verschmutzungen von den zu beschichtenden Kunststoffteilen abgereinigt. Hierbei führt ein Handlingsroboter die Bauteile unter einer starr angebrachten Reinigungsdüse weg. Durch die definierte Luftströmung (laminare Luftströmung von oben nach unten) werden abgelöste Verunreinigungen sofort abgeführt.
3. Die Teile werden über ein Fördersystem zur Übergabestation der ersten Lackierkabine (Grundierungskabine) gebracht. Von hier übernimmt ein Handlingsroboter den Werkstückträger und führt die Werkstücke in den Lackierkabinenbereich. Der Grundlack (**Primer**), bestehend aus Berlac 2-K-PUR Primer, dient zur Haftvermittlung zwischen Kunststoffsubstrat und den folgenden Lackschichten und zur Herstellung einer möglichst gleichmäßigen und glatten Oberfläche. Durch die Kombination zwischen Sechssachs-Handlingsroboter und Sechssachs-Lackierroboter ist es möglich die Bauteile immer in einer für die Lackierung günstigen Position zu halten. Dadurch kann zum einen Lackmaterial eingespart werden, aber auch die Abluftströmung in eine für die geplante Trockenabsaugung optimale Richtung geleitet werden.
4. Nach erfolgter Grundierung übergibt der Handlingsroboter den Werkstückträger wieder an den Förderer und führt sie zur Abdunstung (10-15 minütige Ablüftphase).
5. Die nun grundierten Bauteile werden über das Fördersystem für 30-45 Minuten bei 80°C getrocknet. Da es sich um eine Lackieranlage für drei Lackschichten handelt, erfolgt dieser Prozessschritt noch zweimal (7-16), nur jeweils in einer separaten Kabine für den farbgebenden Basislack (**Base Coat**) bzw. für den später folgenden farblosen Klarlack (**Clear Coat**). Der Basislack, bestehend aus Berlac 2-K-Basislack, sorgt für das chromoptische Aussehen der Beschichtung. Die abschließende Decklackierung, bestehend aus Berlac Abrasions Resist 2-K-Klarlack (Clear Coat), sorgt für den Schutz vor äußeren Einflüssen und die Härte der Beschichtung. Nach erfolgter finaler Trocknung der dritten Lackschicht können die Bauteile wieder aus dem Reinraumbereich ausgeleitet und zur Aufgabe-/Abgabestation geführt werden. Die im Anlagenkonzept dargestellte UV-Trocknung (Nr. 16, Abbildung 5) ist optional und wird für die Chrom-Optiklackierung noch nicht verwendet.

Um die erforderliche Oberflächengüte zu gewährleisten, ist die gesamte Beschichtungsanlage als Reinraumlackieranlage konzipiert. Aufwändige Filtertechnik sorgt für saubere Luftverhältnisse. Über gezielte Luftführungen werden Strömungen erzeugt, welche die Verbreitung von Lacknebel aus der Lackierkabine heraus in angrenzende Zonen verhindert. Um Energie zu sparen werden die klimatisierten Luftströme über unterschiedliche Umluftgeräte im Kreislauf gefahren. Luftströme, welche über Lackierprozesse bzw. Abdunstprozesse mit Lösemitteln angereichert wurden, werden im Teilstrom an eine RNV-Anlage (Regenerative-Nachverbrennung) geleitet. Die RNV-Anlage, welche nach Erfahrungen einer bereits bestehenden Anlage der Lothar Bix GmbH beim Anschluss von drei Lackierkabinen bereits

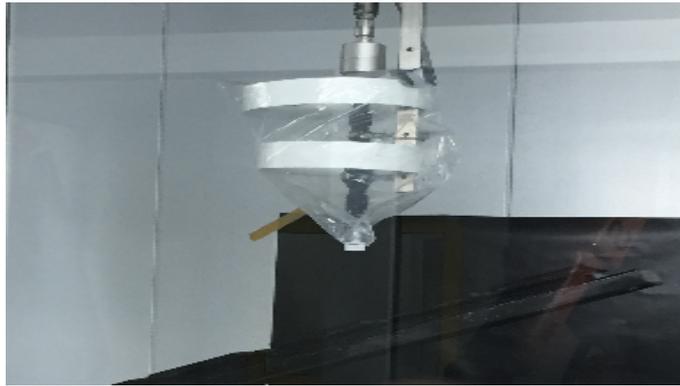


Abbildung 6: Trockeneispistole mit Warenträger (Foto vom 18.09.2015)



Abbildung 7: Trockeneispellets (Foto vom 18.09.2015)

Mit der Trockeneisreinigungsanlage werden die zu lackierenden Teile vor dem Lackierprozess abgereinigt. Dazu werden die auf den Lackierträgern befestigten Rohteile mit CO₂-Trockeneispellets abgestrahlt und gereinigt.

TV 2: Kunststofflackieranlage

Nachfolgende Abbildungen 8 bis 15 visualisieren einzelne Stadien der Vorbereitungs- und Aufbauarbeiten:



Abbildung 8: Anlieferung und Start der Aufbauarbeiten Lackieranlage (Foto vom 19.08.2014)



Abbildung 9: Aufbauarbeiten zur Lackieranlage (Foto vom 22.08.2014)



Abbildung 10: Foto aus der Bauphase der Lackieranlage (Foto vom 19.09.2014)



Abbildung 11: Einbau der Lüftungstechnik in die Lackieranlage (Foto vom 16.10.2014)



Abbildung 12: Einbauarbeiten zur Fördertechnik der Lackieranlage (Foto vom 23.10.2014)

Die nachfolgenden Abbildungen 13 und 14 dokumentieren die Anlieferung der regenerativen Nachverbrennungsanlage sowie deren Fertigstellung an dem dafür vorgesehenen Standort. Der Aufbau erfolgte im Zeitraum vom 10.02.2015 bis 27.02.2015.



Abbildung 13: Anlieferung der RNV (Foto vom 11.02.2015)



Abbildung 14: Aufgebaute RNV-Anlage (Foto vom 20.08.2015)

Die Aufbauarbeiten endeten zum 15.03.2015. Die nachfolgende Abbildung 15 zeigt im Hintergrund die Lackierkabinen nach Abschluss der Aufbauarbeiten.



Abbildung 15: Lackierkabinen nach Abschluss der Aufbauarbeiten (Foto vom 20.08.2015)

Die Inbetriebnahme der Komponenten erfolgte mit ersten Lackierversuchen schrittweise in der Zeit vom 01.03.2015 bis 29.05.2015. Im Juni 2015 ist die Lackieranlage einschichtig in den Probetrieb gegangen, um die Leistungsfähigkeiten und Kinderkrankheiten der Lackieranlage unter Produktionsbedingungen testen und optimieren zu können.

2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Im Vorfeld des Genehmigungsantrages nach der 31. BImSchV wurden 2013 Gespräche mit der Genehmigungsbehörde geführt. Der Antrag auf Genehmigung wurde am 19.02.2014 bei der Genehmigungsbehörde eingereicht. Der Genehmigungsbescheid ist am 17.09.2014 postalisch eingegangen. Die für den Betrieb der Anlage erforderlichen Konformitätserklärungen der Hersteller liegen vor. Sicherheitstechnisch ist die Anlage abgenommen.

2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Nach dem Probetrieb sollten im Rahmen eines Messprogramms in einer Input- / Outputbilanz alle Stoffströme erfasst und die wesentlichen material- und verfahrensbezogenen Kennwerte über einen Zeitraum von 12 Wochen ermittelt werden. Vor dem Hintergrund der geringen Aufträge

in Chrom-Optik nach Durchführung des Probetriebes wurde der Start des Messprogramms auf Anfang Mai 2016 gelegt und insgesamt 6 Monate bis Ende Oktober 2016 gemessen.

Folgende Messstellen und Messparameter lagen dem durchgeführten Messprogramm zu Grunde (Tabelle 7).

Nr.	Bezeichnung Messstelle	Medium	Messparameter	Häufigkeit	Anzahl Messungen / Proben	Durchführung Messung
Soll-Zustand						
1.	Verbrauch Lackmenge + Lösemittelanteil (Lackierkabinen)	Lack	kg	wöchentlich	12 Wochen	Dokumentation Lagerausgangsmenge + Werteerfassung der Lackförderpumpen
2	Verbrauch Lackmenge + Lösemittelanteil (Lackierkabinen)	Lösemittel	ml	wöchentlich	12 Wochen	Berechnung über wöchentliche Lackmenge in kg
3.	Manuelle Abnahme der Teile	Produkt	m ²	täglich	12 Wochen	Anzahl Teile x durchschnittliche Fläche
4.	Manuelle Abnahme der Teile	Produkt	€	wöchentlich	12 Wochen	Verkaufsmenge x Verkaufspreis
5.	Container (Ausschuss)	Produkt	Anzahl	täglich	über 12 Wochen	Zählen Behälter Ausschuss
6.	Lackierkabinen	Lackfestkörper (Overspray)	kg	wöchentlich	12 Wochen	Wiegen der Lackfestkörpermengen
7 ¹⁶ .	Lackieranlage ohne Kühl und Pumpenanlage	Strom	kWh	wöchentlich	12 Wochen	drei Stromwandler 1000 zu 5A die auf einen Energiezähler wirken
8.	Lackierkabinen Grundlackbereich	Strom	kWh	wöchentlich	12 Wochen	drei Stromwandler 200 zu 5A die auf einen Energiezähler wirken
9.	Lacktrockner	Strom	kWh	wöchentlich	12 Wochen	drei Stromwandler 200 zu 5A die auf einen Energiezähler wirken
10.	Hallenzuluftergänzung	Gas	m ³	wöchentlich	12 Wochen	Gaszähler mit Impulsausgang, m ³ je Impuls

¹⁶ Messstelle 7 gibt den Gesamtenergieverbrauch der Lackieranlage an und beinhaltet auch die Messstellen 8 und 9 als Unterverbraucher. Messstellen 8 und 9 werden zudem separat ausgewiesen.

Nr.	Bezeichnung Messstelle	Medium	Messparameter	Häufigkeit	Anzahl Messungen / Proben	Durchführung Messung
11.	Vorwärmofen	Gas	m ³	wöchentlich	12 Wochen	Gaszähler mit Impulsausgang, m ³ je Impuls
12.	Lacktrockner	Gas	m ³	wöchentlich	12 Wochen	Gaszähler mit Impulsausgang, m ³ je Impuls
13.	RNV	Erdgas	m ³	wöchentlich	12 Wochen	Ablesung Zählerstand
14.	RNV (Input / Output)	Emissionen	div.	2 x	2 x	Externe Messung

Tabelle 7: Messstellen, -medien und -parameter

3. Ergebnisse

3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung

Zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme der Anlage lagen Aufträge für die Projekte in Chrom-Optik vor. Es traten an den einzelnen Anlagenkomponenten Probleme auf, die Optimierungsarbeiten nach sich zogen. Für die Abnahme, die Überprüfung der Funktionstüchtigkeit und zur Ableitung von Verbesserungen sollte die Lackieranlage möglichst im 3-Schichtbetrieb ausgelastet werden. Da nicht genügend Projekte in Chrom-Optik für eine solche Auslastung vorlagen, wurden einige Serienprojekte in einer UV-Hochglanzbeschichtung der Lothar Bix GmbH übernommen. Die Anforderungen an Umlufttechnik, Sauberkeit und Lackversorgung sind bei den eingesetzten UV-Lacksystemen vergleichbar hoch mit denen für die Chrom-Optik. Somit konnten die nötigen Erkenntnisse frühzeitig gewonnen und Verbesserungen eingeleitet werden. Nachfolgend sind diese den jeweiligen Teilvorhaben entsprechend beschrieben.

