BMU-UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM

Abschlussbericht

zum Vorhaben:

„Innovative Industrie 4.0 Rondelllackieranlage“

NKa3 – 003406

Zuwendungsempfänger/-in:

Lothar Bix GmbH

Umweltbereich

(Umweltschutz, Ressourceneffizienz, Energie)

Laufzeit des Vorhabens

19.07.2018 – 31.10.2019

Autoren

Christoph Bix, Daniela Derißen

Gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Datum der Erstellung

01.03.2020

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen UBA: 3406	**Vorhaben-Nr.** NKa3 – 003406
Titel des Vorhabens: „Innovative Industrie 4.0 Rondelllackieranlage“	
Autoren: Christoph Bix, Bix Lackierungen GmbH Daniela Derißen, prisma consult GmbH / Effizienz-Agentur NRW	**Vorhabensbeginn:** 19.07.2018
	Vorhabenende (Abschlussdatum): 31.10.2019
Zuwendungsempfänger: Lothar Bix GmbH Industriestr. 5 88506 Meßkirch	**Veröffentlichungsdatum:** 30.06.2020
	Seitenzahl: 40
Gefördert im BMU-Umweltinnovationsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit	

Kurzfassung:

Die Lothar Bix GmbH realisierte ein ressourceneffizientes und innovatives Rondelllackierverfahren: das Vorhaben „Industrie 4.0 Rondelllackieranlage“ hatte zum Ziel, die notwendigen Prozessschritte zur qualitativ hochwertigen Beschichtung von Kunststoff-substraten flexibel, auf kleinsten Raum und mit geringstem Energieeinsatz zu realisieren. Durch die platzsparende neue Kombination von Trockeneisreinigung, Lackierung und Trocknung wird erstmals eine vollautomatisch verkettete Rondell-Beschichtungsanlage ohne Fördertechnik realisiert. Die innovative Lackieranlage erfüllt alle Anforderung, die bislang nur mit Durchlaufanlagen erreicht wurden, es können aber auch sehr kleine Losgrößen wirtschaftlich beschichtet werden.

Die Innovation der Anlage besteht insbesondere in dem Rondelltrockner, mit dem die Prozessschritte auf übereinander angeordneten Ebenen erfolgen. Die Ergebnisse des Vorhabens wurden über eine Erfolgskontrolle ermittelt und zeichnen sich durch die nachfolgenden positiven Effekte bzw. Umweltwirkungen aus (bezogen auf eine Lackierleistung von 80.568 m²/a, Vergleich einer Referenz 2-Kabinenanlage mit der Rondelllackieranlage):

- Reduktion Ausschuss (gemittelt) um 52,51 %
- Energieeinsparung Strom (kwh/m²) um 17,10 %
- Energieeinsparung Gas (kwh/m²) um 100,00 %
- Reduktion Frischlufteinsatz (m³/h) um 73,98 %
- Reduktion Lärm um 10,96 %
- Reduktion Platzbedarf bezogen auf Lackierleistung um 66,58 %
- Steigerung der Lackierleistung (m²/h) um 27,52 %

Die Einsparung an CO_2-Emissionen beträgt mit Umsetzung des Vorhabens insgesamt ca. 97,55 t CO_2/a.

Das ressourceneffiziente und innovative Kunststoffbeschichtungsverfahren hat Modellcharakter für die Branche und kann auf die Bereiche Innenausbau von Gebäuden, Gehäusefertigung von hochwertigen Geräten, z.B. Elektro- und Elektronikindustrie, übertragen werden.	
Schlagwörter: Rondelllackierverfahren, Rondell-Beschichtungsanlage ohne Fördertechnik	
Anzahl der gelieferten Berichte Papierform: 5 Elektronischer Datenträger: 1	**Sonstige Medien** EFA-Loseblattsammlung und Veröffentlichung im Internet geplant auf der Homepage: https://www.bix-lackierungen.de/

Report-Coversheet

Reference-No. Federal Environment Agency: 3408	**Project-No.:** NKa3 – 003406
Report Title: „Innovative new resource saving painting line“	
Authors: Christoph Bix, Lothar Bix GmbH Daniela Derißen, prisma consult GmbH / Effizienz-Agentur NRW	**Start of project:** 19.07.2018 **End of procject:** 31.10.2019
Lothar Bix GmbH Industriestr. 5 88506 Meßkirch	**Publication Date:** 30.06.2020 **N of Pages:** 40
Funded in the Environmental Innovation Programme of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety.	

Summary:

Lothar Bix GmbH realised a resource-saving and innovative painting process which is based on a new resource saving painting line. The target of the project was to achieve high quality finishes of painted plastic parts with minimum input of space and energy. This goal result in a new painting line which connects the different process areas CO_2-cleaning, painting and drying without using a standard conveyor. Instead the zones are connected via a flexible robot which transports the parts to the intended area. The produced parts are equivalent to parts produced with standard conveyor painting lines. Because of the modular concept the new painting line has huge advantages in production of small lots or different paint builds.

The primary innovation is the rotary oven which combines different process steps on three different horizontal levels. The capability was observed during a trial period. Following positive environmental effects were recorded. (absolute values are based on the painting capacity of 80.568 m²/a and are compared to a state of the art conveyor system painting line):

- reduction of scrap rate (average) by 52,51 %
- reduction of electricity usage (kwh/m²) by 17,10 %
- reduction of gas consumption (kwh/m²) by 100,00 %
- reduction of fresh air (m³/h) by 73,98 %
- decrease of noise generation by 10,96 %
- decrease of space consumption based on painting capacity by 66,58 %
- increase of painting efficiency (m²/h) by 27,52 %

The reduction of CO_2-emission leads to savings of approx. 97,55 t/a.

Keywords: Painting line, painting and drying without using a standard conveyor

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis 7
1. Einleitung 8
1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens 8
1.2 Ausgangssituation 8
2. Vorhabensumsetzung 10
2.1 Ziel des Vorhabens 10
2.2 Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten) 14
2.3 Umsetzung des Vorhabens 18
2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen) 27
2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten 27
2.6 Konzeption und Durchführung der Erfolgskontrolle 28
3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung 28
3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung 28
3.2 Stoff- und Energiebilanz 28
3.3 Umweltbilanz 33
3.4 Wirtschaftlichkeitsanlayse 34
3.5 Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren 35
4. Übertragbarkeit 36
4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung 36
4.2 Modellcharakter/Übertragbarkeit 36
5. Zusammenfassung/Summary 37
5.1 Zusammenfassung 37
5.2 Summary 39

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Foto des Produktionsstandortes (Industriestraße 5, 88605 Meßkirch) 8
Abbildung 2: Ablaufplan und Platzbedarf konventionelle Lackieranlage 10
Abbildung 3: Aufbauplan und Platzbedarf innovativer Rondelllackieranlage 16
Abbildung 4: Platzbedarf herkömmliche Anlage und innovative Rondelllackieranlage im Maßstabsvergleich (Maßstab 100:1) 17
Abbildung 5: Einhausung mit Bürstenabscheidung im Kellerbereich 19
Abbildung 6: Stützen für den 2. Stock der Anlage 20
Abbildung 7: Grundgerüst des Rondelltrockners 20
Abbildung 8: Einhausung der Anlage 21
Abbildung 9: Vorratsbehälter der Lackversorgung 22
Abbildung 10: Anlage nach Abschluss der elektrischen Aufbauarbeiten (Seitenansicht) 23
Abbildung 11: Anlage nach Abschluss der elektrischen Aufbauarbeiten (Frontansicht) 23
Abbildung 12: Handlingsroboter bei der Beschickung des Ofens 24
Abbildung 13: Einstellung der IR-Parameter über Temperaturmessung 25
Abbildung 14: Temperaturmessung eines Testlaufs 25
Abbildung 15: Ablaufschema Lackierung Musterplatten 26
Abbildung 16: Testlackierung von Musterplatten 26
Abbildung 17: Handlingsroboter beim Verfahren von Bauteilen zwischen Anlagenteilen 27

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Umwelteffekte, die mit der Industrie 4.0 Rondelllackieranlage erwartet wurden 12
Tabelle 2: Projektplan 19
Tabelle 3: Lackierleistung während der Erfolgskontrolle 29
Tabelle 4: Stromverbrauch während der Erfolgskontrolle 30
Tabelle 5: Lärmmessung am Arbeitsplatz des Anlagenbedieners 30
Tabelle 6: Lack, Lösemittel und Härterverbrauch Rondelllackieranlage 31
Tabelle 7: Ausschussanteil verschiedene Projekte im Beobachtungszeitraum 32
Tabelle 8: Umwelteffekte nach Vorhabenumsetzung 32
Tabelle 9: Jährliche CO_2 Einsparung durch Vorhabenumsetzung im 3-Schichtbetrieb 33
Tabelle 10: Jährliche Umwelteffekte durch Vorhabenumsetzung im 3-Schichtbetrieb 34
Tabelle 11: Amortisationsrechnung nach Erfolgskontrolle des Projekts 35
Tabelle 12: Umwelteffekte nach Vorhabenumsetzung 37
Tabelle 13: Jährliche CO_2 Einsparung durch Vorhabenumsetzung im 3-Schichtbetrieb 38
Table 14: Environmental effects 39
Table 15: Annual CO_2 decrease based on a 3 shift production 39

1. Einleitung

1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens

Die Lothar Bix GmbH ist ein mittelständischer Oberflächenveredeler und seit 130 Jahren spezialisiert auf hochwertige Beschichtungen. Primäre Aufgabe der Firma Bix ist die Oberflächenvergütung durch Lackieren, Bedrucken und Bedampfen. Die Lothar Bix GmbH besitzt ein umfassendes, in mehr als 130 Jahren praktischer Erfahrung erworbenes Know-how, das sie in Verbindung mit modernster Anlagentechnik und Qualitätssicherung (ISO 9001:2010) für die Einzelfertigung sowie automatisierte Serienfertigung hochwertiger Teile für die Automobil- und Elektrogeräteindustrie einsetzt.

Auf einer Produktionsfläche von über 15.000 m² befindet sich eine große Bandbreite an Verfahren zur industriellen Lackierung von Kunststoff- und Metalloberflächen: Nass- und Pulverbeschichtung, Sieb- und Tampondruck, Laserbeschriftungen, Aluminiumbedampfung sowie Folien- und Werbebeschriftung.

Zum KMU-Firmenverbund gehören die Firma Bix Lackierungen GmbH und das Unternehmen Bix Beschichtungen GmbH aufgrund der familiären Verflechtungen.

Abbildung 1: Foto des Produktionsstandortes (Industriestraße 5, 88605 Meßkirch)

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). Der Verfahrensablauf der industriellen Lackierung ist prinzipiell immer identisch. Dem Beschichtungsprozess geht grundsätzlich eine Entfettung/Reinigung (Vorbehandlung) voraus. Wenn mehrere Lackschichten aufgetragen werden sollen, findet nach jeder Beschichtung mindestens das Ablüften oder häufiger eine Zwischentrocknung statt. Nach dem Auftragen der finalen Decklackschicht wird die gesamte Beschichtung in jedem Fall getrocknet bzw. ausgehärtet.

Nachfolgend wird der Stand der Technik für Lackieranlagen zum vollautomatischen Reinigen und Lackieren von Kunststoffteilen für Kfz-Interieur mit lösemittelbasierten Lacken mit den wichtigsten Abläufen skizziert:

1. An einer Aufgabe/Abnahme werden die Werkstücke manuell auf Warenaufnahmen eines Stetigförderers befestigt. Die Warenaufnahmen sind auf Grundträgern der Laufwagen in definierter Lage fixiert. Gelegentlich werden die Warenaufnahmen vollautomatisch durch Barcodes getaktet durch die Anlagenteile gesteuert.

2. In einem ersten Schritt erfolgt die automatische Reinigung der Werkstücke durch Power-Wash oder mit Hilfe von Trockeneis durch einen Roboter, außerdem beseitigt eine Ionisiereinrichtung letzte Staubanhaftungen.

3. Anschließend werden die Teile über den Förderer von der Reinigungskabine zur Grundlackkabine transportiert. Hier werden die Werkstücke auf den Grundträgern von einem Lackierroboter spritzlackiert. Danach werden die Warenaufnahmen durch die Abdunstzone gefördert, in der die Lösemittel aus der Lackschicht verdunsten sollen. Die Abdunstzone ist von der Länge so ausgelegt, dass je nach Bandgeschwindigkeit eine Abdunstzeit von 10-15 min eingehalten werden kann.

4. Anschließend werden die Grundträger in den Grundlacktrockner gefördert, damit der Lack dort für ca. 30 min bei ca. 80°C vernetzen kann.

5. Nach der Ofentrocknung durchlaufen die Werkstücke eine Kühlzone. Hier kühlen sie soweit ab, dass sie weiterbeschichtet werden können.

6. Nach der Kühlzone werden die Werkstücke in die Decklackkabine gefördert. Hier werden die Werkstücke von einem Lackierroboter auf den Warenaufnahmen mit einem Decklack spritzlackiert. Danach werden die Warenaufnahmen wieder durch eine Abdunstzone gefördert, in der die Lösemittel aus der Lackschicht verdunsten sollen. Anschließend durchlaufen die Warenträger erneut für ca. 30 min bei ca. 80°C den Decklacktrockner. Daraufhin durchlaufen die Werkstücke erneut eine Kühlzone. Hier kühlen sie soweit ab, dass sie abgenommen werden können.

7. Abschließend fahren die Werkstücke zur Aufgabe/Abnahme, wo sie manuell abgenommen werden.

Wenn ein Schichtaufbau mit 3 Lackschichten erforderlich ist, wird der o.g. Ablauf entsprechend ein weiteres Mal vorgesehen. Das bedeutet, dass die Grundträger ein weiteres Mal durch die Lackierkabine, Abdunstzone, Ofen und Kühlzone transportiert werden und dort die entsprechenden Zeiten auch verweilen müssen. Bei Lacksystemen, die für eine Nass-in-Nass Lackierung ausgelegt sind, kann die Trocknung nach dem Grundlack auch entfallen. Beide Lackschichten werden dann nach der Applikation des Decklacks gemeinsam ausgehärtet. Nass-in-Nass-Lackierungen sind aufgrund technischer Schwierigkeiten eher die Ausnahme. Die lösemittelhaltige Abluft aller Anlagenteile wird zur Abluftreinigung einer zentralen Abluftreinigungsanlage zugeführt.

Nachfolgende Abbildung 2 visualisiert den Aufbau und Platzbedarf einer konventionellen 2-Kabinen-Lackieranlage und visualisiert die beschriebenen Arbeitsschritte 1-7.

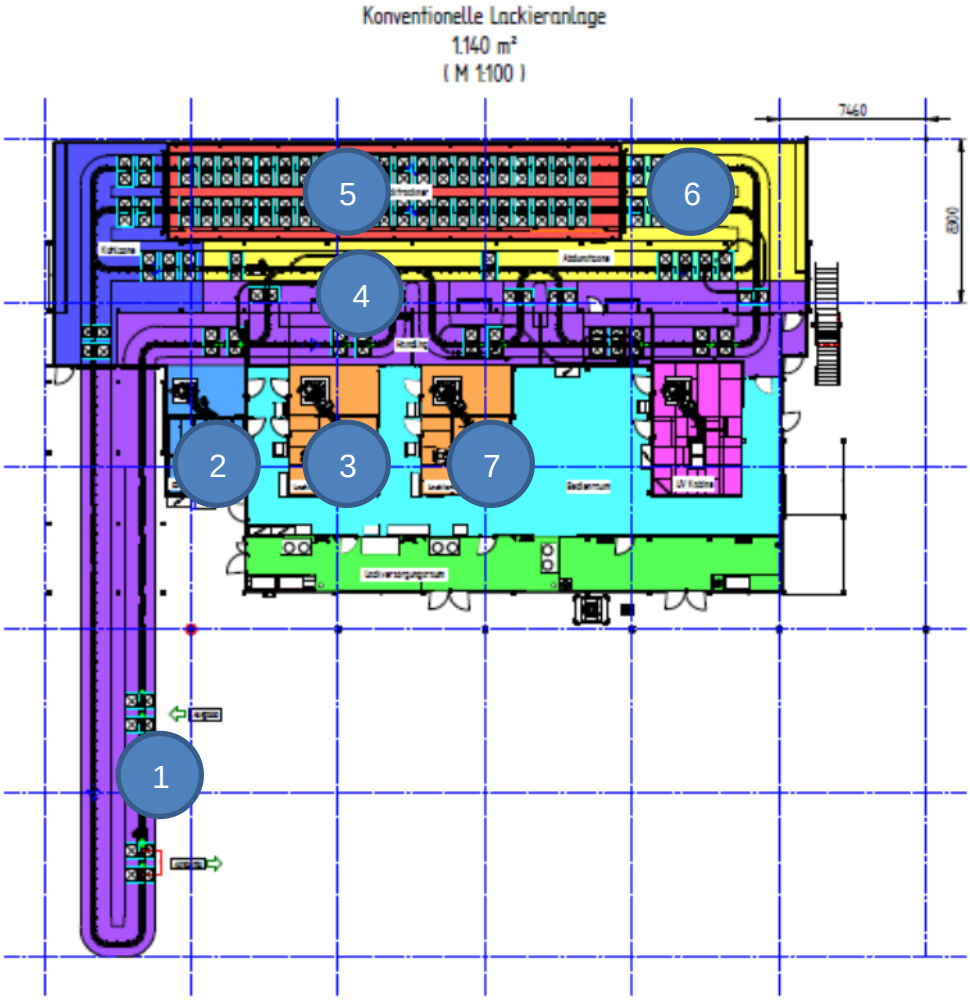

Abbildung 2: Ablaufplan und Platzbedarf konventionelle Lackieranlage

1. Aufgabe/Abnahme und Förderkette
2. Trockeneisreinigung
3. Grundlackkabine
4. Abdunstzone
5. Ofen
6. Kühlzone
7. Decklackkabine

2. Vorhabensumsetzung

2.1 Ziel des Vorhabens

Das geplante Vorhaben „Industrie 4.0 Rondelllackieranlage“ hat zum Ziel, die notwendigen Prozessschritte zur qualitativ hochwertigen Beschichtung von Kunststoffsubstraten flexibel, auf kleinsten Raum und mit geringstem Energieeinsatz zu realisieren. Durch die platzsparende neue Kombination von Trockeneisreinigung, Lackierung und Trocknung wird erstmals eine vollautomatisch verkettete Rondell-Beschichtungsanlage ohne Fördertechnik realisiert.