TV 1: Trockeneisreinigungsanlage

Trotz dieser Reinigungsanlage waren die Ausschussquoten mit ca. 60-70 % bei den ersten Lackserien viel zu hoch. Im Eisdosiergerät froren teilweise die Förderkomponenten ein. Trotz scheinbar funktionierender Anlage (keine Störmeldung) wurde kein Eis zugeführt und die Reinigung konnte nicht erfolgen. Zudem lagerten sich abgestrahlte Partikel vom Warenträger auf den Bauteilen ab und führten zu Ausschuss. Ein weiteres Optimierungsproblem stellte die Strahldüse dar, die noch keinen gleichmäßigen Strahl erzeugte. Auch wurden bei der Lackierung von weichen Kunststoffen (Elastomeren) der Kunststoff durch die stark beschleunigten Eispartikel beschädigt.

Nach einer intensiven Prüfung im Zeitraum vom 15.05.2015 bis 31.07.2015 wurden die Problemfaktoren ermittelt und es konnten folgende Verbesserungen durchgeführt werden.

1. Das Einfrieren des Eisgerätes konnte wesentlich verbessert werden, indem durch einen zusätzlich eingebauten Ventilator, das Anlagern von Luftfeuchtigkeit im Bereich Dosiergehäuse verhindert wurde. Weiter wurde der Pressdruck im Dosiergehäuse auf die Dosierscheibe reduziert.
2. Durch Optimierungen im Strahlprogramm, besonders durch die Kombination von Strahlen, erst mit Trockeneis und nachfolgend mit Luft, konnte das Anlagern von abgestrahlten Partikeln vom Warenträger auf den Bauteilen beseitigt werden.

3. Durch den Einbau einer vom Anlagenlieferanten neu entwickelten Rundstrahldüse konnte über einen Kegelstrahl ein wesentlich besseres Strahlbild und damit bessere Reinigungsergebnisse erzielt werden.
4. Bei der Reinigung von Elastomeren konnten die Verbesserungen aus den Punkten 1-3 leider keine Vorteile bringen. Der elastische Kunststoff musste vorläufig noch mit alkoholischem Medium und nachfolgendem Abblasen gereinigt werden.

Beim Auftreten von Störungen oder sonstigen Produktionsunterbrechungen kam es dazu, dass die Eisschicht auf der Zuführung zu schmelzen begann. Dies konnte durch einen regelmäßigen Durchfluss von Trockeneis durch die Leitung vermieden werden. Dazu musste u.a. die Programmierung geändert werden. Die Programmierung für die Trockeneisreinigungsanlage wurde deshalb dahingehend geändert, dass auch bei einer Produktionsunterbrechung in regelmäßigen Abständen ein kurzer Trockeneisausstoß an der Düse erfolgt. So wurde ein Auftauen der Leitung verhindert. Zusätzlich wurde ein Auffangbehälter installiert, um zu verhindern, dass Tauwasser beim erneuten Start des Betriebs auf die Teile tropfen kann.



Abbildung 16: Auffangbehälter Trockeneisdüse (Foto vom 07.09.2015)

Desweiteren wurde die Verfahrensweise der Teile unter der Düse optimiert. Durch eine optimierte Programmierung soll das erneute Verschmutzen der bereits gereinigten Teile durch den Strahlprozess reduziert werden. Über die Ausrichtung der Strahldüse im Winkel von ca. 45° zum zu reinigenden Bauteil und einer Bewegungsrichtung von schon gereinigter Fläche zu noch nicht gereinigter Fläche kann jetzt eine neue Kontamination durch den Reinigungsprozess selbst ausgeschlossen werden. Die Optimierungen im Bereich Reinigungsanlage haben eine Ausschussreduzierung im Bereich von 10-20 % bewirkt.

TV 2: Kunststofflackieranlage

Beim Probetrieb stellte sich heraus, dass das Rotationsbürstenverfahren umfangreich modifiziert werden musste. Im Bürstenabscheidungsverfahren wurden die Lackierkabinen mit rotierenden Bürsten ausgestattet. Um die Bürsten später vom Lack abreinigen zu können, mussten diese zuvor precoatisiert worden sein. Diese Precoatisierung sollte mit Restpulver aus

anderen Prozessen erfolgen. Graphit im Grundmaterial der Bürste sollte die Leitfähigkeit herstellen, um die Bürsten später elektrostatisch pulverbeschichten zu können.

Bei den erforderlichen Versuchen im Hause Rippert Anlagentechnik stellte sich heraus, dass Graphit den Bürsten die erforderliche Stabilität nahm und sie instabil machte. Die Bürsten sollten als Bürstenwand senkrecht zur Anwendung kommen, nach der Graphitbehandlung wurden sie jedoch instabil, fielen nach unten und ließen den Luftstrom so ungehindert ohne geplante Filterwirkung durch.

Als Lösung nahm die Firma Rippert Testreihen mit normalen Bürsten vor, die Bürsten wurden mit Wasser besprüht, um sie leitfähig zu machen. Diese zeitaufwändige Arbeitsweise reichte zwar aus um die Bürsten zu beschichten, das Pulver hatte aber auf den selbst nicht leitfähigen Bürstenfasern viel zu schlechte Haftungseigenschaften. Nach geringer mechanischer Belastung ist das Pulver selbst abgefallen und die vorgesehene Trennschicht war von der Bürste verschwunden.

Um das Bürstverfahren dennoch realisieren zu können, hat die Firma Bix in Eigenregie Untersuchungen durchgeführt. Es wurde durch einen hohen zeitlichen, fachlichen und personellen Einsatz möglich, ein eigenes „Pulverslurry“ zur Precoatierung der Bürsten zu entwickeln. Dieses Pulverslurry ist eine wässrige Suspension von Pulver und wird im Nasslackierverfahren aufgebracht. Das Pulverslurry hält nicht nur die erforderlichen Verahreigenschaften ein, es sorgt zudem auch noch für eine Arbeitszeiterparnis. Bei der vom Anlagenhersteller geplanten Arbeitsweise müssen die Abscheidebürsten erst mit Wasser benetzt - sprich leitfähig - gemacht werden. In einem nachfolgenden Arbeitsgang können die Bürsten über ein elektrostatisches Sprühverfahren bepulvert werden. Da der nötige Schichtauftrag in einem Arbeitsgang nicht möglich war, mussten diese Arbeitsschritte mehrfach durchgeführt werden. Der Zeitaufwand pro Kabine beträgt ca. 2,5 Stunden.

Der von der Firma Bix entwickelte Pulverslurry kann in einem Arbeitsgang über ein handelsübliches Spraymischergerät aufgetragen werden. Der Arbeitsaufwand pro Kabine beträgt ca. 45 Minuten. Als positiver Nebeneffekt ist der Materialaufwand zu sehen. Die ca. 25 kg Pulver, welche pro Kabine als Trennmittel benötigt werden, sind Reste aus Pulverlackierprozessen und müssten sonst entsorgt werden. Bei der vom Anlagenhersteller geplanten Arbeitsweise hätte Neupulver verwendet werden müssen. Da Bix die Grundkomponente für den Pulverslurry langfristig nicht selbst herstellen will, wurde als zukünftiger Lieferant ein Lackhersteller gesucht, welcher die Produktion der Grundkomponente übernehmen wird. Als Lackhersteller wurde die Fa. Frei Lacke gefunden.

Grundsätzlich muss die Abreinigung der Bürsten über Abrakelkämme verbessert werden. Die Abreinigungszeiten, besonders bei der Klarlackkabine, waren noch viel zu lang. Weiter kam es durch die ständig drehenden Bürsten bei Grundierung und Basislack bereits im Lackierprozess zum Lackabtrag an den Bürstenspitzen. Als Folge wurde der Filter unnötig belastet. Die Abreinigungszeiten der Bürsten waren stark abhängig von dem verwendeten Lacksystem. Die Reinigungszeiten bei der Basislack- bzw. Grundlackkabine betragen nur noch 3 bis 4 Stunden. Bei Klarlack wurden die Bürstenfasern durch den fehlenden Pigmentanteil viel geschlossener ummantelt. Trotz Trennschicht (Pulverslurry) splitterte der Klarlack beim Abrakeln nicht ab (wie bei Basislack und Grundlack), sondern musste förmlich von der Bürstenfaser abgezogen werden. Über unterschiedliche Standzeitversuche wurde ermittelt, welche Bürstenbelegung die besten Ergebnisse brachte. Eventuell müsste die Rakel tiefer in die Bürste eingreifen und entsprechend vom Anlagenbauer angepasst werden. Da die Standzeit der Bürsten zu diesem Zeitpunkt bei 3 bis 4 Wochen lag, dauerte es sehr lange, um hier Verbesserungsergebnisse zu erzielen.

Ab August 2015 wurde ein Versuch unternommen, die Bürsten während der Produktion nicht kontinuierlich drehen zu lassen, sondern im Stundentakt 1 x um 170° zu drehen. Durch diese Maßnahme sollte verhindert werden, dass sich der an den Bürsten anhaftende Lackstaub -

besonders im Bereich der sich berührenden Bürstenspitzen - allein durch die Bürstendrehung ablöst und dies so zu schnellerem Filterverschleiß führt. Die nachfolgende Abbildung 17 visualisiert die Bürsten und die sich zwischen den zwei Bürsten berührenden Bürstenspitzen.

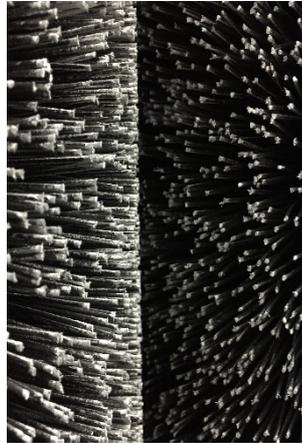


Abbildung 17: Abbildung der Bürsten (Foto vom 07.09.2015)

Die Abreinigungszeiten der Bürsten waren immer noch stark abhängig von dem verwendeten Lacksystem. Optimierungsprobleme bestanden im Bürstenabscheideverfahren wenn Klarlack verwendet wurde. In den anderen Kabinen stellte dies kein Problem dar.

Das Abrakeln in der Klarlackkabine führte, aufgrund der niedrigen Sprödigkeit des Lacksystems und der geringen Eintauchtiefe der Rakel, zu einer immer noch unbefriedigenden Bürstenreinigung. Wie in Abbildung 18 ersichtlich wird, tauchten die Rakel nur sehr leicht in die Bürste ein, was dazu führte, dass lediglich die Spitzen der belegten Bürste abgezogen wurden. Eine tiefere Reinigung fand somit nicht statt. Dies führte zu einem schlechten Abrakelergebnis und verkürzte die Standzeit der Bürsten.



Abbildung 18: Eintauchtiefe der Abrakelvorrichtung in die Bürsten (Foto vom 07.09.2015)

Ein weiteres Problem beim Abrakeln war die große Last für den Kettenspanner sowie den Motor. Hier musste besonders bei stark belegten Bürsten darauf geachtet werden, die Rakel nur sehr behutsam in die Bürsten zu fahren, um keine zu hohe Last zu erzeugen. Auch sehr lange Abrakelzeiten von > 15 h führten nicht zu einer gründlichen Reinigung der Bürsten.

In der Klarlackkabine wurden die Bürsten als Zwischenlösung im Zuge der Umbaumaßnahmen der Umluftfilterstufe ausgebaut und mit einem speziellen mobilen Reinigungsgerät abgerakelt.



Abbildung 19: Mobiles Bürstenreinigungsgerät zum einmaligen Abreinigen der Bürsten in ausgebautem Zustand (Foto vom 07.09.2015)

Das mobile Reinigungsgerät konnte ebenfalls keine 100%-ige Reinigung erreichen. Das Gerät konnte jedoch aus den bereits 15 h gereinigten Bürsten mit einer Reinigungszeit von etwa 90 min pro Bürste nochmals ca. 0,7 m³ Material herausholen. Für den Produktionsbetrieb ist die Verwendung eines solchen mobilen Reinigungsgerätes jedoch nicht realistisch. Der Aufwand des Aus- und Einbaus der Bürsten verbunden mit der dennoch langen Reinigungszeit sind in einem Dreischichtbetrieb nicht möglich.