Dazu soll erstmalig eine innovative Reinigungs- und Beschichtungsanlage großtechnisch errichtet werden, in der Kunststoffteile nach einer manuellen Aufgabe vollautomatisch zunächst mit Trockeneis gereinigt und anschließend mit einer Lackbeschichtung versehen werden. Die Werkstücke werden dabei auf Werkstückträgern von einem Roboter zwischen den Prozessbereichen weiterbewegt. Die Lackierung erfolgt durch einen zweiten Roboter. Abnahme und Qualitätskontrolle der beschichteten Teile erfolgen wiederum manuell. Die Prozessschritte abdunsten, trocknen und abkühlen erfolgen in einem neuartigen, innovativen Rondelltrockner, in dem die Prozessschritte auf übereinander angeordneten Ebenen erfolgen. Dadurch soll der derzeitige Aufbau von Beschichtungsanlagen mit starren Prozesszonen, welche durch einen Stetigförderer verbunden sind, abgelöst werden. Die aus dem bisherigen Verfahren resultierenden Nachteile – z.B. Flächenbedarf, festgelegter Durchsatz und unflexible Prozessabfolge – sollen durch das neuartige Anlagenkonzept eliminiert werden.

Die sich aus der Anwendung des neuen Verfahrens ergebenden Umwelteffekte sind auf Basis einer Lackierleistung von ca. 100.000 m²/a angegeben und werden zu den jeweiligen bisher angewendeten Lackierverfahren in Beziehung gesetzt. Um eine ausreichende Vergleichbarkeit mit anderen Anlagenkonzepten zu erreichen, wird hier absichtlich der Begriff Lackierleistung verwendet. Damit ist die Fläche gemeint, die in einer bestimmten Zeit lackiert werden kann und nicht die Bauteiloberfläche. Ohne diese Differenzierung ist es nicht möglich eine 2-Kabinenanlage, die eine 2-Schichtlackierung durchführt mit einer 1-Kabinenanlage, die eine 3-Schichtlackierung durchführt zu vergleichen. Durch die Verwendung der reinen Lackierleistung ist dies aber möglich, da es einen einheitlichen Bezugswert gibt.

Eine 2-Kabinen Anlage wird entsprechend, bei gleicher Taktzeit, eine doppelt so hohe Lackierleistung erreichen wie eine 1-Kabinenanlage. Durch Vergleich des spezifischen Energie- und Ressourcenverbrauchs bezogen auf die Lackierleistung ist eine Vergleichbarkeit zwischen unterschiedlichen Anlagenkonzepten möglich.

Wie den nachfolgenden Tabellen zu entnehmen, besitzt die geplante Rondelllackieranlage nicht nur in absoluten Zahlen ein enormes Einsparpotential, sondern es kann auch bei einer spezifischen, auf Lackierleistung bezogenen, Vergleichsbetrachtung eine erheblich erhöhte Energieeffizienz erzielt werden.

Tabelle 1 visualisiert die mit der Industrie 4.0-Rondelllackieranlage erwarteten Umwelteffekte.

	Einheit	Stand der Technik bei der Firma Bix 2-Kabinen Anlage	Industrie 4.0 Rondelllackier-anlage 1-Kabinen Anlage	Ein-sparung
Lackierleistung	[m²/h]	36,8	18,4	-
Anschlusswert elektrisch	[kWh]	305	110	195
Energieverbrauch Strom Abdunst-/Abkühlzone Trockner	[kWh]	146	62	84
Energieverbrauch Gas	[kWh]	138	entfällt	138
Energieverbrauch Stetigförderer	[kWh]	5	entfällt	5

Abstrahlverluste Trockneroberfläche	[kWh]	16,5	8,6	7,9
Wärmeverluste Stetigförderer (bezogen auf Kette/Laufwagen)	[kWh]	46	0	0
Frischlufteinsatz	[m³/h]	25.500	2.000	23.500
Energiebedarf Frischluftbereitung	[kWh]	24	2	22
Platzbedarf	[m²]	1140	240	900
Bezogener Platzbedarf Lackierfläche/Produktionsfläche	[m²/m²]	175,43	416,67	241,24
Ausschuss	[%]	30	25	5
CO_2-Freisetzung (Trockeneisreinigung) kg/m²	[kg/m²]	5,12	3,15	1,97

Tabelle 1: Umwelteffekte, die mit der Industrie 4.0 Rondelllackieranlage erwartet wurden

Anlage und Erläuterung zur Berechnung der Energiebilanz

Vergleich konventionelle Lackieranlage (2 Lackierkabinen) – Rondellanlage, Anlagendurchsatz 36,8 m²/h – 18,4 m²/h für vergleichbare Funktionen.

	Einheit	Konventionell		Rondellanlage	
Teilereinigung	[kWh]	CO_2-Strahlen	14	CO_2-Strahlen	16
Lacktrocknung	[kWh]	Gasbrenner	138	IR-Strahler	37
	[kWh]	Umluft-/Abluftventilatoren	46	Umluft-/Abluftventilatoren	7
Abdunstzone	[kWh]	Umluftventilator	32	In Trockner enthalten	0
Kühlzone	[kWh]	Umluftventilator	30	In Trockner enthalten	0
Frischluftaufbereitung	[kWh]	Zuluftventilator	24	Zuluftventilator	2
Gas	[kWh]		138		0
Strom	[kWh]		146		62
Gesamt	[kWh]		284		62
	[kWh/m²]		7,7		3,4

Vergleich konventionelle Lackieranlage (2 Lackierkabinen) – Rondellanlage, Anlagendurchsatz 36,8 m²/h – 18,4 m²/h Gesamtverbrauch 2 Kabinen mit Trockenabscheidung und UV-Härtung – Gesamtverbrauch 1-Kabinenanlage.

	Einheit	Konventionell	Rondellanlage
Energieverbrauch für vergleichbare Funktionen	[kWh]	284	62
Energieverbrauch für nicht vergleichbare Funktionen[1]	[kWh]	159	48
Energieverbrauch gesamt	[kWh]	443	110
	[kWh/m^2]	12	5,5

Energieeinsparungen im Vergleich konventionelle Anlage nach Stand der Technik zu Rondelllackieranlage

	Einheit	Einsparung		
Teilereinigung	[kWh]	CO_2-Strahlen	-2	Mehrverbrauch durch aufwendigere Lüftungstechnik zur Einsparung von Frischluft
Lacktrocknung	[kWh]	IR-Strahler	101	
	[kWh]	Umluft-/Abluftventilatoren	39	
Abdunstzone	[kWh]	Umluftventilator	32	
Kühlzone	[kWh]	Umluftventilator	30	
Frischluftaufbereitung	[kWh]	Zuluftventilator	22	
	[kWh]	Zulufterwärmung	94	Gerechnet mit mittlerer Jahrestemperatur 8°C, Erwärmung mit PWW[2] oder Gasflächenbrenner
Energieeinsparung	[kWh]		316	

[1] Diffuse Stromverbräuche die in der Produktion anfallen, sich aber nicht genau abgrenzen lassen (Stromverbrauch durch Schaltschränke über Steckdosen, Beleuchtung etc.)
[2] Abkürzung für Pumpen Warm Wasser

Hinweise und Erläuterungen zur Berechnung der Umwelteffekte:

Annahmen für die Berechnung:

Lackierzeit: 3 min
Lackierfläche: 0,92 m²
Jährliche Produktionsstunden: 5400h

Lackierleistung [m²/h]:

Lackierleistung = $\frac{60\ min * 0{,}92\ m^2}{3\ min}$ = 18,4 m²/h

Lackierleistung = $\frac{60\ min * 0{,}92\ m^2}{3\ min} * 5400$ = 99.360 m²/a

Bezogener Platzbedarf [m² Lackierleistung / m² Grundfläche]:

Bezogener Platzbedarf Stand der Technik = $\frac{200.000 m^2}{1140 m^2} = 175{,}43\ m^2/m^2$

Bezogener Platzbedarf Industrie 4.0 Rondellackieranlage = $\frac{100.000 m^2}{240 m^2} = 416{,}67\ m^2/m^2$

Bezogene CO_2 - Freisetzung [kg/m²]:

Annahmen für die Berechnung:

CO_2 – Freisetzung (Strom): 527 g/kWh
CO_2 – Freisetzung (Gas): 201 g/kWh

$$CO_2 - Freisetzung\ Referenz = \frac{305\ kWh * 0{,}527 \frac{kg}{kWh} + 138\ kWh * 0{,}201 \frac{kg}{kWh}}{36{,}8 \frac{m^2}{h}} = 5{,}12 \frac{kg}{m^2}$$

$$CO_2 - Freisetzung\ Rondellanlage = \frac{110\ kWh * 0{,}527 \frac{kg}{kWh}}{18{,}4 \frac{m^2}{h}} = 3{,}15 \frac{kg}{m^2}$$

2.2 Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

Das Vorhaben „Industrie 4.0 Rondelllackieranlage“ hat zum Ziel, die notwendigen Prozessschritte zur qualitativ hochwertigen Beschichtung von Kunststoffsubstraten flexibel, auf kleinsten Raum und mit geringstem Energieeinsatz zu realisieren.

Dazu soll erstmalig eine innovative Reinigungs- und Beschichtungsanlage großtechnisch errichtet werden, in der Kunststoffteile nach einer manuellen Aufgabe vollautomatisch zunächst mit Trockeneis gereinigt und anschließend mit einer Lackbeschichtung versehen werden. Die Werkstücke werden dabei auf Werkstückträgern von einem Roboter zwischen den Prozessbereichen weiterbewegt. Die Lackierung erfolgt durch einen zweiten Roboter. Abnahme und Qualitätskontrolle der beschichteten Teile erfolgen wiederum manuell. Die Prozessschritte Abdunsten, Trocknen und Abkühlen erfolgen in einem neuartigen, innovativen Rondelltrockner, in dem die Prozessschritte auf übereinander angeordneten Ebenen erfolgen. Die Werkstückträger werden von dem Roboter zwischen den Ebenen versetzt. Um die erforderliche Oberflächengüte zu gewährleisten, ist die gesamte Beschichtungsanlage als Reinraumlackier-anlage konzipiert.