Für die Abreinigung der Bürsten im eingebauten Zustand stellten sich folgende Optionen:

- a) eine Veränderung der Rakelgeometrie,
- b) Einschwenkverhalten der Rakel,
- c) Umbau durch ein festinstalliertes Abreinigungsgerätes ähnlich der Funktionsweise des mobilen Reinigungsgerätes.

Nach der Prüfung der vorgestellten Lösungsvorschläge mussten weitere Umbauten und Versuche geplant werden.

Die im Technikum des Anlagenherstellers durchgeführten Versuche zeigten deutlich, dass vor allem bei den Bürsten der Klarlackkabine grundlegende Umbauarbeiten erforderlich waren. Als erste Maßnahme wurde der Rakel selbst umgebaut. Was bisher mit einem einzelnen Rakelgreifer in Eintauchintervallen versucht wurde, soll zukünftig mit einem drehbaren Vierfachgreifer mit unterschiedlichen Rakellängen realisiert werden. Da für diese Lösung die kompletten Antriebe geändert werden müssen und der Umbau sehr viel Zeit in Anspruch nimmt, wurde die Leistungsfähigkeit in einer Technikumswand des Anlagenherstellers im ersten Step vorgeprüft. Durch die baugleiche Aufstellvarianten Bix / Technikum werden verschmutzte Bürsten von Bix Beschichtungen beim Anlagenhersteller abgereinigt und so Wirksamkeit und Standfestigkeit der Anlagenkomponenten geprüft. Erst nach ausreichender Absicherung wird die Serienanlage umgebaut. Terminplanungen sehen aktuell einen möglichen Umbau für den Zeitraum Dezember 2017 vor.

Folgende Probleme traten bei der Luftführung in den Bereichen Lackierkabine, beim Zwischentransport und beim Trockner auf:

Im Zuge der Optimierungsarbeiten wurde festgestellt, dass die Luftströmungen sowie die Luftverteilung in bestimmten Anlagenbereichen nicht homogen waren. Teilbereiche hatten fast keine Strömung in anderen Bereichen war die Luftverwirbelung zu stark. Um die Luftströmung zu optimieren und eine durchgehend laminare Strömung von der Anlagedecke zum Boden zu erreichen, wurden im März 2015 Luftleitbleche eingesetzt und damit die Luftdosierung homogener eingestellt.

Einen sehr großen Anteil an anfänglichen Störungen wurde durch die Fördertechnik verursacht, die nachfolgend aufgeführt und deren Behebung beschrieben wird.

1. Die Fixierstationen der Warenträger funktionierten nicht richtig. Für den Lackierprozess wurde der Warenträger von einem Montageroboter vom Förderband abgenommen. Damit der Greifer den Warenträger richtig fassen konnte, war die genaue Positionierung über eine Fixierstation erforderlich. Bei Fehlfunktionen konnte der Greifer den Warenträger nicht fassen und eine Störung wurde ausgelöst. Funktionierte somit eine Station nicht, stand das ganze Band.

Die Befestigungseinheiten der Fixierstationen wurden verstärkt und wie die Warenträger präziser eingestellt. Durch diese Maßnahme konnte eine wesentlich gleichmäßigere Positionierung der Warenträger für die Übergabe zum Handlingsroboter erreicht werden. Um durch die noch verbliebenen Ungenauigkeiten keine Störungen beim Greifen der Gestelle zu bekommen, wurde die Programmierung von Handlingsroboter und Greifer umgestellt. Der Greifer fährt jetzt nicht direkt zu seinem Endpunkt, sondern wird verzögert an seine Position geführt. Im weitesten Sinne sucht er nun selbst seinen Endpunkt.

2. Schäden an den Laufwagen wurden durch falsch eingestellte Stopper verursacht, die einen Transportwagen auf der Förderkette an einer bestimmten Position hielten. Solche Schäden, z.B. verbogene Signalfahnen, beschädigten anschließend das Lesegerät. Dies führte im Optimierungsbetrieb zu vielen Störungen und Fehlersuchen.

Es wurde festgestellt, dass einige Stopper nicht richtig positioniert bzw. eingestellt waren. Der Stopper hat grundsätzlich die Funktion, einen Laufwagen, der aus der Förderkette ausgeklinkt wird, am unkontrollierten Wegrollen zu hindern. Da ein Stopper in seiner Funktion als mechanische Sperre sehr nah am Laufwagen ist, kann er bei falscher Einstellung oder Positionierung Bereiche am Laufwagen beschädigen. Durch aufwändige Beobachtungen konnten die Fehlfunktionen erkannt und beseitigt werden.

3. Über die RFID-Chips bekommt jeder Wagen seinen Namen. Im Lackierbetrieb kann so jedem Laufwagen ein Prozessablauf zugeordnet werden. Durch Montagefehler waren diese Chips teilweise gebrochen und die Sensoren in der Anlage konnten die Laufwagen nicht mehr erkennen und lösten so eine Störungsunterbrechung aus. Die zerstörten Sensoren wurden ausgetauscht und alle weiteren Sensoren auf richtige Montage (richtige, nicht zu feste Verschraubung) überprüft.

4. Die einzelnen Laufwagen hatten Mitnehmer, über die sich der Laufwagen in die Transportkette einhängte. An bestimmten Positionen sollte der Laufwagen stehen bleiben und der Mitnehmer sollte mechanisch eingefahren werden, damit der Wagen nicht weiter transportiert wird. Soll der Laufwagen wieder in die Transportkette eingreifen, musste der Mitnehmer ausfahren. Bei klemmender Mechanik griff der Mitnehmer nicht und es wurde eine Störung ausgelöst. Durch den Hersteller des Förderers wurden die abgesicherten Mitnehmer ausgetauscht und an der betreffenden Stelle eine Bremse eingebaut. Die Bremse verhinderte das unkontrollierte Rollen der Wagen im nicht-geführten Zustand. Desweiteren wurde die Anfahrtsbeschleunigung abgedämpft, indem der Wagen durch die Bremse kontinuierlich leicht gebremst wird bis der Wagen wieder sauber vom Mitnehmer geführt wird.



Abbildung 20: Bremse um den Wagen in Position zu halten (Foto vom 07.09.2015)



Abbildung 21: Beispiel eines durch die Bremse gehaltenen Wagen (Foto vom 07.09.2015)

Nach der Installation der Bremse kam es zu keiner weiteren Abscherung eines Mitnehmers in der Anlage.

5. Bei der Dreikabinenanlage wurden bestimmte Förderstrecken von Laufwagen mit grundierten Teilen, gereinigten Teilen, zweischichtig lackierten Teilen und dreischichtig lackierten Teilen benutzt. Damit sich die Anlage nicht selbst blockierte, mussten optimierte Programmabläufe mit Vorfahrtsregeln festgelegt werden. Trotz Simulationen im Vorfeld mussten über viele Tage hinweg die Abläufe beobachtet und optimiert werden. Wichtig war es, der Anlageprogrammierung die Prioritäten in den Abläufen zu vermitteln. Über entsprechende Vorfahrtsregeln konnten wir belegte Zonen schneller wieder frei bekommen und so die Prozesse beschleunigen.
6. Die einzelnen Anlagenteile der Lackieranlage sind durch Hubtüren voneinander getrennt. Die Hubtüren werden über seitlich angebrachte Teflonschienen geführt. Probleme mit der nicht richtig ausgeführten Mechanik bewirkten Abrieb und führten damit zu Ausschussquoten in Höhe von 30 %. Die Analyse der Hubtürenmechanik zeigte, dass die Führungsschienen im Anlieferungszustand nicht „entkragt“ waren. Das einfache Nacharbeiten der Führungen mittels Schleifpad hat das Problem der Kontamination durch Abrieb beseitigt. Die Ausschussquote konnte durch diese einfache Maßnahme deutlich gesenkt werden.

TV 3: Applikationstechnik Lackversorgung

Die Applikationstechnik Lackversorgung bereitete im Rahmen der Spurverwaltung Probleme. Es gab verschiedene Spuren, über die der Lack aufgebracht bzw. bei einem Farbwechsel die Lackversorgungsleitungen gespült werden sollte. Im Bereich der Hardware kam es zu Problemen, da die Lackierpistolen den Lack- bzw. Luftstrom nicht gleichförmig bzw. gleichmäßig verteilten. Der Lack- bzw. Luftstrom war flackernd und sorgte wegen Fremdlufteinzug und nicht kontinuierlicher Lackversorgung der Lackierpistole zu schlechter Qualität im Lackauftrag.



Abbildung 22: Lackierroboter (Foto vom 12.02.2015)

Um den Lackierstrahl zu optimieren, wurden in der Zeit vom 20.04.2015 bis 24.04.2015 alle Komponenten wie Lackierpistole, Verschraubungen von Schläuchen, Lackventile sowie der Lackdruckregler überprüft und optimiert.

Es bestand die Vermutung, dass über eine nicht dichte Verschraubung Luft in die lackführenden Schläuche und Kanäle angesaugt werden könnte und dadurch das Pulsieren verursacht wurde. Besonders im Bereich der Lackierpistole wurden über Festlegung der Anzugsdrehmomente Optimierungen vorgenommen.

Das Lackierergebnis wurde durch diese Maßnahmen verbessert, war aber für die hochwertigen Lackieranwendungen noch nicht ausreichend. Um die Lackversorgung zu optimieren, war in der Zeit vom 29.04.2015 bis 30.04.2015 ein Applikationsspezialist des Anlagenbauers vor Ort, um mit uns an dem Problem des flackernden Lackstrahles zu arbeiten. Um über eine bessere Strömungsgeschwindigkeit des Lackes in der Leitung einen gleichmäßigeren Lackfluss zu realisieren, wurde der Querschnitt der Lackleitung zur Pistole verringert. Als Folge ist durch den nun gleichmäßigen Lackfluss das Problem des flackernden Spritzstrahles beseitigt.

Im Laufe des Probetriebes wurden weitere Optimierungsarbeiten im Bereich der Lackversorgung vorgenommen. So wurden fehlende oder falsch angelegte Applikationsspuren oder abweichende Soll-/Ist-Vergleiche der Pumpendrehzahl für die Lackförderpumpen korrigiert und angepasst.

TV 4: Druckluftversorgung

Die Druckluftversorgung wurde im Zeitraum November 2014 bis März 2015 schrittweise aufgebaut. Bei der Druckluftversorgung kommt es besonders auf Sauberkeit und eine kontinuierlich gute Luftversorgung an. Durch die gute Planung und hochwertige Ausstattung mit

Schraubenkompressor, Druckausgleichsbehälter, Kältetrockner, Aktivkohlefilter und montagefreundlichen Profilrohren gab es in der Inbetriebnahmephase keine Komplikationen.



Abbildung 23: Abbildung der Druckluftversorgungsstation (Foto vom 07.09.2015)

TV 5: Gas- und Stromanbindung inkl. Trafostation, Einbau Versorgungsleitungen

Rein technisch gesehen sind die Einbauarbeiten der Energieanbindung problemlos verlaufen. Das Hauptproblem bei der Energieanbindung bestand darin, dass die konkreten Planungen und die anschließende Bestellung erst abgeschlossen werden konnten, nachdem die genauen Anbindungen an die Anlagenkomponenten festgelegt waren.

Im Zuge der Bestellungen mussten wir erkennen, dass wir mit den Kostenabschätzungen, die wir in Zusammenarbeit mit dem beauftragten Architekten erarbeitet hatten, deutlich zu niedrig kalkuliert hatten.

3.2 Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms

3.2.1 Rohdaten und Messungen

Aufgrund der relativ geringen Aufträge in Chrom-Optik zu Beginn des Probebetriebs, wurde der ursprüngliche Messzeitraum von Februar – April 2016 aufgegeben, wie der Tabelle 8 zu entnehmen ist. Der neue Messzeitraum beginnt nunmehr im Mai 2016 und dauerte bis Ende Oktober 2016. Gleichzeitig sind in der Tabelle erwartete Auslastungen von Aufträgen in Chrom-Optik für das kommende Jahr dargestellt. Wenn alle Projekte wie geplant anlaufen, ist mit einer Auslastung von 100% zum Ende des Jahres 2017 zu rechnen.

Monat	Anteil Chrom-Optik [%]
Februar 2016	6,69
März 2016	8,70
April 2016	11,96
Mai 2016	14,69
Juni 2016	18,55
Juli 2016	27,44
August 2016	29,89
September 2016	36,22
Oktober 2016	46,09
Nov.-Dezember 2016	50
Q1/2017*	60
Q2/2017*	80
Q3/2017*	90
Q4/2017*	100

* = Prognose aus Projektvorschau

Tabelle 8: Anlagenauslastung mit Chrom-Optik

In Tabelle 9 sind die lackierten Grundträger in Chrom-Optik und die daraus resultierende lackierte Fläche entsprechend Messstelle 3 dargestellt. Ein bestückter Grundträger (blaue Umrandung) ist in Abbildung 24 dargestellt. Hierzu werden die zu lackierenden Teile auf eine teilespezifische Lackieraufnahme aufgesteckt (orange Umrandung) und mittels genormter Aufnahmepunkte mit dem Grundträger verankert. Da der Flächenausnutzungsgrad möglichst maximiert wird, kann immer von einer vollfächigen Beschichtung der Grundträgerfläche ausgegangen werden. Die zu lackierende Fläche bleibt folglich konstant.



Abbildung 24: Grundträger mit bestückten Teilen

Messstelle 3: Manuelle Abnahme der Teile (m ²)			
Monat	Real lackierte Grundträger [n]	Durchschnittlich lackierte Fläche in m ²	Lackierte Gesamtfläche m ²
Mai	1.184	1,12	1.326,08
Juni	1.567	1,12	1.755,04
Juli	2.134	1,12	2.390,08
August	2.356	1,12	2.638,72
September	3.123	1,12	3.497,76
Oktober	3.909	1,12	4.378,08
Summe	14.273	-	15.985,76

Tabelle 9: Lackierte Fläche in m²

Der durchschnittliche Verkaufspreis pro Grundträger (Messstelle 4) betrug für die im Messzeitraum lackierten Projekte 41,76 € bei einer durchschnittlichen Lackierfläche von 1,12 m². Der durchschnittliche Verkaufspreis wurde durch den Verkaufspreis multipliziert mit der Menge der Teile auf einem Grundträger ermittelt. Die nachfolgende Tabelle 10 listet den erzielten Umsatz auf.

Messstelle 4: Manuelle Abnahme der Teile (€)			
Monat	Real lackierte Grundträger [n]	Durchschnittlicher Verkaufspreis €	Umsatz €
Mai	1.184	41,76	49.443,84
Juni	1.567	41,76	65.437,92
Juli	2.134	41,76	89.115,84
August	2.356	41,76	98.386,56
September	3.123	41,76	130.416,50
Oktober	3.909	41,76	163.239,80
Summe	14.273	-	596.040,46

Tabelle 10: Umsatz in €

Um die benötigten Lackmengen zu berechnen (Messstelle 1), wurde die Ausbringmenge der Lackförderpumpen ermittelt. Der Lackverbrauch setzt sich aus dem Stammlack, dem Zugabelösemittel sowie der Härtermenge zusammen. Die Bestimmung der benötigten Lackmenge über die Lackförderpumpen ist hochgenau und kann für jede einzelne Komponente über einen definierten Zeitraum erfasst werden. Ein stichprobenartiger Vergleich mit den Lagerbuchungen ergab eine gute Korrelation mit den durch die Lackförderpumpen ermittelten Werten.

Messstelle 1: Verbrauch Lackmenge in den Lackierkabinen				
Monat	Lackverbrauch Primer [kg]	Lackverbrauch Basecoat [kg]	Lackverbrauch Clearcoat [kg]	Summe [Kg]
Mai	442,81	233,05	343,55	1.019,41
Juni	586,05	308,43	454,68	1.349,16
Juli	798,10	420,03	619,20	1.837,33
August	881,13	463,73	683,62	2.028,48
September	1.167,98	614,70	906,17	2.688,85
Oktober	1.461,93	769,40	1.134,24	3.365,57
Summe	5.338,00	2.809,34	4.141,46	12.288,80

Tabelle 11: Lackverbrauch in den Lackierkabinen

Die nachfolgende Tabelle 12 zeigt exemplarisch die Lagerbewegungen für den Primer (Grundlack) im August 2016. Die Auffüllung des Produktionslagers erfolgt immer zu Beginn der

Woche aus dem Zentrallager. Der Abgleich der Lagerbewegung Primer im August 2016 (920 kg) korreliert mit der ermittelten Lackverbrauchsmenge Primer in Tabelle 9 (rot markiert).

Lagerbewegungsdaten August 2016 für Lacke in Primer				
Buchungstag	Stammlack Primer [kg]	Härter Primer [kg]	Lösemittel Primer [kg]	Summe [kg]
1.8.	80	60	50	190
8.8.	70	60	40	170
15.8.	70	50	40	160
22.8.	80	70	50	200
29.8.	80	70	50	200
Summe				920

Tabelle 12: Lagerbewegungsdaten August 2016

Die Berechnung des Lösemittelverbrauchs wurde mittels der verbrauchten Lackmenge aus Tabelle 11 durchgeführt. Die Berechnung des gesamt Lösemittels ergibt sich mit Hilfe der Daten aus nachfolgender Tabelle 13 und den nachstehend dargestellten Formeln.

	Lösemittelanteil im Lack [%] x_{Lm1}	Lösemittelanteil Härter [%] x_{Lm2}	Mischungsverhältnis Lack/Härter/Lömi
Primer	59,35	60	100:80:60
Basecoat	98	63	100:1,5:50
Klarlack	57,04	63	100:35:90

Tabelle 13: Lösemittelanteile

$$\Sigma Mv = Mv_{Lack} + Mv_{Härter} + Mv_{Lömi}$$

$$Lösemittel = \frac{m_{Lackverbrauch} * \left(\frac{100}{\Sigma Mv} * x_{Lm1} + \frac{Mv_{Härter}}{\Sigma Mv} * x_{Lm2} + \frac{Mv_{Lömi}}{\Sigma Mv} \right)}{\rho}$$

Messtelle 2: Verbrauch Lösemittelanteil in den Lackierkabinen				
Monat	Lösemittelverbrauch Primer [ml]	Lösemittelverbrauch Basecoat [ml]	Lösemittelverbrauch Clearcoat [ml]	Summe [ml]
Mai	349.042,25	248.395,89	305.372,51	902.810,65
Juni	461.950,34	328.746,93	404.154,32	1.194.851,59
Juli	629.101,48	447.700,03	550.392,68	1.627.194,19
August	694.546,90	494.274,26	607.650,03	1.796.471,19
September	920.657,88	655.186,12	805.471,57	2.381.315,57
Oktober	1.152.370,05	820.084,07	1.008.193,53	2.980.647,65
Summe	4.207.668,90	2.994.387,30	3.681.234,64	10.883.290,84

Tabelle 14: Gesamt Lösemittelanteil

Tabelle 7 gibt Auskunft über die Anzahl der real lackierten Grundträger, die mit der durchschnittlich lackierten Fläche 1,12 m² multipliziert wird.

Wenn man die Anzahl der nicht verkaufsfähigen Teile kennt und eine durchschnittliche Fläche von 1,12 m² zu Grunde legt, lässt sich die nicht verkaufsfähige Fläche in Bezug zur Gesamtlackierten Fläche setzen. Damit kann eine prozentuale Ausschussbewertung ermittelt werden.

Der Ausschuss (Messtelle 5, Container) wurde durch Auszählen der nicht verkaufsfähigen Teile erhalten und betrug im Messzeitraum durchschnittlich: 27,08 %.

Messtelle 5: Ausschuss	
Monat	Ausschuss [%]
Mai	31,1
Juni	27,4
Juli	29,3
August	26,6
September	24,4
Oktober	23,7
Durchschnitt	27,08

Tabelle 15: Ausschuss

Eine gravimetrische Ermittlung durch Auswiegen stellte sich nachträglich nicht als sinnvoll heraus, da sich der Lack nicht ausschließlich in den Filtermedien abscheidet, sondern auch ein gewisser Anteil in Rohren beziehungsweise an der Kabinenwand abscheidet. Es kann also nicht sicher gestellt werden, dass auch alle Ablagerungen und somit der gesamte Overspray erfasst werden. Nachfolgende Bilder (Abbildung 25) zeigen beispielhaft Lackablagerungen in Abluftkanälen sowie in Abluftventilatoren.



Abbildung 25: Lackablagerung im Abluftkanal (links) und Abluftventilator (rechts)

Deshalb wurde aus dem Lackverbrauch und den Kennwerten des Lackes, wie Festkörper und den Schichtdicken der Teile, die Menge an Overspray berechnet (Messstelle 6).

Der Overspray wurde aus dem Lackverbrauch nach folgender Formel bestimmt.

$$\text{Overspray} = (m_{\text{Lackverbrauch}} * x_{\text{nicht flüchtiger Anteil}}) - (Y_{\text{Schichtstärke}} * A_{\text{Grundträgerfläche}} * \rho)$$

Die Ergebnisse sind in nachfolgender Tabelle 16 dargestellt.

Messtelle 6: Lackfestkörper in den Lackierkabinen				
Monat	Overspray Primer [kg]	Overspray Basecoat [kg]	Overspray Clearcoat [kg]	Summe [Kg]
Mai	141,69	1,60	70,08	213,37
Juni	187,53	2,12	92,75	282,40
Juli	255,38	2,89	126,31	384,58
August	281,95	3,19	139,45	424,59
September	373,74	4,23	184,84	562,81
Oktober	467,80	5,29	231,36	704,45
Summe	1.708,09	19,32	847,79	2.572,20

Tabelle 16: Overspray

Energieverbräuche (Messtellen 7 – 13)

Bei einer gemischten Verfahrensweise ist es nicht vorteilhaft die Energieverbräuche nur während der Lackierung der Chrom-Optik zu messen, da eventuelle Anfahrverbräuche nicht berücksichtigt werden. Da der Energieverbrauch unabhängig vom eingesetzten Lacksystem ist, können die Energieverbräuche der gesamten Anlagenlaufzeit übernommen werden und später anteilig auf die lackierten Grundträger umgelegt werden.

Zur besseren Vergleichbarkeit wurde nach der Tabelle 17 mit den Gesamtenergieverbräuchen jeweils noch eine Tabelle 18 mit den auf die Chrom-Optik bezogenen Verbräuchen eingefügt. Die Werte wurden durch Ablesen der entsprechenden Zähler gewonnen und beziehen sich auf die Messparameter 7 bis 9. Zu beachten ist, dass Messtelle 7 die Gesamtenergieverbräuche der Anlage umfasst. Die Messtellen 8 und 9 sind somit Unterverbraucher von Messtelle 7.

Monat	Messtelle 7 Lackieranlage Gesamt Strom [Kwh]	Messtelle 8 Lackierkabine Grundlackbereich Strom [Kwh]	Messtelle 9 Lacktrockner Strom [Kwh]
Mai	69.492,3	6.022,7	17.413,2
Juni	72.830,4	6.312,0	18.249,6
Juli	67.064,7	5.812,3	16.804,8
August	67.975,0	5.891,2	17.033,0
September	74.347,7	6.443,5	18.629,8
Oktober	73.133,9	6.338,3	18.325,6
Summe	424.844,0	36.820,0	106.456,0

Tabelle 17: Energieverbrauch: Strom

Monat	Messstelle 7 bezogen auf Chrom-Optik	Messstelle 8 bezogen auf Chrom-Optik	Messstelle 9 bezogen auf Chrom-Optik
	Lackieranlage Gesamt Strom [Kwh]	Lackierkabine Grundlackbereich Strom [Kwh]	Lacktrockner Strom [Kwh]
Mai	10.210,0	884,9	2.558,4
Juni	13.512,7	1.171,1	3.386,0
Juli	18.402,2	1.594,9	4.611,2
August	20.316,5	1.760,8	5.090,9
September	26.930,6	2.334,0	6.748,2
Oktober	33.708,6	2.921,4	8.446,6
Summe	123.080,6	10.667,1	30.841,30

Tabelle 18: Energieverbrauch bezogen auf Chrom-Optik: Strom

In der nachfolgenden Tabelle 19 sind die verbrauchten Gasmengen gemäß den Messstellen 10 bis 13 dargestellt.