Die Anlage besteht aus den Komponenten:

- Handlingsroboter mit Handlings-Reinraum: Verzicht auf störanfälligen Stetigförderer in der gesamten Anlagenkonfiguration.
  Einsatz von einem Handlingsroboter für das Umsetzen der Warenträger zwischen Zufuhr-/Abfuhrrollenband, CO_2-Reinigen, Lackieren und Beschicken des Trocknungsrondells; der Handlingsroboter ersetzt die sonst erforderliche und störanfällige Fördertechnik.
  Effektive Zeitnutzung des Roboters durch parallele Aufgaben, die durch Ablegen der Lackiergitter auf speziellen Halterungen während der Prozesse realisiert wird.
- Trockeneisreinigungskabine: Die vorgeschalte CO_2-Reinigung ist modular; ein Bauteil kann isoliert aus dem Prozess ausgeschleust werden. Dadurch wird bei Bauteilen, die z.B. nur grundiert werden müssen, die Durchlaufzeit erheblich verkürzt.
- Applikationstechnik mit Lackierroboter
- Lackierkabine für herkömmliche, lösemittelbasierte 2K-Lacksysteme und 2K wasserbasierte Lacksysteme: Um maximale Lackierauslastung zu gewährleisten sind zwei Lackierpositionen, die 180° versetzt sind, vorhanden. Auf diese Weise kann der Roboter kontinuierlich, ohne Wartezeiten, lackieren.
- Rotationstrockner für Abdunsten, Trocknen, Kühlen: Ablüftung, Abdunsten und Trocknen sind in der Rondelllackieranlage übereinander angeordnet. Es können alle gängigen 2K-PUR-Lackschichten oder Lackaufbauten verarbeitet werden. Bei einem Mehrschicht Lackaufbau (3 Schichten) kann hintereinander weg lackiert werden, indem dreimal im Rondell gefahren wird, somit ideal für Kleinserien. Es kommt ein Infrarottrockner über dem obersten Rondell zum Einsatz. Im Gegensatz zu Konvektionsöfen muss deshalb nicht der gesamte Ofenraum geheizt werden. Die Infrarottrockner werden gezielt zur Trocknung der Lackschicht eingesetzt. Durch das gezielte Trocknen des Lackes und den Wegfall eines Förderers wird zudem der Wärmeverlust reduziert. Zudem sind Abdunstzonen und Kühlzonen in das Trocknungsrondell integriert, dadurch deutlich reduzierter Aufwand für die Belüftung dieser Zonen.
  Die Luft wird oben angezogen und nach unten weitergleitet. Die Luft wird so oft wie möglich genutzt: Die Abluft aus der CO_2-Reinigung wird als Zuluft für die Lackierung genutzt. Durch diese Kaskadenführung werden nur noch 2.000 m³/h Frischluft benötigt, 16.000 m³/h werden im Kreis geführt und dazu mehrfach gefiltert.
- Die Trocken-Bürstenabscheidung für die eingesetzten Lacksysteme ist in folgenden Punkten weiterentwickelt worden und geht über die umgesetzte Trocken-Bürstenabscheidung im geförderten Vorhaben (vergl. KfW-Aktenzeichen NKa3-002136, „Innovatives und umweltfreundliches Lacksystem für Automobil-Galvano-Optik“) hinaus:
  - Einsatz von Abstreifern mit abgestuften Längen, d.h. abgestuften Eindringtiefen in die Bürsten
  - Anordnung der Abstreifer auf einer rotierenden Welle
  - Antrieb über Zahnradgetriebe statt Kettenantrieb
  - Zeitlich einstellbares Verweilen der Abstreifer in den Bürsten beim Abreinigen
  - Des Weiteren ist die Anordnung der Trocken-Bürstenabscheidung optimiert. Dies führt zu einer gleichmäßigeren Absaugung und damit verbunden weniger Verwirbelungen in der Luft. Ziel ist es, so die Ausschussrate durch Verunreinigungen mit Overspray zu reduzieren.

Der Aufbau der Reinigungs- und Beschichtungsanlage wird nachfolgend in Abbildung 3 dargestellt.

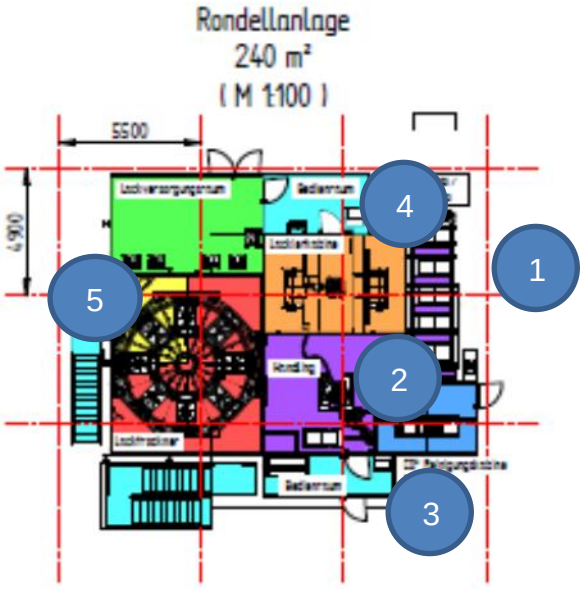

Abbildung 3: Aufbauplan und Platzbedarf innovativer Rondelllackieranlage

1. Aufgabe/Abnahme Station
2. Handlingsroboter
3. Trockeneisreinigung (CO_2-Anlage)
4. Lackierkabine mit Trocken-Bürstenabscheidung
5. Rotationstrockner für Abdunsten, Trocknen, Kühlen

Der deutlich reduzierte Platzbedarf der innovativen Rondellanlage wird im Maßstabvergleich zur konventionellen Lackieranlage deutlich, vergl. Abbildung 4:

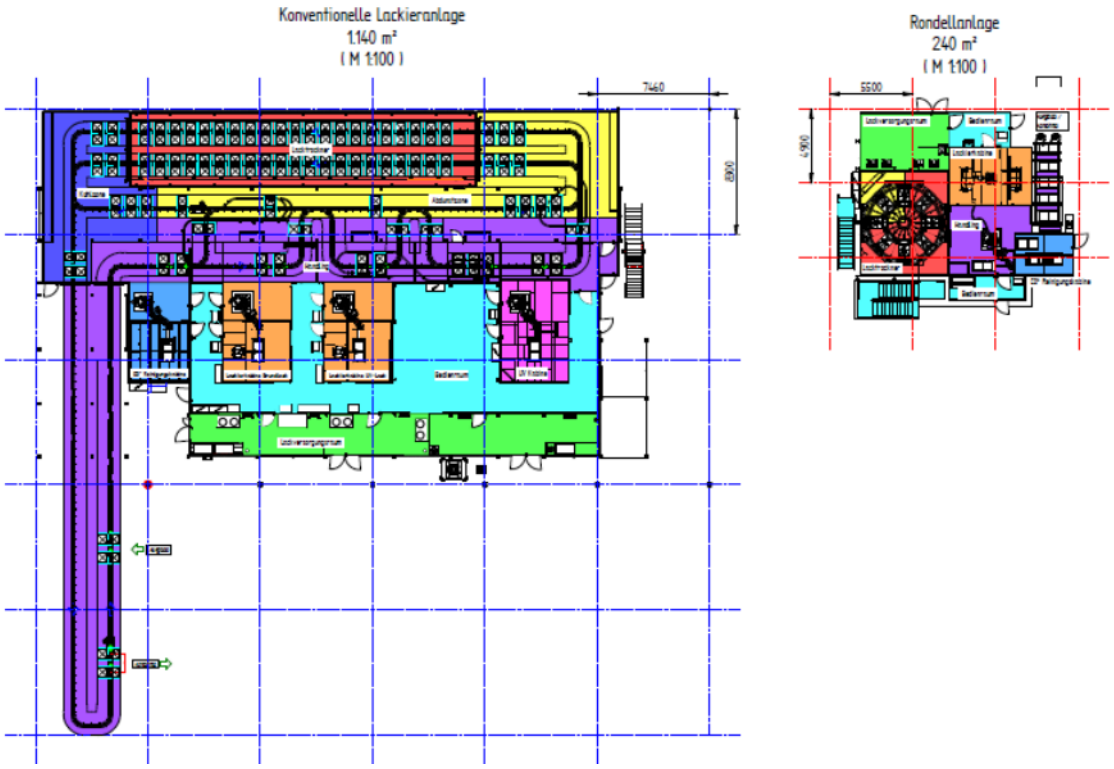

Abbildung 4: Platzbedarf herkömmliche Anlage und innovative Rondelllackieranlage im Maßstabsvergleich (Maßstab 100:1)

Qualitätsmängel, hervorgerufen durch Verunreinigungen aus der Beschichtungsanlage, werden deutlich reduziert, weil die Wege innerhalb der Anlage drastisch gekürzt sind. Dadurch wird auch die Energie zur Aufbereitung der Luft eingespart.