Monat	Messtelle 10	Messtelle 11	Messtelle 12	Messtelle 13
	Hallenzuluftergänzung Gas [m³]	Vorwärmofen Gas [m³]	Lacktrockner Gas [m³]	RNV Gas [m³]
Mai	2.110,46	774,02	2.047,26	3.421,26
Juni	1.694,97	811,20	2.145,60	3.585,60
Juli	370,93	746,98	1.975,74	3.301,74
August	255,36	757,12	2.002,56	3.346,56
September	609,07	828,10	2.190,30	3.660,30
Oktober	2.545,44	814,58	2.154,54	3.600,54
Summe	7.586,23	4.732,00	12.516,00	20.916,00

Tabelle 19: Energieverbrauch: Gas

Tabelle 20 auf der nachfolgenden Seite zeigt den Gasverbrauch bezogen auf die Chrom-Optik an den Messstellen 10 bis 13 dar.

Monat	Messtelle 10 bezogen auf Chrom-Optik Hallenzuluftergänzung Gas [m ³]	Messtelle 11 bezogen auf Chrom-Optik Vorwärmofen Gas [m ³]	Messtelle 12 bezogen auf Chrom-Optik Lacktrockner Gas [m ³]	Messtelle 13 bezogen auf Chrom-Optik RNV Gas [m ³]
Mai	310,1	113,7	300,8	502,7
Juni	314,5	150,5	398,1	665,3
Juli	101,8	205,0	542,1	906,0
August	76,3	226,3	598,5	1.000,2
September	220,6	300,0	793,4	1.325,9
Oktober	1.173,2	375,5	993,1	1.659,5
Summe	2.196,5	1.371,0	3.626,0	6.059,6

Tabelle 20: Energieverbrauch bezogen auf Chrom-Optik: Gas

Nachfolgende Tabelle 21 gibt den gemessenen Kohlenstoffgehalt der Abluft bei der Lackierung des innovativen Lacksystems in Chrom-Optik an. Dabei handelt es sich um zwei Messungen welche gemäß Messstelle 14 von der Dekra durchgeführt wurden. Die Messprotokolle sind im Anhang beigefügt (Anlage 1: Messprotokoll vom 24.05.2016, Protokoll-Nr. 12186/421600/24115/555342361/1 und Anlage 2: Messprotokoll vom 26.07.2016, Protokoll-Nr. 12186/421600/24115/555042069/1).

Messtelle 14 RNV (Input / Output)	Messung 1 Gesamtgehalt Kohlenstoff mg/m ³	Messung 2 Gesamtgehalt Kohlenstoff mg/m ³	Messung 3 Gesamtgehalt Kohlenstoff mg/m ³
1	0,7	0,7	0,5
2	0,4	0,4	<0,2

Tabelle 21: Messung des Kohlenstoffgehalts in der Abluft

Nachfolgend sind in Tabelle 22 die Ergebnisse der Emissionsuntersuchungen vom 24.05.2016 (Messung 1 in Tabelle 19) und in Tabelle 23 die Ergebnisse der Untersuchung vom 26.07.2016 (Emissions-Massenkonzentrationen sowie Emissionsmassenströme als Halbstundenmittelwerte) dargestellt.

Rohgas vor RNV (Messdatum: 24.05.2016)

Messkomponente	Mittlere Konzentration	Höchste Konzentration	Grenzwert	Mittlerer Massenstrom	Höchster Massenstrom	Grenzwert
	[mg/m ³]	[mg/m ³]	[mg/m ³]	[kg/h]	[kg/h]	[kg/h]
Gesamtkohlenstoff	151	167	--	1,76	1,96	--

Reingas nach RNV (Messdatum: 24.05.2016)

Messkomponente	Mittlere Konzentration	Höchste Konzentration	Grenzwert	Mittlerer Massenstrom	Höchster Massenstrom	Grenzwert
	[mg/m ³]	[mg/m ³]	[mg/m ³]	[kg/h]	[kg/h]	[kg/h]
Gesamtkohlenstoff	0,6	0,7	20	0,008	0,009	--
CO	24	26	100	0,32	0,34	--
NO _x als NO ₂	10	10	100	0,13	0,14	--

Massenkonzentration jeweils bezogen auf trockenes Abgas im Normzustand.

Tabelle 22: Messung des Kohlenstoffgehalts in der Abluft am 24.05.2016

Rohgas vor RNV (Messdatum: 26.07.2016)

Messkomponente	Mittlere Konzentration	Höchste Konzentration	Grenzwert	Mittlerer Massenstrom	Höchster Massenstrom	Grenzwert
	[mg/m ³]	[mg/m ³]	[mg/m ³]	[kg/h]	[kg/h]	[kg/h]
Gesamtkohlenstoff	215	223	--	2,415	2,505	--

Reingas nach RNV (Messdatum: 26.07.2016)

Messkomponente	Mittlere Konzentration	Höchste Konzentration	Grenzwert	Mittlerer Massenstrom	Höchster Massenstrom	Grenzwert
	[mg/m ³]	[mg/m ³]	[mg/m ³]	[kg/h]	[kg/h]	[kg/h]
Gesamtkohlenstoff	< 0,2	0,4	20	< 0,003	0,0095	--
CO	5,4	5,6	100	0,071	0,073	--
NO _x als NO ₂	5,9	6,0	100	0,077	0,078	--

Massenkonzentration jeweils bezogen auf trockenes Abgas im Normzustand.

Tabelle 23: Messung des Kohlenstoffgehalts in der Abluft am 26.07.2016

3.2.2 Absolute und spezifische Messergebnisse

Um eine aussagefähige Umweltbilanz aufstellen zu können, haben wir die ermittelten Daten aus den Monaten Mai bis Oktober 2016 auf 100% Chrom-Optik Lackierung auf ein Jahr hochskaliert. Dazu wurden mit den Messungen aus dem Messzeitraum jede Messstelle auf einen lackierten Quadratmeter bezogen. Mit Hilfe dieses spezifischen Wertes kann dann der theoretische Verbrauch in einem Jahr (48 Produktionswochen) berechnet werden. Hierzu muss dann lediglich die Messstelle 3 (lackierte Fläche) auf eine Vollauslastung mit dem innovativen Lacksystem für Chrom-Optik hochgerechnet werden und entsprechend mit den spezifischen Werten der anderen Messstellen multipliziert werden. Die Hochrechnung der Flächenleistung erfolgte mit Hilfe der in Tabelle 8 und Tabelle 9 dargestellten Angaben. Zuerst wird für jeden Monat eine Flächenleistung bei Vollauslastung berechnet. Dies geschieht entsprechend nachfolgender Gleichung:

$$\text{Lackierte Fläche im Monat X bei 100\% Chrom_Optik} = \frac{A_{\text{lackierte Fläche Monat X}} * 100}{\text{Anteil Chrom - Optik Monat X}}$$

Daraus ergibt sich in Summe eine Flächenleistung für die Monate Mai bis Oktober 2016 von 55.182,5 m². Durch Multiplikation mit dem Faktor 2 ergibt sich dann eine jährliche Flächenleistung von 110.365 m². Dieser Wert wird nun verwendet, um die übrigen Messstellen bei einer 100%-igen Auslastung zu berechnen. *Beispielrechnung für die Messstelle 1: Lackverbrauch [Kg] = 110.365 m² * 0,77 $\frac{Kg}{m^2}$ = 84.981,05 Kg*

Messstelle	Verbrauch Chrom- Optik pro Jahr Mengenhochrechnung auf 48 Produktionswochen mit 100% Galvano-Optik	Verbrauch pro m ²
Lackverbrauch Primer [kg]	36.420,45	0,33
Lackverbrauch Basecoat [kg]	19.865,70	0,18
Lackverbrauch Clearcoat [kg]	28.694,90	0,26
[1] Lackverbrauch [kg]	84.981,05	0,77
[2] Lösemittel [ml]	75.137.595,65	680,81
[3] Lackierte Fläche [m ²]	110.365	-
[4] Umsatz [€]	4.115.510,85	37,29
[5] Ausschuss [%]	27,08	-
[6] Overspray[kg]	17.658,40	0,16
[7] Strom Lackieranlage	857.536,05	7,77
[8] Strom Lackierkabine [kWh]	73.944,55	0,67
[9] Strom Lacktrockner [kWh]	213.004,45	1,93
[10] Erdgas HZEG [m ³]	15.451,10	0,14
[11] Erdgas Vorwärmofen [m ³]	9.932,85	0,09
[12] Erdgas Lacktrockner [m ³]	25.383,95	0,23
[13] Erdgas RNV [m ³]	41.938,70	0,38
Summe [10] - [13] [m³]	92.706,6	0,84

Tabelle 24: Spezifische Messwerte

¹⁷ Messstelle 7 gibt den Gesamtenergieverbrauch der Lackieranlage an und beinhaltet auch die Messstellen 8 und 9 als Unterverbraucher. Messstellen 8 und 9 werden zudem separat ausgewiesen

Um beim Erdgas auf den Verbrauch in kWh zu kommen haben wir einen Brennwert von 11 und eine Zustandszahl von 0,95 angenommen.

Daraus ergeben sich die nachfolgenden spezifischen Verbräuche:

[10] Erdgas HZEG: 1,46 [kWh pro m²]

[11] Erdgas Vorwärmofen: 0,94 [kWh pro m²]

[12] Erdgas Lacktrockner: 2,40 [kWh pro m²]

[13] Erdgas RNV 3,97 [kWh pro m²]

Der Gesamterdgasverbrauch beträgt somit 8,77 kWh pro m².

3.3 Umweltbilanz

Nachfolgend möchten wir darstellen, mit welchem Erfolg wir unser Vorhaben „Innovatives und umweltfreundliches Lacksystem für Automobil-Chrom-Optik“ abgeschlossen haben und wie wir unsere bei Antragstellung prognostizierten Ziele in den Umwelteffekten erreicht haben.

Ein sinnvoller Vergleich der Daten aus dem Antrag für das konventionelle Verfahren und den gemessenen Werten für das innovative Verfahren ist nur möglich, wenn die Angaben auf die gleiche Produktionsleistung bezogen werden. Im Antrag wird von 173.000 m²/a (das entspricht einer Durchsatzleistung von 3.000.000 Bauteilen/a) und 6.000 Betriebsstunden ausgegangen.

Messstelle	Verbrauch Chrom-Optik pro Jahr bei 173.000 m ² /a	Verbrauch pro m ²
Lackverbrauch Primer [kg]	57.090	0,33
Lackverbrauch Basecoat [kg]	31.140	0,18
Lackverbrauch Clearcoat [kg]	44.980	0,26
[1] Lackverbrauch [kg]	133.210	0,77
[2] Lösemittel [ml]	117.724.770	680,49
[3] Lackierte Fläche [m ²]	173.000	-
[4] Umsatz [€]	6.447.710	37,27
[5] Ausschuss [%]	27,08 %	-
[6] Overspray[kg]	27.680	0,16
Strom in kWh	1.344.210	7,77
Erdgas in kWh	1.518.940	8,77
Gesamtenergieverbrauch in kwh	2.863.150	16,54

Tabelle 25: Hochgerechneter Jahresverbrauch bei einer Fläche von 173.000 m²/a

Ergebnisse Lackverbrauch (Basecoatmasse) nach Messung:

Die Berechnung des Lackverbrauchs ergibt sich aus dem gemessenen spezifischen Lackverbrauch des Basecoats von 180 g/m² (siehe Tabelle 24), da die Anteile von Primer und Klarlack in beiden Lackierverfahren als konstant angenommen worden sind.

Dieser Wert bezieht sich auf den fertig angemischten Lack inklusive Zugabelösemittel und Härter. Das Mischungsverhältnis der Komponenten ist in Tabelle 13 angegeben. Daraus lässt sich der Lackverbrauch, wie vom Lackhersteller angeliefert wird, berechnen. Hieraus ergibt sich ein Verbrauch von 118,81 g/m².

Für die Berechnung der Basecoatmasse auf den Teilen ist der Festkörper des Lackes verantwortlich. Die benötigten Daten für die Berechnung sind ebenfalls in Tabelle 13 angegeben.

Berechnung Basecoatmasse:

$$\text{Basecoatmasse} \left[\frac{\text{g}}{\text{m}^2} \right] = m_{\text{Lack}} * nfA_{\text{Lack}} + m_{\text{Härter}} * nfA_{\text{Härter}}$$

	Konventionelles Lackierverfahren	Innovatives Lackierverfahren Abschätzung bei Antragstellung (Soll)	Innovatives Lackierverfahren Tatsächlicher Verbrauch gem. Messprogramm (Ist)	Abweichung Soll/Ist (%)
Lackverbrauch [g/m ²] ¹⁸	116,40	77,60	118,81	+ 53,11
Lösemittel [ml/m ²] ¹⁹	180	64	187	+ 92,19
Basecoatmasse [g/m ²] ²⁰	14,55	1,94	3,04	+ 56,70
Overspray [g/m ²] ²¹	-	-	1,2 ²²	

Tabelle 26: Messergebnisse Lackverbrauch (Basecoatmasse)

Wie in der obenstehenden Tabelle ersichtlich ist, liegt der tatsächliche Verbrauch an Lack mit 118,81 g/m² und Basecoatmasse mit 3,04 g/m² über dem abgeschätzten Werten von 77,60 g/m² bzw. 1,94 g/m² bei Antragstellung.

Zum Zeitpunkt der Antragstellung wurden versuchsweise vornehmliche kleinflächige und brillant wirkende Bauteile lackiert. Durch die Umsetzung von neuen Projekten mit großflächigeren Bauteilen und leicht anderen Farbtönen, musste zur perfekten Effektausbildung die eingesetzte Lackmenge und Basecoatmasse erhöht werden.

Wird weniger Lackmenge und Basecoatmasse eingesetzt, bilden sich sog. „Wolken“ auf den Bauteilen. Diese sind in der mikroskopischen Abbildung 26 links als unregelmäßige schwarze Flecken erkennbar. Die rechte Abbildung zeigt eine nahezu wolkenfreie Oberflächenoptik.

¹⁸ Lieferform des Lackes inkl. Bindemittel, Pigment und Lösemittel.

¹⁹ Summe aller im verarbeitungsfähigen Lack enthaltenen Lösemittel.

²⁰ Festkörperanteile (Bindemittel und Pigment) die im Lack enthalten sind.

²¹ Der Verbrauch an Overspray (g/m²) wurde bei Antragstellung nicht abgeschätzt, aber im Messprogramm ermittelt

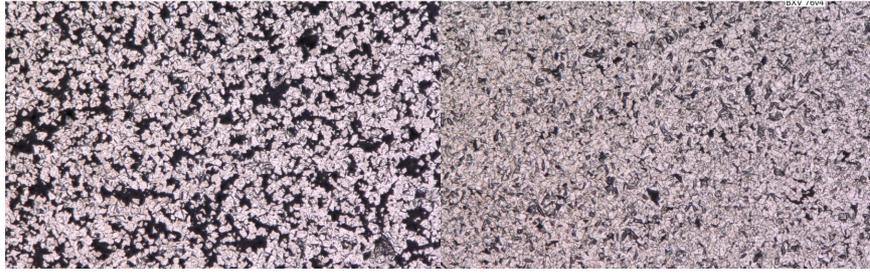


Abbildung 26: Oberflächenoptik mit Wolkenbildung (links) und wolkenfreie Oberflächenoptik (rechts)

Um die neue Chrom-Optik-Lackierung bei den OEM's (Original Equipment Manufacturer, „Erstausrüster“) platzieren zu können, sind optimale Lackieroberflächen erforderlich, die sich nur mit Einsatz einer höheren Lackiermenge und Basecoatmasse erzielen lassen. Somit konnten die bei Antragstellung abgeschätzten Ziele für den Lackverbrauch nicht in allen Teilbereichen erzielt werden. Der tatsächliche Verbrauch der Basecoatmasse im innovativen Lackierverfahren liegt aber dennoch um den Faktor 4,8 unter den Mengen des konventionellen Lackierverfahrens (vergl. Tabelle 24: im konventionellen Lackierverfahren liegt die Basecoatmasse bei 14,55 g/m², im Chrom-Optiklackierverfahren bei 3,04 g/m²).

Ergebnisse Energieeinsparung nach Messung:

Im Rahmen des dargestellten Vergleichs (siehe Seite 20, Energieeinsparung) sind wir für das konventionelle Verfahren von 42,2 kWh/m² ausgegangen. Bei einer Durchsatzmenge von 173.000 m²/a (6.000 Betriebsstunden) ergeben sich 7.300.600 kWh.

Im innovativen Lacksystem haben wir einen elektrischen Verbrauch von 7,77 kWh/m² (vergl. Tabelle 22, Position 7) für die Lackieranlage, Lackierkabine und Lackrockner (ohne Kühl- und Pumpenanlage) und eine über Erdgas bezogene Energiemenge (HZEG 1,46 kWh/m², Vorwärmofen 0,94 kWh/m², Lackrockner 2,40 kWh/m²) von 4,80 kWh/m² (vergl. Tabelle 22 und nachstehende Erläuterung zur spezifischen Verbrauchsberechnung (Positionen 10-12)). Damit ergibt sich ein Gesamtenergieverbrauch für das innovative Lacksystem von 12,57 kWh/m² (7,77 kWh/m² + 4,80 kWh/m²).

Gemeinsam mit der RNV ergibt sich somit ein Gesamtenergieverbrauch Strom von 7,77 kWh/m² und Erdgas von 8,77 kWh/m² und damit 16,54 kWh/m² (vergl. Tabelle 22 und nachstehende Erläuterung zur Berechnung des Gesamtenergieverbrauches, die in Tabelle 23 zusammengefasst sind).

Bei einer jährlichen vergleichbaren Durchsatzmenge von 173.000 m²/a ergibt sich eine Energieeinsparung von 4.437.450 kWh (Konventionelles Lackierverfahren: 173.000 m² x 42,2 kWh/m² = 7.300.600 kWh/m²; innovatives Lackierverfahren: 173.000 m²/a x 16,54 kWh/m² = 2.861.420 kWh/m²). Bezogen auf die Energieeinsparung wird eine CO₂-Einsparung von 2.217 t/a CO₂ realisiert.

Tabelle 27 visualisiert die Messergebnisse der Energieeinsparung.

	Konvent. Lackierver- fahren	Innov. Lackierver- fahren	Innov. Lackierver- fahren	Abweichung
		Abschät- zung bei Antrag- stellung (Soll)	Tatsächlicher Verbrauch gem. Messprogra- mm (Ist)	Soll/Ist (%)
Stromverbrauch Gesamt	27,2	16,8	7,77	-46,26
Erdgasverbrauch Lackierung	15	8,25	4,80	-37,60
Erdgasverbrauch RNV (kWh/m ²)	0	0	3,97	+100
Erdgasverbrauch Gesamt	15	8,25	8,77	+6,00
Gesamtenergieverbrauch (kWh/m²)	42,2	25,1	16,54	-34,10

Tabelle 27: Messergebnisse Energieeinsparung

Die Energieeinsparung der elektrischen Energie liegt mit 46 % deutlich unter den bei Antragstellung angenommenen Werten. Dies trifft ebenfalls auf die zur unmittelbaren Lackierung benötigte Gasmenge zu.

Im Gegensatz zur Annahme im Antrag, funktioniert die RNV (Regenerative Nachverbrennung) auf Grund der freigesetzten Lösemittelmengen nicht autotherm. Es muss daher zusätzlich Gas eingedüst werden. Der Gesamterdgasverbrauch ist daher mit 6% minimal über den angenommenen Werten. Der Gesamtenergieverbrauch liegt in Summe 30% unter den angenommenen Werten.

Folgende Umwelteffekte haben sich wie in der Antragstellung dargestellt als Nebeneffekt aus der Umsetzung ergeben:

- Oberflächen, welche mit dem Verfahren „Innovatives Lacksystem für Automobil-Chrom-Optik“ erzeugt sind, sind absolut korrosionsbeständig. Korrosionsschäden welche bei Fahrzeuganbauteilen (bei verchromten Flächen im Außenbereich) auftreten sind ausgeschlossen. Ein Erstmusterprüfgericht (Anlage 3: Prüfbericht, Wörwag Services, Prüfung VW TL 161 Ausgabe 10.2014, B von August 2016) und ein interner Prüfbericht (Anlage 4: Internes Prüfprotokoll Bix Lackierungen vom 23.05.2016) sowie ein Prüfbericht des Kunststoff Institut Lüdenscheid (Anlage 5: Prüfbericht Kunststoff Institut Lüdenscheid, Auftragsnr. LP15.2044 vom 15.02.2016) sind im Anhang beigefügt.
- Rotationsbürstenverfahren: Es wird der gesamte Wasserverbrauch an drei Lackierkabinen ($3 \cdot 245 \text{ m}^3/\text{a} = 735 \text{ m}^3/\text{a}$) und damit auch der Abwasseranfall im Vergleich zur nassen Abluftreinigung sowie ($3 \cdot 5,1 \text{ t/a} = 15,3 \text{ t/a}$) Chemikalien vermieden. Ebenso wird an den drei Lackierkabinen eine Einsparung von $3 \cdot 17.922 \text{ kg} = 53.766 \text{ kg/a}$ Sondermüll (Lackschlamm, Wasser, Chemikaliengemisch/Abfallschlüsselnummer 080116) erreicht.
- Zudem hat sich im Laufe des Vorhabens ein weiterer positiver Umwelteffekt ergeben. Der von der Firma Bix entwickelte Pulverslurry kann in einem Arbeitsgang über ein handelsübliches Spraymixgerät aufgetragen werden. Als positiver Nebeneffekt ist der Materialaufwand zu sehen: Die ca. 25 kg Pulver, welche pro Kabine als Trennmittel benötigt werden, sind Reste aus Pulverlackierprozessen und müssten sonst entsorgt

werden. Insgesamt haben wir 500 kg Pulverreste aus den Lackierprozessen als Trennmittel im Rahmen des Rotationsbürstenverfahrens wiederverwerten können.

- Einsparung Schwermetalle (Chrom VI) in Höhe von ca. 4,8 t/a sowie Frisch- und Abwasser in Höhe von ca. 14.700 m³/a (Daten aus BVT Galvanik von 2005, Nr. 8.5.2 Referenzanlage C). Unser innovatives und umweltfreundliches Lacksystem kommt ohne Chrom VI aus. Die Schwermetalle und Abwässer werden eingespart.

3.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Die ursprünglich geplanten Gesamtausgaben des Investitionsvorhabens von 5.550.605 € wurden um 106.754,68 € überschritten und betragen 5.657.359,68 €. Die Überschreitung beruht im Wesentlichen auf einer Überschreitung der unter Teilvorhaben 4 eingeplanten Ausgaben für Gas- und Stromnetzanbindungen sowie Versorgungsleitungen. Die genauen Bestellparameter konnten erst im Laufe des Vorhabens konkretisiert werden und unsere Kostenabschätzungen wurden bei der Projektplanung zu gering kalkuliert. Zudem waren die Personalkosten für Optimierungs- und Anpassungsarbeiten größer als geplant.