Mit der Industrie 4.0 Rondelllackieranlage lassen sich fast alle Kunststoffe beschichten, z.B. ABC[3], PC[4], ABS-PC[5]. Das Verfahren steht in direkter Konkurrenz zu konventionellen Lackieranlagen mit Stetigförderanlagen und soll diese ersetzen. Durch den Einsatz intelligenter Systeme zur Zustandserfassung der Industrie 4.0 Rondelllackieranlage werden zudem ungeplante Stillstandzeiten und damit Produktionsausfälle eliminiert.

Die Anlage bietet eine große Menge an Zustandsdaten, die jederzeit gemessen und protokolliert werden. Diese umfassen beispielsweise den Energieverbrauch an verschiedenen Abnahmestellen, Filterdifferenzdrücke, Pumpeneingangsdrücke, Pumpenausgangsdrücke, Grundträgerpositionen, Durchlaufzeiten.

Die Grundträgerpositionen und Durchlaufzeiten werden anhand von RFID[6]-Chips ermittelt, welche in den Grundträgern verbaut werden. Diese können an verschiedenen Stellen in der Anlage über Lesestellen ausgelesen werden. Somit kann zu jederzeit überwacht werden, an welcher Stelle sich jedes einzelne Lackiergitter innerhalb der Anlage befindet. Es ist somit

[3] ABS – Acrylnitril-Butadien-Styrol
[4] Polycarbonat
[5] Polycarbonate/Acrylnitril Butadien Styrol ist ein Blend aus PC und ABS, dieses vereint durch diese einzigartige Kombination die gute Verarbeitbarkeit von ABS mit den großartigen mechanischen Eigenschaften von PC wie Schlagzähigkeit und Hitzebeständigkeit .
[6] Kurzform für den englischen Begriff „Radio Frequency Identification“ und heißt übersetzt in etwa „Funk-Erkennung“. RFID ist eine verbreitete Technologie, um über magnetische Funkwellen (Identifikations-)Daten von einem Gerät zu einem anderem berührungslos zu übertragen.

jederzeit nachvollziehbar und transparent, ob der Prozess wie erwartet abläuft oder ob die derzeitige Durchlaufzeit nicht den Erwartungen entspricht. Andere oben genannte Zustandsdaten können ebenfalls direkt verwendet werden, um zum Beispiel die Produktivität und Verbrauchsdaten der Anlage zu überwachen. Auf diese Weise kann der spezifische Aufwand an Energie und Lackverbrauch zur Herstellung der Teile ermittelt werden. Durch die Auswertung der Filterdaten von Luft und Lackfiltern kann ein benötigter Filterwechsel vorzeitig erkannt und entsprechend eingeplant werden. Auf diese Weise kann eingegriffen werden, bevor es zu Produktionsunterbrechungen kommt. Im schlimmsten Fall werden verstopfte Lacksiebe zu spät vom Anlagenpersonal bemerkt und führen so zur Produktion von Ausschussteilen. Dies kann durch die Überwachung verhindert werden und führt somit zu mehr Sicherheit und einer robusteren Produktion. Darüber hinaus kann Material eingespart werden, da Filter und Siebe nur bei Bedarf gewechselt werden und nicht auf Verdacht ausgetauscht werden müssen. Im bisherigen Produktionsprozess werden diese frühzeitig ausgetauscht, um Produktionsausfälle zu vermeiden.

Durch die Überwachung und den Austausch aufgrund von objektiven Messdaten, kann der maximale Nutzen aus diesen Verbrauchsmaterialien gezogen werden, bevor diese ausgetauscht werden. Diese beiden Risiken (Produktionsausfall durch verspäteten Wechsel und Materialverbrauch durch zu frühen Wechsel) werden durch die Möglichkeiten der Industrie 4.0 Lackieranlage beseitigt und optimiert. Die Erfassung der unterschiedlichen Daten bietet darüber hinaus noch weitere Möglichkeiten. Durch die Speicherung und Verknüpfung dieser Daten mit Produktionsauswertungen kann ein Rückschluss des Produktionsergebnisses zu den Anlagenzuständen gemacht werden, die bei der Produktion dieser Teile geherrscht haben. Dieser „Big Data“-Ansatz bietet die Möglichkeit, bisher unerkanntes Optimierungspotential zu nutzen.

Die Produktionsauswertungen werden bei uns für jede einzelne Produktionscharge in Form von sogenannten Produktions-IDs durchgeführt. Dort ist die Anzahl der lackierten Teile, i.O.-Rate, n.i.O.-Rate sowie eine Zuordnung in Fehlergruppen der n.i.O.-Teile aufgeführt. Diese Auswertung kann dann mit den Anlagenparametern, die bei der Produktion geherrscht haben, in Verbindung gebracht werden. Auf diese Weise können Parameterkombinationen, die zu einem guten Ergebnis geführt haben, ermittelt werden. Dies bietet die Möglichkeit optimale Betriebsparameter zu ermitteln und Grenzwerte für den optimalen Betrieb der Anlage festzulegen.

Im Idealfall braucht sich also nicht mehr auf empirische Erfahrungswerte verlassen werden, sondern es können objektive Grenzwerte anhand von Produktionsdaten ermittelt werden. Diese können für die Planung der Intervalle von Wartungsarbeiten, Filter und Siebwechseln und Produktionsparametern herangezogen werden. Auf diese Weise kann versucht werden, ein Modell zu entwickeln, welches die optimalen Anlageparameter zur Produktion festlegt und die ermittelten Grenzwerte automatisch überwacht und Abweichungen gegebenenfalls anzeigt. Auch können durch die Zusammenführung der Daten bisher nicht bekannte Wechselwirkungen von Parametern ermittelt werden, die einen maßgeblichen Einfluss auf das Lackierergebnis haben. So wird es möglich, bisher unbekannte Wechselwirkungen und Optimierungspotentiale zu entdecken und effektiv für die Produktionsoptimierung zu nutzen.

2.3 Umsetzung des Vorhabens

Die nachfolgende Tabelle 2 beschreibt den zeitlichen Ablauf des Projektes.

	2018											2019											
	Feb	Mrz	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Detailplanung																							
Bestellung																							
Lieferzeit																							
Aufbau Anlage																							
Inbetriebnahme																							
Probebetrieb																							
Dauerbetrieb																							
Erfolgskontrolle																							

Tabelle 2: Projektplan

Die einzelnen Schritte im Projektablauf werden nachfolgend kurz beschrieben.
Nach Genehmigung des vorzeitigen förderunschädlichen Vorhabenbeginns am 19.07.2018 wurde die Bestellung der Rondelllackieranlage am 27.07.2018 ausgelöst. Die Fertigung der Lackieranlage und die Vormontage von Baugruppen hat nach der Bestellung bei der Firma Rippert Anlagentechnik begonnen. Die Lieferzeit konnte von der Firma Rippert, entsprechend der Zeitplanung, eingehalten werden. Die Anlieferung und der Aufbau wurden weitestgehend parallelisiert, damit es zu keinen Verzögerungen kommt. Die ersten Teile wurden in KW 42/2018 angeliefert und mit der Montage erster Komponenten wurde in KW 43/2018 begonnen.

In einem ersten Schritt wurde mit dem mechanischen Aufbau der Anlage begonnen. Die mechanischen Arbeiten fanden in einem Zeitraum von KW 43/2018 bis KW 04/2019 statt.
Die Aufbauarbeiten begannen mit der Installation der Abscheidetechnik im Keller der Anlage. Diese besteht aus der Einhausung der späteren Lackierkabine inklusive der Trockenbürsten, die für die Grobabscheidung des Overspray verantwortlich sind. Zusätzlich wurden im Keller die weiteren Filterstufen, die zur Reinigung der Luft von Overspray benötigt werden, in einem zentralen Filterkasten für beide Lackierkabinenteile aufgebaut.

Nachfolgenden Abbildungen visualisieren die Aufbauarbeiten.

Abbildung 5: Einhausung mit Bürstenabscheidung im Kellerbereich

Nach den Arbeiten an der Filtertechnik wurde mit dem Aufbau des Trägergerüstes begonnen. Dieses Gerüst trägt später alle Bauteile im obersten Stock der Anlage, wie beispielsweise Umluftgeräte und Befeuchtungseinrichtungen.

Abbildung 6: Stützen für den 2. Stock der Anlage

Nachdem das Grundgerüst aufgebaut war, konnte mit dem Aufbau des Rondelltrockners begonnen werden. Auch hier wurde in einem ersten Schritt ein Grundgerüst aufgebaut welches später die einzelnen Ebenen des Trockners hält.

Abbildung 7: Grundgerüst des Rondelltrockners

Nachdem die statische Grundstruktur der Anlage aufgebaut war, wurde mit der Einhausung der Komponenten begonnen. Dies erfolgt durch die Montage von Sandwitchpanelen, welche die Außenhülle der Anlage bilden.

Abbildung 8: Einhausung der Anlage

Darüber hinaus wurden während des mechanischen Aufbaus der Anlage alle relevanten Anlagenteile aufgebaut. Dazu zählen neben den bereits erwähnten Komponenten auch:

- Lackversorgungsraum
- Handlingsbereich und CO_2–Kabine
- Lackierkabine
- Steuerungs- und Kontrollraum
- Kräne zum Transport von Abfall aus dem Kellerbereich
- Einhausung für die Grundträgerzuführung
- Kamine und Abluftkanäle auf dem Dach

Mit der Montage der Lackversorgung wurde parallel zum mechanischen Aufbau der Anlage ab KW 49/2018 begonnen. Die Arbeiten wurden in KW 09/2019 abgeschlossen.

Abbildung 9: Vorratsbehälter der Lackversorgung

Nachdem die mechanischen Aufbauarbeiten abgeschlossen waren konnte mit der elektrischen Installation der Anlage begonnen werden. Die Arbeiten fanden in einem Zeitraum von KW 03/2019 bis KW 14/2019 statt.