Die Kapitalrückführung nach Durchführung der Erfolgskontrolle beträgt unter Berücksichtigung des Zuschusses ca. 4 Jahre unter Berücksichtigung der Finanzierungskosten, Abschreibungen und standardisierten Hochrechnungen und unterstellt eine Auslastung der Anlage ab dem 3. Quartal zu 95 % und ab dem 4. Quartal unter Vollauslastung. Die nachfolgende Rentabilitätsvorschau-Rechnung/dynamische Amortisationsrechnung verdeutlicht diese Berechnung. Wesentliche Kerndaten dieser Berechnung waren:

Energiepreise: Strom 0,1543 €/kW h / Gas 0,0529 €/kWh
Lackpreise: Mischpreis Grundierung, Basislack, Klarlack: 25,60 €/kg
Personalkosten: 1.050.000 €
Instandhaltungsaufwand: 123.780 €/a
Abschreibungsdauer: 10 Jahre
Kalkulatorischer Zins: 5%
Beschichtete Quadratmeterfläche Galvano-Optik:
1. Jahr (2016) 28.253 m², 2. Jahr (2017) 91.051 m²

Rentabilitätsvorschau-Rechnung

Innovatives u. umweltfreundliches Lacksystem für Automobil-Galvano-Optik
ohne Zuschuss

	2015		2016		2017		2018	
	Euro	%	Euro	%	Euro	%	Euro	%
Umsatzerlöse (Gesamtleistung)	138.620	100,0%	901.062	100,0%	2.000.000	100,0%	3.000.000	100,0%
Umsatzerlöse gesamt	138.620		901.062		2.000.000		3.000.000	
Wareneinsatz, Fremdl., Energie	46.299	33,4%	315.372	35,0%	700.000	35,0%	1.050.000	35,0%
= Rohgewinn 1	92.321	66,6%	585.690	65,0%	1.300.000	65,0%	1.950.000	65,0%
<i>J.</i> Personalkosten	20.239	14,6%	234.276	26,0%	520.000	26,0%	780.000	26,0%
= Rohgewinn 2	72.082	52,0%	351.414	39,0%	780.000	39,0%	1.170.000	39,0%
<i>J.</i> Raumkosten	1.603	1,2%	4.500	0,5%	10.000	0,5%	15.000	0,5%
<i>J.</i> Versicherungen, Beiträge	26.315	19,0%	26.700	3,0%	27.000	1,4%	30.000	1,0%
<i>J.</i> Kosten Warenabgabe	2.357	1,7%	15.300	1,7%	34.000	1,7%	51.000	1,7%
<i>J.</i> Instandhaltung/Reparaturen	20.123	14,5%	18.400	1,0%	60.000	3,0%	90.000	3,0%
<i>J.</i> Sonstige Aufwendungen	50.872	36,7%	130.000	14,4%	130.000	6,5%	150.000	5,0%
<i>J.</i> KSt/GewSt	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Summe Aufwand	101.269	73,1%	194.900	21,6%	261.000	13,1%	336.000	11,2%
= Erweiterter Cash Flow	-29.187	-21,1%	156.514	17,4%	519.000	26,0%	834.000	27,8%
<i>J.</i> Zinsen u. ähnliche Ausgaben	222.103	160,2%	223.000	160,9%	212.000	10,6%	189.000	6,3%
= Cash Flow	-251.289	-181,3%	-66.486	-7,4%	307.000	15,4%	645.000	21,5%
<i>J.</i> Abschreibungen	504.750	364,1%	673.000	74,7%	673.000	33,7%	673.000	22,4%
= Jahresergebnis	-756.039	-545,4%	-739.486	-82,1%	-366.000	-18,3%	-28.000	-0,9%
Ergebnis der gewöhnl. Geschäftstätigkeit	-756.039	-545,4%	-739.486	-82,1%	-366.000	-18,3%	-28.000	-0,9%

Tabelle 28: Amortisationsrechnung nach Erfolgskontrolle des Projektes ohne Berücksichtigung des gewährten Zuschusses

Rentabilitätsvorschau-Rechnung

Innovatives u. umweltfreundliches Lacksystem für Automobil-Galvano-Optik

nach Zuschuss

	2015		2016		2017		2018	
	Euro	%	Euro	%	Euro	%	Euro	%
Umsatzerlöse (Gesamtleistung)	138.620	100,0%	901.062	100,0%	2.000.000	100,0%	3.000.000	100,0%
Umsatzerlöse gesamt	138.620		901.062		2.000.000		3.000.000	
Wareneinsatz, Fremdl., Energie	46.299	33,4%	315.372	35,0%	700.000	35,0%	1.050.000	35,0%
= Rohgewinn 1	92.321	66,6%	585.690	65,0%	1.300.000	65,0%	1.950.000	65,0%
J. Personalkosten	20.239	14,6%	234.276	26,0%	520.000	26,0%	780.000	26,0%
= Rohgewinn 2	72.082	52,0%	351.414	39,0%	780.000	39,0%	1.170.000	39,0%
J. Raumkosten	1.603	1,2%	4.500	0,5%	10.000	0,5%	15.000	0,5%
J. Versicherungen, Beiträge	26.315	19,0%	26.700	3,0%	27.000	1,4%	30.000	1,0%
J. Kosten Warenabgabe	2.357	1,7%	15.300	1,7%	34.000	1,7%	51.000	1,7%
J. Instandhaltung/Reparaturen	20.123	14,5%	18.400	1,0%	60.000	3,0%	90.000	3,0%
J. Sonstige Aufwendungen	50.872	36,7%	130.000	14,4%	130.000	6,5%	150.000	5,0%
J. KSt/GewSt	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Summe Aufwand	101.269	73,1%	194.900	21,6%	261.000	13,1%	336.000	11,2%
= Erweiterter Cash Flow	-29.187	-21,1%	156.514	17,4%	519.000	26,0%	834.000	27,8%
J. Zinsen u. ähnliche Ausgaben	193.137	139,3%	194.000	140,0%	183.000	9,2%	160.000	5,3%
= Cash Flow	-222.324	-160,4%	-37.486	-4,2%	336.000	16,8%	674.000	22,5%
J. Abschreibungen	405.764	292,7%	507.000	56,3%	507.000	25,4%	507.000	16,9%
= Jahresergebnis	-628.088	-453,1%	-544.486	-60,4%	-171.000	-8,6%	167.000	5,6%
Ergebnis der gewöhnl. Geschäftstätigkeit	-628.088	-453,1%	-544.486	-60,4%	-171.000	-8,6%	167.000	5,6%

Tabelle 29: Amortisationsrechnung nach Erfolgskontrolle des Projektes unter Berücksichtigung des gewährten Zuschusses

3.5 Technischer Vergleich zu konventionellem Verfahren

Als technischen Innovationen sind in der neuen Lackieranlage folgende Lösungen realisiert:

- Die zu applizierenden Lackschichten sind nur wenige tausendstel Millimeter (μm) stark, deswegen müssen Fremdpartikel (Staub) sicher ausgeschlossen werden. Die Lackieranlage ist deshalb als Reinraumanlage konzipiert.
- Die Werkstücke werden nicht - wie bisher üblich - auf der Fördertechnik beschichtet, sondern von einem Handlingsroboter zum Lackierroboter und in die optimale Lackierposition bewegt. Dazu wird jede der drei Lackierkabinen mit je einem Handlings- und einem Lackierroboter ausgestattet.
- Die Oversprayabscheidung erfolgt nicht mit einer wasserberieselten Spritzwand, sondern erstmals mit einer Trockenabscheidung an rotierenden Bürsten, im Rotationsbürstenverfahren.

Die einzelnen technischen Innovationen werden nachfolgend erläutert:

Gestaltung des Beschichtungsprozesses

Stand der Technik bei der Kunststoffteilelackierung ist, dass die Werkstücke auf Gestellen mit einer Fördereinrichtung in die Lackierkabinen transportiert werden und von Robotern oder Flächenspritzeinheiten lackiert werden. Bei der geplanten Anlage wird an jeder Kabine ein Handhabungsroboter die Gestelle von der Fördereinrichtung abnehmen und in die Kabine schwenken. Der Lackierroboter wird die Werkstücke in Luftrichtung, also vertikal von oben nach unten, beschichten. Dadurch können die Kabinen im waagerechten Querschnitt ca. 20 % kleiner gebaut werden und ein Rückprall von Overspray wird vermieden. Durch die geringere Querschnittsfläche wird bei gleicher Luftsinkgeschwindigkeit auch 20 % weniger Energie zur Luftkonditionierung gebraucht.

Bei üblichen Lacksystemen wird jede Lackschicht zwischengetrocknet. Dafür ist jeder Lackierkabine ein Lackrockner nachgeschaltet. Bei der geplanten Anlage werden die drei Trockner in einem Gehäuse realisiert. Dadurch werden die Abstrahlverluste des Trockners um 40 % gegenüber herkömmlicher Bauart verringert.

Dosier- und Auftragstechnik

Um so extrem dünne Schichten gleichmässig auftragen zu können, braucht man eine spezielle Dosiertechnik, welche in der Lage ist, die geringen Dosiermengen von ca. 40 ml Lack/Minute zum Zerstäuber (Lackierpistole) zu befördern. Mit einer üblichen Pumpentechnik, welche dazu ausgelegt ist Lackmengen von 150-500 ml/Minute zu fördern, ist dies nicht möglich. Als weitere Herausforderung kommt hinzu, dass es sich bei den eingesetzten Lacksystemen um mehrkomponentige Lacke handelt. Dies bedeutet, dass bei Basislack und Grundierung 2 Komponenten, beim Klarlack sogar 3 Lackkomponenten, einzeln feinst dosiert über Lackleitungen zu einem Mischblock, befördert werden. In diesem Mischblock, welcher sich kurz vor der Lackierpistole befindet, werden die einzelnen Komponenten im vorgegebenen Verhältnis vermischt. Nur durch diese Vorgehensweise kann gewährleistet werden, dass immer eine gleichbleibende Lackqualität verarbeitet wird und keine chemischen Vorrreaktionen im Lackvorratsbehälter oder den Lackleitungen stattfinden.

Neues Chrom-Optik Lacksystem

Mit dem von Fa. Berlac entwickelten Lackaufbau ist man erstmals (entsprechende Lackieranlagentechnik vorausgesetzt) in der Lage Oberflächen zu erzeugen, welche bezüglich des optischen Erscheinungsbildes den Bauteilen, welche über galvanische Verfahren über Chrom VI erzeugt wurden, gleichzusetzen sind.

Da mit diesem Lacksystem die Spezifikationen der Automobilhersteller - sowohl im Fahrzeug Innenraum wie Außenbereich - erfüllt werden, ist hier erstmalig der Ersatz von Chrom VI haltigen Chrom-Oberflächen möglich.

Wesentliche Vorteile des innovativen Lacksystems für Automobil-Chrom-Optik sind:

- Ersatz von umweltbelastenden Galvanischen Prozessen über Chrom VI möglich
- Gewichtseinsparung im Vergleich zu galvanischen Prozessen möglich
- Korrosionsprobleme wie bei metallischer Verchromung bekannt, sind beim innovativen Lacksystem für Automobil-Chrom-Optik nicht gegeben

Mit dem innovativen Lacksystem für Automobil-Chrom-Optik ist es erstmalig möglich, Oberflächen zu erzeugen, welche optisch mit galvanisch erzeugten Oberflächen identisch sind.

Die nachfolgende Abbildung 27 soll dies anhand einer lackierten bzw. galvanisch beschichteten Lenkradzierblende des Automobilherstellers Volvo belegen.



Abbildung 27: Vergleich galvanisch erzeugte Lenkradzierblende für die Automarke Volvo links und über innovatives Lacksystem erzeugte Blende rechts

Der Nachweis, dass mit unserem innovativen Lacksystem die Anforderungen der Automobilindustrie erfüllt werden können, konnten wir durch Fertigung von Musterteilen auf einer Pilotanlage belegen, die entsprechende Freigaben der Firmen Audi, Daimler und VW erhielten.

Nachfolgend möchten wir noch einmal erläutern, welche Inhaltsstoffe die im neuen innovativen Verfahren zum Einsatz kommende Lacke, insbesondere hinsichtlich der Farbpigmente, haben. Als Nachweis für die chrom- bzw. schwermetallfreie Pigmentierung in unserem innovativen Lackverfahren verweisen wir zudem auf das nachfolgende Sicherheitsdatenblatt des Lackherstellers Berlac.