Im Zuge dieser Arbeiten wurde alles installiert was zur Steuerung der Anlage benötigten wird. Dazu zählen unter anderem Leitungen, Sensoren und Steuergeräte. Zu diesem Zeitpunkt wurde die Anlage auch an Versorgungsleitungen wie Druckluft oder die Wasserversorgung angeschlossen. Ebenfalls wurde in diesem Zeitraum die Einbindung der Anlage in das bestehende Abluftnetz der Firma durchgeführt.

Abbildung 10: Anlage nach Abschluss der elektrischen Aufbauarbeiten (Seitenansicht)

Abbildung 11: Anlage nach Abschluss der elektrischen Aufbauarbeiten (Frontansicht)

Parallel zur Montage der elektrischen Steuerleitungen und Sensoren wurde mit der Einrichtung der Roboter und der Programmierung der SPS[7] begonnen. Darüber hinaus wurde auch die Positionierung der einzelnen Anlagenteile eingestellt. Zudem wurden die benötigten Routinen für mögliche Abläufe erstellt und getestet. Zusätzlich wurden die Abläufe anhand von leeren

[7] Eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS, englisch: programmable logic controller, PLC) ist ein Gerät, das zur Steuerung oder Regelung einer Maschine oder Anlage eingesetzt und auf digitaler Basis programmiert wird.

Grundträgern simuliert und erste Laufzeitsimulationen durchgeführt um Fehler, fehlende Abläufe und die Positionsgenauigkeit zu testen.

Abbildung 12: Handlingsroboter bei der Beschickung des Ofens

Im Anschluss an die ersten Gehversuche wurde ab KW 15/2019 die Einstellung des IR Trockners durchgeführt. Hierzu muss jeder Strahler eingestellt werden, damit die Parameter eine optimale Lacktrocknung ermöglichen. Hierzu wurden viele Testläufe mit Musterplatten und einem Temperaturmessgerät durchgeführt.

Die Temperatur wurde hier, entsprechend Abbildung 13 an verschiedenen Positionen auf einem Lackiergitter gemessen und eingestellt. Abbildung 14 zeigt den Temperaturverlauf eines Testlaufs. Wie dort gut zu sehen ist, kann durch die richtige Einstellung, eine sehr homogene Temperaturverteilung auf den Teilen erreicht werden. In dieser Messung beträgt die Temperaturdifferenz zwischen den einzelnen Positionen ca. ±2°C. Die Messung zeigt ebenfalls, dass die Temperatur lediglich auf den Bauteilen gemessen wird. Die Luft erwärmt sich wie vorgesehen wesentlich weniger stark.

Abbildung 13: Einstellung der IR-Parameter über Temperaturmessung

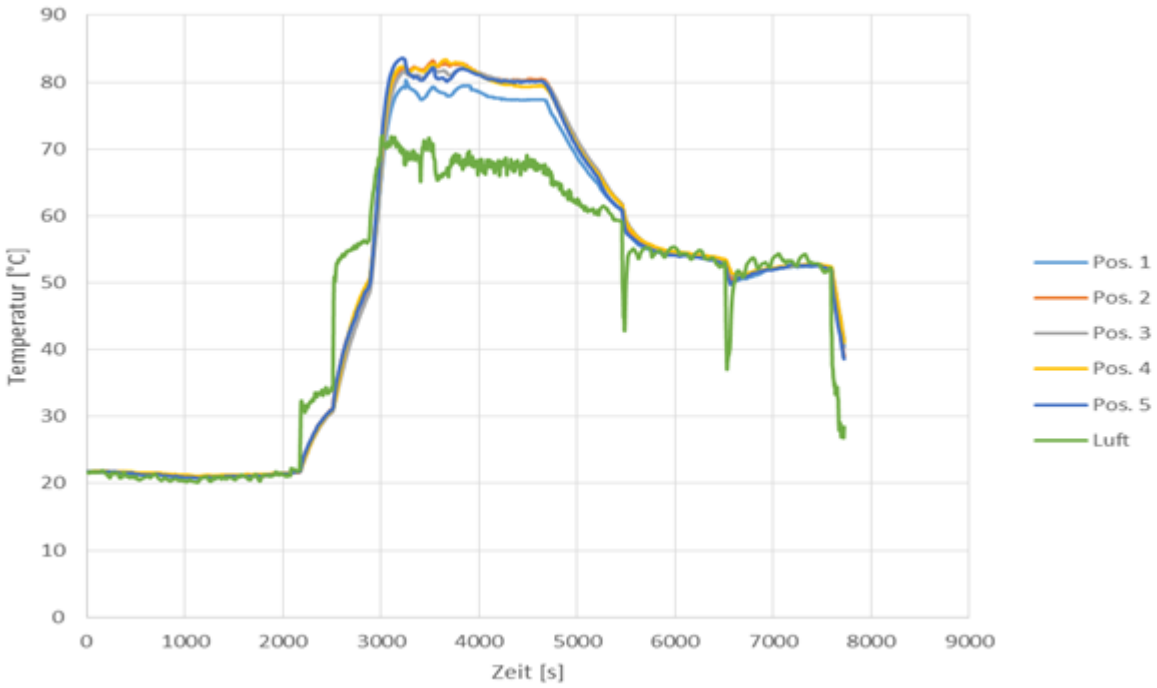

Abbildung 14: Temperaturmessung eines Testlaufs

Im Anschluss an die Tests der Abläufe und der grundlegenden Einstellungen wurde im Zeitraum von KW 19/2019 – KW 20/2019 die Applikationstechnik und Lackversorgung getestet. In diesem Zug wurde ebenfalls erstmalig der gesamte Ablauf inklusive Trocknung getestet. Begonnen wurde mit einer einfachen Testlackierung von Musterplatten in einem 3 -Schichtaufbau.

Ablaufschema Lackierung Musterplatten:

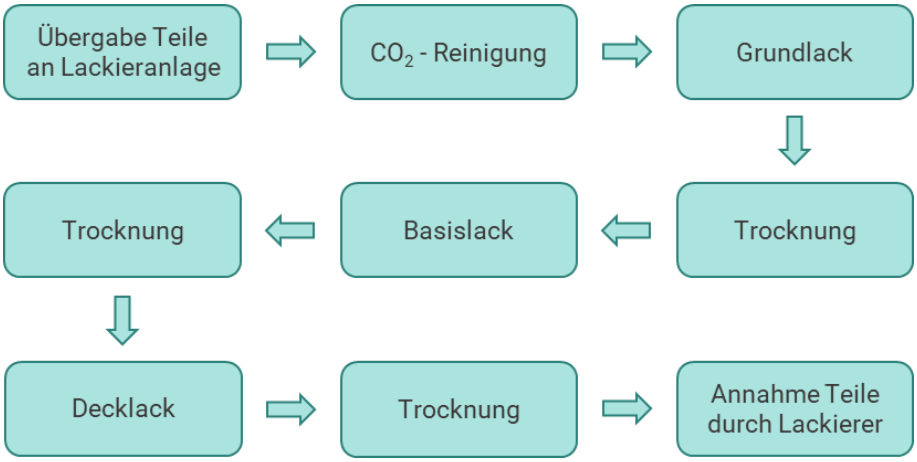

Abbildung 15: Ablaufschema Lackierung Musterplatten

Die Platten wurden entsprechend den in den Vorversuchen ermittelten Einstellungen lackiert und nach der Lackierung im hauseigenen Labor nach verschiedenen Automobilnormen geprüft. Die Überprüfung dient der Absicherung, dass die Qualität der Lackierung der von konventionellen Lackierungen entspricht. Die Ergebnisse waren sehr positiv und es konnte kein signifikanter Unterschied zu einem herkömmlichen Prozess ermittelt werden.

Abbildung 16: Testlackierung von Musterplatten

Nach erfolgreicher Lackierung der Musterplatten mit anschließender Überprüfung der Ergebnisse im Labor, wurden erste Lackierversuche auf 3-dimensionalen Bauteilen durchgeführt. Hier wurde das gleiche Lacksystem wie bereits bei der Lackierung der Platten verwendet.

Abbildung 17: Handlingsroboter beim Verfahren von Bauteilen zwischen Anlagenteilen

Auch diese Teile wurden nach der Lackierung im Labor bezüglich Abweichung zum Serienprozess überprüft. Die Überprüfung der Teile nach Automobilnormen zeigte ebenfalls keine Auffälligkeiten und die Teile sind gegenüber dem konventionellen Verfahren identisch.

Nach den Beendigung der Testlackierung und den anschließend positiven Ergebnissen wurden Testteile für einen Probebetrieb definiert, welche testweise auf der Anlage produziert wurden. Hierfür wurden alle entsprechenden Parameter ermittelt und alle notwendigen Programme erstellt. Die Teile wurden dann probeweise und bedarfsabhängig auf der Anlage produziert. Auf diese Weise konnten die Anlage und die Komponenten im regelmäßigen Probebetrieb weiter getestet werden. Zug um Zug wurden dann weitere Teile auf die Anlage genommen, damit diese eine ausreichende Auslastung für den Dauerbetrieb und die entsprechende Erfolgskontrolle aufweist. Die Projekte wurden so auf die Anlage geplant, dass bei aktuellen Abrufzahlen die zweischichtige Produktion ab September 2019 beginnen konnte.