Im Vergleich zu galvanisch erzeugten Chromschichten, bei denen Chrom VI Verwendung findet, kann bei dem von uns beschriebenen Verfahren der gewünschte Farbeffekt über geringe Mengen umweltneutraler Aluminiumpigmente erzeugt werden, vergl. das Sicherheitsdatenblatt der Firma Berlac als Abbildung 28 sowie die Anlagen 6 (Berlac Abrasion Resist 2k Klarlack glanz, Technisches Merkblatt) und 7 (Berlac 2k Primer Reflexion mittelgrau, Technisches Merkblatt) im Anhang.

Sicherheitsdatenblatt
gemäß Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH)
gemäß Verordnung (EU) Nr. 453/2010



Artikel-Nr.: 088.047.100 BERLAC
Druckdatum: 29.01.2014 Bearbeitungsdatum 06.12.2013 DE
Version: 1.7 Ausgabedatum 06.12.2013 Seite 2 / 8

P370 + P378 Bei Brand: Löschpulver oder Sand zum Löschen verwenden.

enthält:

1-Methoxy-2-propanol

Ergänzende Gefahrenmerkmale (EU)

n.a.

Kennzeichnung (67/548/EWG oder 1999/45/EG)

Gefahrenhinweise

10 Entzündlich
67 Dämpfe können Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen.

Sicherheitshinweise

38 Bei unzureichender Belüftung Atemschutzgerät anlegen.
51 Nur in gut gelüfteten Bereichen verwenden.
23 Dampf nicht einatmen.

enthält:

n.a.

Besondere Kennzeichnung bestimmter Gemische

n.a.

2.3. **Sonstige Gefahren**

3. Zusammensetzung / Angaben zu Bestandteilen

3.2. **Gemische**

Produktbeschreibung / Chemische Charakterisierung

Beschreibung Aluminiumpigmente in Lösemitteln

Gefährliche Inhaltsstoffe

Einstufung gemäß Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 [CLP]

EG-Nr.	REACH-Nr.	Gew-%
CAS-Nr.	Chemische Bezeichnung	Bemerkung
INDEX-Nr.	Einstufung:	
203-539-1	01-2119457435-35-XXXX	
107-98-2	1-Methoxy-2-propanol	50 - 100
603-064-00-3	Flam. Liq. 3 H226 / Acute Tox. 4 H312 / STOT SE 3 H336	
203-603-9	01-2119475791-29-XXXX	
108-65-6	2-Methoxy-1-methylethylacetat	2,5 - 5
607-195-00-7	Flam. Liq. 3 H226	

Einstufung gemäß Richtlinie 67/548/EWG oder 1999/45/EG

EG-Nr.	REACH-Nr.	Gew-%
CAS-Nr.	Chemische Bezeichnung	Bemerkung
INDEX-Nr.	Einstufung:	
203-539-1	01-2119457435-35-XXXX	
107-98-2	1-Methoxy-2-propanol	50 - 100
603-064-00-3	R10 / R67	
203-603-9	01-2119475791-29-XXXX	
108-65-6	2-Methoxy-1-methylethylacetat	2,5 - 5
607-195-00-7	R10	*

Zusätzliche Hinweise

* Stoff mit einem gemeinschaftlichen Grenzwert (EG) für die Exposition am Arbeitsplatz.

Wortlaut der R-Sätze: siehe unter Abschnitt 16.

Wortlaut der H-Sätze: siehe unter Abschnitt 16.

4. Erste-Hilfe-Maßnahmen

4.1. **Beschreibung der Erste-Hilfe-Maßnahmen**

Allgemeine Hinweise

Bei Auftreten von Symptomen oder in Zweifelsfällen ärztlichen Rat einholen. Bei Bewusstlosigkeit nichts durch den Mund verabreichen, in stabile Seitenlage bringen und ärztlichen Rat einholen.

Nach Einatmen

Abbildung 28: Sicherheitsdatenblatt der Firma Berlac

Das innovative Verfahren steht in Konkurrenz zu anderen Technologien zur hochwertigen, dauerhaften Beschichtung von Kunststoffen, insbesondere - bezogen auf Produkte und deren Anwendung – zu den galvanotechnischen Verfahren.

Das Verfahren Trockeneisreinigung, Vorlackieren, Basislackieren, Decklackieren ist z.B. in der Kfz-Industrie schon lange Stand der Technik. Ebenso ist es üblich, Kunststoffteile vor einer Beschichtung mit Trockeneis zu reinigen, um die Korrosionsbeständigkeit zu gewährleisten.

Neu bei dem Verfahren ist, dass die optische Erscheinung und die Beständigkeit einer galvanisch aufgetragenen Chromschicht ausschließlich mit Lackschichten erreicht werden wird. Im Labormaßstab ist es bei einer Vielzahl von Teilen und Materialien gelungen, mit modifizierten Lacken die Schichten so aufzubauen, dass alle Anforderungen erfüllt werden.

4. Empfehlungen

4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Zur erfolgreichen Praxiseinführung hat maßgeblich beigetragen, dass wir mit den beteiligten Firmen in einem engen Kontakt standen und vertrauensvoll und lösungsorientiert zusammengearbeitet haben.

Als unumgängliche Grundvoraussetzung für ein Projekt dieser Größenordnung ist ein entsprechendes firmeneigenes Fachkräftepotential welches von der Planungsphase über Aufbau und späterer Umsetzung zur Verfügung steht und sich bei anstehenden Problemstellungen intensiv einbringen kann.

Die Risiken liegen für die erste großtechnische Produktionsanlage insbesondere in folgenden Punkten:

- Ist man mit dem gewählte Anlagenkonzept und den ausgewählten Komponenten grundsätzlich in der Lage, die an das Endprodukt gestellten Anforderungen zu erfüllen.
- Zudem ist es unerlässlich, dass Anforderungen wie Sauberkeit, Verfügbarkeit der Anlagentechnik und Produktionsgeschwindigkeit als Grundvoraussetzung erfüllt werden.
- Lassen sich die für das Lacksystem sehr engen Verarbeitungsfenster mit den dafür konzipierten Verarbeitungseinrichtungen auch wirklich prozesssicher erfüllen und können so die Anforderungen der Endkunden (Automobilindustrie) erfüllt werden.
- Sind die in Vorversuchen ermittelten Werte auf späteren Bauteilen überhaupt realisierbar oder müssen weiter Optimierungsschleifen beim Lacksystem wie auch bei der Anlagentechnik eingeführt werden. Hier war die enge Zusammenarbeit mit dem Anlagenlieferanten und dessen Einsatz in den Optimierungsarbeiten, die zum Teil auch noch andauern, von besonderer Bedeutung.

4.2 Modellcharakter

Das innovative Verfahren steht in Konkurrenz zu anderen Technologien zur hochwertigen, dauerhaften Beschichtung von Kunststoffen, insbesondere - bezogen auf Produkte und deren Anwendung – zu den galvanotechnischen Verfahren.

Neu bei dem innovativen und umweltfreundlichen Lacksystemverfahren ist, dass die optische Erscheinung und die Beständigkeit einer galvanisch aufgetragenen Chromschicht ausschließlich mit Lackschichten erreicht werden können.

Durch die Anwendung des innovativen-Verfahrens auf größere Bauteile werden z.T. völlig neue Anwendungsmöglichkeiten erschlossen:

- Ausweitung im Bereich Automobil, Zierteile wie Dachreling, Kühlergrill
- Beschläge
- Leuchten etc.

So werden fertigungs- und designtechnisch neue Dimensionen erschlossen, die sich für Hersteller und Endverbraucher vorteilhaft auswirken und durch andere Materialien nicht erzielt werden können: Verzicht auf Chrom, Gewichtsreduzierung durch andere Substrate (Kunststoff statt Stahl oder Aluminium). Unser Vorhaben bietet somit eine Übertragbarkeit auf andere und größere Bauteile für den Automobilbereich als auch auf andere Branchen und Produkte.

Durch den Bau einer ersten Serienlackieranlage, die auf die Beschichtung der Chrom-Optik spezialisiert ist, konnte das Verfahren in ersten Schritten am Markt etabliert werden. Die Anzahl an Anfragen und an laufenden Projekten steigt zurzeit kontinuierlich an. Zur Aufrechterhaltung der Kapazitäten am Markt, beschäftigt sich die Fa. Bix Lackierungen daher bereits mit Planungen zur Realisierung einer weiteren Lackieranlage. Auf Grund der großen Nachfrage innerhalb eines großen Marktes, ist es wünschenswert, wenn auch weitere Mitbewerber sich zu diesem Schritt entschließen und damit eine große Marktdurchdringung mit der Galvanik-Optik erzielt werden kann.

Als direkte Anwender dieser technischen Innovation kommen in Deutschland ca. 5-10 Mitbewerber aus dem Bereich der Automobilindustrie mit vergleichbaren Angebotspektren in Frage. Die Ergebnisse unseres Vorhabens werden wir zusammen mit der Effizienz-Agentur NRW in deren Loseblattsammlung veröffentlichen.

4.3 Zusammenfassung

Im Rahmen des Vorhabens sollte nachgewiesen werden, dass mit Umsetzung des innovativen und umweltfreundlichen Lacksystems für Automobil-Chrom-Optik die Aufbringung einer korrosionsbeständigen chromfreien Schichtsystems (auf Kunststoffsubstrate) möglich ist, welches funktionell und optisch mit dem galvanischen Verchromen identisch ist. Auf diese Weise kann die galvanische Verchromung im Innen- und Außenbereich von Kraftfahrzeugen vollständig durch ein innovatives Lackierverfahren ersetzt und der Einsatz von Schwermetallen (Chrom VI) vermieden werden.

Während es bisher bei den über eine galvanische Verchromung hergestellten Chromteilen verbreitet zu Korrosionsschäden kommt, ist das neue Lacksystem vorwiegend auf organischen Stoffen und Aluminiumpigmenten (im „farbgebenden“ Basislack) aufgebaut.

Im durchgeführten Messprogramm (Mai 2016 bis Oktober 2016) wurden spezifische Messdaten ermittelt, die auf eine Jahresproduktion von 173.000 m³ (entspricht einer Durchsatzleistung von 3.000.000 Bauteilen/a) hochgerechnet wurden. Im Ergebnis reduziert sich der jährliche spezifische Gesamtenergieverbrauch im Vergleich zum herkömmlichen Lackierverfahren um 25,65 kWh/m² auf 16,55 kWh/m² (um 60%). Bezogen auf die Energieeinsparung wird eine CO₂-Einsparung von 2.217 t/a CO₂ realisiert. Im Vergleich zur galvanischen Beschichtung können 4,8 t Schwermetalle (Chrom VI) und Frisch- und Abwassermengen in Höhe von ca. 14.700 m³/a vermieden werden.

Es ergibt sich durch die hochgerechneten Material- Energiekosteneinsparung ein Kapitalrückfluss nach 4 Jahren. Die tatsächlichen Kosten für das Vorhaben betragen 5.695.529,23 €.

Die Anwendung kann auf größere Bauteile im Bereich Automobil (Zierleisten, Kühlergrill, Beschläge und Leuchten) ausgeweitet werden.

Anlagen:

Anlage 1: DEKRA Messprotokoll vom 24.05.2016, Protokoll-Nr.
12186/421600/24115/555342361

Anlage 2: Dekra Messprotokoll vom 26.07.2016, Protokoll-Nr.
12186/421600/24115/555042069/1

Anlage 3: Prüfbericht, Wörwag Services, Prüfung VW TL 161 Ausgabe 10.2014, B von August
2016

Anlage 4: Internes Prüfprotokoll Bix Lackierungen vom 23.05.2016

Anlage 5: Prüfbericht Kunststoff Institut Lüdenscheid, Auftragsnr. LP 15.2044 vom 15.02.2016

Anlage 6: Berlac Abrasion Resisst 2 k Klarlack, glanz, Technisches Merkblatt

Anlage 7: Berlac 2k Primer für Reflexion, mittelgrau, Technisches Merkblatt