2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Für den Betrieb der Anlage war eine imissionsschutzrechtliche Genehmigung erforderlich. Die Genehmigung erfolgte durch das Landratsamt Sigmaringen. Die Anlage wurde sicherheitstechnisch vom Maschinenhersteller beurteilt und ist für den Betrieb freigegeben.

2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Zur Ermittlung der Erfolgskontrolle für die Industrie 4.0 Rondelllackieranlage wurden die Umwelteffekte 13 Wochen real gemessenen und mit den prognostizierten Werten bei Antragstellung abgeglichen. Folgende Parameter wurden in die Erfolgskontrolle einbezogen:

- Lackierleistung (Lackverbrauch)
- Energieverbrauch (Strom/Gas)
- Ausschussreduzierung
- Frischlufteinsatz
- Platzbedarf
- Lärmmessung: Lautstärke der Anlage, speziell für das CO_2-Reinigungsmodul (Trockeneisreinigungsmodul)

Zur Erfassung der angestrebten Reduktion des spezifischen elektrischen Energieverbrauchs wurden bei der Anlageninstallation separate Zähler eingebaut. Die Ergebnisse werden ins Verhältnis zu den Daten der produzierten Menge gesetzt und bezogen auf die prognostizierten Werte bei Antragstellung ausgewertet.

Die Ausschussreduzierung wurde über das Verhältnis der i.O.- und n.i.O.-Teile im entsprechenden Zeitraum ermittelt.

Die Messung des Frischlufteinsatzes wurde mittels eines externen Messgeräts kontrolliert und gemessen. Die Messung erfolgte mittels eines Staurohrs direkt im Lüftungskanal.
.
Der Platzbedarf der Rondelllackieranlage wurde im Vergleich zu einer konventionellen Lackieranlage ermittelt.

Die Lärmmessung wurde mittels eines Schallpegelmessgerätes durchgeführt. Die Messung wurde im Frequenzband A bei schneller Messfolge vorgenommen.

2.6 Konzeption und Durchführung der Erfolgskontrolle

Aufgrund der messtechnischen Ausrüstung und der entsprechenden Infrastruktur zur Datenerfassung und Auswertung wurde in der Zeit vom 23.09.2019 bis 20.12.2019 eine Erfolgskontrolle durchgeführt. Die Auswertung der Messergebnisse bezieht sich nachfolgend auf die bei Antragstellung prognostizierten Umwelteffekte (Energie- und Materialeinsparung).

3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung

3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung

Das Vorhaben wurde erfolgreich abgeschlossen und die erzielten Umwelteffekte entsprechen den Erwartungen. Die Rondellackieranlage erfüllt die Qualitätsvorgaben und kann die angenommenen Erwartungen weitestgehend erfüllen.

3.2 Stoff- und Energiebilanz

Die Erfolgskontrolle fand in der Zeit vom vom 23.09.2019 bis 20.12.2019 statt. Im ausgewerteten und bilanzierten Produktionszeitraum wurde eine Lackierleistung von 11.157,84 m² verarbeitet. Dies ergibt eine durchschnittliche Lackierleistung von 14,92 m²/h.

Die Schwankungen in den einzelnen Wochen sind durch Störungen, Reinigungs- und Wartungstätigkeiten zu erklären. Die Betriebsstunden werden automatisch aufgezeichnet, sobald die Anlage angeschaltet ist. Dies ist z.B. auch für manche Wartungs- und Reinigungsarbeiten notwendig.

Ebenfalls wird die Lackierleistung durch den 2-Schichtbetrieb negativ beeinflusst. Bei einem 2-Schichtbetrieb muss die Anlage abends leer gefahren werden, damit alle Teile für die weitere Verarbeitung zur Verfügung stehen. Hierfür ist es notwendig die Anlage zu betreiben ohne zu lackieren. In einem 3-Schichtbetrieb wäre die Lackierleistung deshalb deutlich höher, da die Anlage nur zum Wochenende leer gefahren werden muss. Wenn die Flächenleistung der nicht lackierten Grundträger ebenfalls mit berücksichtigt wird, ergibt sich für den Beobachtungszeitraum eine Flächenleistung von ca. 21,5 m²/h.

Nachfolgende Tabelle 3 visualisiert die Lackierleistung während der Erfolgskontrolle.

	Betriebsstunden [h]	Lackierte Fläche [m²]	Lackierleistung [m²/h]
KW 39	63	1.294	20,53
KW 40	40	607	15,18
KW 41	35	580	16,56
KW 42	66	926	14,04
KW 43	63	698	11,08
KW 44	61	963	15,79
KW 45	73	1.018	13,94
KW 46	66	999	15,14
KW 47	70	1.075	15,35
KW 48	61	937	15,35
KW 49	70	1.044	14,92
KW 50	39	427	10,95
KW 51	39	591	15,14
Mittelwert	57	858	14,92

Tabelle 3: Lackierleistung während der Erfolgskontrolle

Die Erfassung der Strom und Verbrauchsdaten schwankt ebenfalls von Woche zu Woche und ist grundsätzlich von den gleichen Parametern abhängig wie die Lackierleistung. Zusätzlich kommen noch Schwankungen durch die Produktion hinzu, da nicht alle Teile den gleichen Trocknungsaufwand innerhalb des Rondelltrockners aufweisen. Der durchschnittliche Energieverbrauch innerhalb des Beobachtungszeitraums ist mit 2,86 kwh/m² deutlich niedriger als angenommen. Dies liegt vor allem an den Schätzungen von Leistung, die für den Lufthaushalt verantwortlich ist. Aus diesem Grund wurde auch eine Messung an einer Referenzanlage durchgeführt hier ergab sich für den Beobachtungszeitraum ein Gesamtenergiebedarf von: 7,93 kwh/m² welcher ebenfalls niedriger ist als die ursprüngliche Schätzung.

Nachfolgende Tabelle 4 visualisiert den Stromverbrauch während der Erfolgskontrolle.

	Lackierte Fläche [m²]	Stromverbrauch [kwh]	Stromverbrauch [kwh/m²]
KW 39	1.294	2848	2,20
KW 40	607	1336	2,20
KW 41	580	1816	3,13
KW 42	926	2540	2,74
KW 43	698	2356	3,37
KW 44	963	2417	2,51
KW 45	1.018	2740	2,69

KW 46	999	2659	2,66
KW 47	1.075	2606	2,43
KW 48	937	2606	2,78
KW 49	1.044	2705	2,59
KW 50	427	1613	3,78
KW 51	591	2419	4,10
Mittelwert	858	2359	2,86

Tabelle 4: Stromverbrauch während der Erfolgskontrolle

Die Messung des Frischluftbedarfs wurde mit einem Staurohr nach Prandtl durchgeführt. Die Messung erfolgte mit einem externen Messgerät direkt im Luftkanal. Dabei hat sich ergeben, dass die Anlage im Betrieb einen Frischluftbedarf von 2.176 m³/h hat. Die Messung zeigt, dass der Frischluftbedarf nahezu den geplanten Werten entspricht. Die Messung der Referenzanlage zeigte mit einem Frischluftbedarf von 13.112 m³/h deutlich niedrigere Werte als ursprünglich angenommen.

Die Lärmmessung wurde mittels eines Schallpegelmessgerätes im Frequenzbereich A durchgeführt. Um eine Vergleichbarkeit der Messungen von Referenzanlage und der Rondelllackieranlage vorzunehmen, wurde in einem ersten Schritt die Lärmbelastung bei ausgeschalteter CO_2-Anlage durchgeführt.

Im Anschluss wurde die Messung bei angeschalteter CO_2-Anlage gemessen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Rondelllackieranlage insgesamt deutlich leiser ist als die Referenzanlage. Auch die Lautstärkenerhöhung durch den Betrieb der CO_2-Anlage fällt wesentlich geringer aus. Als Messpunkt wurde in beiden Fällen der Anlagenbedienerarbeitsplatz gewählt, um einen möglichst praxisnahen Vergleich zu haben.

Nachfolgende Tabelle 5 weist die Messergebnisse aus.

	Referenzanlage			Rondelllackieranlage		
	CO_2 – Aus [dbA]	CO_2 – An [dbA]	Differenz [dbA]	CO_2 – Aus [dbA]	CO_2 – An [dbA]	Differenz [dbA]
Bedienraum	66	73	7	61	65	4

Tabelle 5: Lärmmessung am Arbeitsplatz des Anlagenbedieners

Die Ausschussminderung ist ein schwierig zu definierender Faktor, da dieser nicht alleine von der Lackieranlage, sondern ebenfalls von dem Lacksystem und den zu lackierenden Bauteilen abhängt. Auf beiden Anlagen wurden im entsprechenden Zeitraum anspruchsvolle Lacksysteme lackiert. Auf der Rondelllackieranlage sind im betrachteten Zeitraum vor allem Chromeffektteile lackiert worden, bei denen grundsätzlich ein Ausschuss von ca. 30 % zu Grunde gelegt werden muss. Gegenüber dieser Annahme sind die erreichten Ausschusswerte sehr gut und liegen damit deutlich unter den angenommenen Ausschusszahlen für das entsprechende Lacksystem.

Der Lackverbrauch wurde durch die Aufzeichnung der Lackdosiersysteme ermittelt. In dem aufgezeichneten Lackverbrauch sind das Zugabelösemittel sowie der benötigte Härter bereits beinhaltet. Im Mittel ergab dies einen Lackverbrauch von 0,3493 kg/m². Im Vergleich beträgt der Lackverbrauch der Referenzanlage: 0,2856 kg/m². Die Lackverbrauchswerte von Rondelllackieranlage und Referenzanlage sind nicht zu 100 % vergleichbar.
Der Lackverbrauch ist sehr stark von den verarbeiteten Lacksystemen und Bauteilen abhängig. Auf der Rondelllackieranlage sind im Beobachtungszeitraum hauptsächlich 3-Schichtsystem

lackiert worden. Dies führt zu einem höheren Lackverbrauch gegenüber den 2-Schichtsystemen, die auf der Referenzanlage lackiert worden sind. Grundsätzlich wird kein nennenswerter Unterschied zwischen beiden Anlagenkonzepten erwartet, da es sich um die gleiche Applikations-methode handelt.

Nachfolgende Tabelle 6 zeigt den Verbrauch an Lack, Lösemittel und Härter an der Rondelllackieranlage während der Erfolgskontrolle.

	Lackierte Fläche [m²]	Lackverbrauch [kg]	Lackverbrauch [kg/m²]
KW 39	1.294	391,02	0,3023
KW 40	607	202,03	0,3327
KW 41	580	247,18	0,4265
KW 42	926	317,08	0,3423
KW 43	698	271,63	0,3890
KW 44	963	369,45	0,3835
KW 45	1.018	363,14	0,3569
KW 46	999	343,42	0,3437
KW 47	1.075	394,50	0,3671
KW 48	937	344,43	0,3678
KW 49	1.044	376,60	0,3607
KW 50	427	124,24	0,2910
KW 51	591	163,84	0,2774
Mw.	858	300,66	0,3493

Tabelle 6: Lack, Lösemittel und Härterverbrauch Rondelllackieranlage

Der Ausschussanteil wurde über die entsprechenden Produktions IDs ermittelt. Dazu wurde von jedem Projekt der Mittelwert des Ausschussanteils gebildet und im Anschluss über die Anzahl der IDs gewichtet.

	Anzahl Ids	Mw Ausschussanteil [%]	Gewichtetet Ausschussanteil [%]
Projekt 1	23	5,55	0,85
Projekt 2	23	6,94	1,06
Projekt 3	14	11,65	1,09
Projekt 4	14	11,68	1,09
Projekt 5	5	3,58	0,12
Projekt 6	5	3,58	0,12
Projekt 7	4	2,69	0,07
Projekt 8	4	2,69	0,07
Projekt 9	23	21,98	3,37
Projekt 10	23	22,84	3,50
Projekt 11	2	11,26	0,15
Projekt 12	2	61,37	0,82
Projekt 13	2	19,92	0,27
Projekt 14	2	19,82	0,26
Projekt 15	1	78,50	0,52
Projekt 16	1	78,50	0,52
Projekt 17	1	63,80	0,43

Projekt 18	1	63,80	0,43
Summe:	150		14,74

Tabelle 7: Ausschussanteil verschiedene Projekte im Beobachtungszeitraum

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Erfolgskontrolle zusammengefasst gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass die Rondelllackieranlage im Vergleich deutlich effizienter arbeitet. Im Vergleich zu einer Anlage mit Stetigförderer wird bei gleichzeitig hoher Lackierleistung wesentlich weniger Platz, Frischluft und Energie verbraucht.

		Referenz 2 Kabinen	Rondelllackieranlage 1 Kabine	Einsparung (%)
Lackierleistung	m²/h	23,39	14,92	27,52*
Lackverbrauch	kg/m²	0,2856	0,3493	22,30
Stromverbrauch	kwh/m²	3,45	2,86	-17,10
Gasverbrauch	kwh/m²	4,48	0	-100,00
Frischlufteinsatz	m³/m²	560,58	145,88	-73,98
Lärmmessung	dB	73	65	-10,96
Ausschuss	%	31,04	14,74	-52,51
Platzbedarf	m²/(m²/h)	48,74	16,29	-66,58
CO_2 - Minderung	kg/m²	2,72	1,51	-44,56

**Basierend auf dem Vergleich von 1-Kabine*

Tabelle 8: Umwelteffekte nach Vorhabenumsetzung

Anlage und Erläuterung zur Berechnung der Energiebilanz

Einsparung Lackierleistung:

$$Lackierleistung\ Referenzanlage = \frac{20.980{,}3\ m^2}{897\ h} = 23{,}39\frac{m^2}{h}$$

$$Lackierleistung\ Referenzanlage = \frac{Lackierleistung}{Anzahl\ Kabinen} = \frac{23{,}39\frac{m^2}{h}}{2} = 11{,}7\frac{m^2}{h}$$

$$Lackierleistung\ Rondelllackieranlage = \frac{Lackierleistung}{Anzahl\ Kabinen} = \frac{14{,}92\frac{m^2}{h}}{1} = 14{,}92\frac{m^2}{h}$$

$$Lackiermehrleistung = \left(\frac{14{,}92\frac{m^2}{h}}{11{,}7\frac{m^2}{h}} - 1\right) * 100 = 27{,}52\ \%$$

Stromverbrauch:

$$Stromverbrauch\ = \frac{72.382\ kwh}{20.980{,}3\ m^2} = 3{,}45\frac{kwh}{m^2}$$

Gasverbrauch:

$$Gasverbrauch = \frac{93.992\ kwh}{20.980{,}3\ m^2} = 4{,}48\frac{kwh}{m^2}$$

Platzbedarf:

$$Platzbedarf\ Referenz = \frac{1140\ m^2}{23{,}39\ m^2/h} = 48{,}74\ \frac{m^2}{\frac{m^2}{h}}$$

$$Platzbedarf\ Rondelllackieranlage = \frac{243\ m^2}{14{,}92\ m^2/h} = 16{,}29\ \frac{m^2}{\frac{m^2}{h}}$$

CO_2-Minderung

$$CO_2 - Freisetzung\ Referenz = 3{,}45\frac{kWh}{m^2} * 0{,}527\frac{kg}{kWh} + 4{,}48\frac{kWh}{m^2} * 0{,}201\frac{kg}{kWh} = 2{,}72\frac{kg}{m^2}$$

$$CO_2 - Freisetzung\ Rondelllackieranlage = 2{,}86\frac{kWh}{m^2} * 0{,}527\frac{kg}{kWh} = 1{,}51\frac{kg}{m^2}$$

3.3 Umweltbilanz

Auf Basis der während der Erfolgskontrolle gemessenen Lackierleistung wurde eine Hochrechnung auf einen ganzjährigen 3-Schichtbetrieb durchgeführt.

$$Lackierleistung\ pro\ Jahr\ (3 - Schichtbetrieb) = 14{,}92\frac{m^2}{h} * 5400\ h = 80.568\ m^2$$

Annahme: 5400 Produktionsstunden pro Jahr entsprechend Antrag

Die ursprünglich angenommene Flächenleistung von 99.360 m²/a konnte während der Erfolgskontrolle nicht erreicht werden. Wie bereits bei den Messwerten aufgezeigt, erklärt sich die Diskrepanz der jährlichen Lackierleistung vor allem aus dem 2-Schichtbetrieb. Der Wert wird vermutlich bei einem realen 3-Schichtbetrieb etwas höher und damit näher an der geschätzten Lackierleistung liegen.

Auf Basis des innovativen Rondelllackierverfahrens wurden erhebliche Verbesserungen im Material- und Energieverbrauch erzielt, die nachfolgend noch einmal dargestellt werden.

	Referenzanlage		Rondelllackieranlage		CO_2
	Primärwert	CO_2	Primärwert	CO_2	Einsparung
Stromverbrauch	277.960 kwh	146,48 t	230.424 kwh	121,43 t	25,05 t
Gasverbrauch	360.945 kwh	72,5 t	-	-	72,5 t
Gesamt	638.905 kwh	218,98 t	230.424 kwh	121,43 t	97,55 t

Tabelle 9: Jährliche CO_2 Einsparung durch Vorhabenumsetzung im 3-Schichtbetrieb

Zusätzliche Erläuterung und Berechnung zu den Daten:

$$\text{Stromverbrauch Referenz pro Jahr} = 3{,}45\ \frac{kwh}{m^2} * 80.568\ m^2 = 277.960\ kwh$$

$$\text{Gasverbrauch Referenz pro Jahr} = 4{,}48\ \frac{kwh}{m^2} * 80.568\ m^2 = 360.945\ kwh$$

$$\text{Stromverbrauch Rondelllackieranlage pro Jahr} = 2{,}86\ \frac{kwh}{m^2} * 80.568\ m^2 = 230.424\ kwh$$

$$CO_2 - Freisetzung\ Referenz\ Strom = 277.960\ kwh * 527 \frac{g}{kwh} = 146{,}48\ t$$

$$CO_2 - Freisetzung\ Referenz\ Gas = 360.945\ kwh * 201 \frac{g}{kwh} = 72{,}5\ t$$

$$CO_2 - Freisetzung\ Referenz\ Strom = 230.424\ kwh * 527 \frac{g}{kwh} = 121.{,}43\ t$$

In der nachfolgenden Tabelle 10 sind die Einsparungen für die Kategorien Lackverbrauch, Frischlufteinsatz und Ausschuss dargestellt. Wie bereits beschrieben, sind die beiden Faktoren Lackverbrauch und Ausschuss auch von den lackierten Bauteilenen und Lacksystemen abhängig. Aus diesen Gründen ist eine exakte Vergleichbarkeit schwierig.

Die gemessenen Ausschusszahlen bestätigen eine deutliche Verbesserung der neuen Rondelllackieranlage gegenüber der Referenzanlage. Beide auf den Lackieranlagen verarbeiteten Lacksysteme werden marktüblich mit 30 % Ausschuss angeboten. Tabelle 10 visualiert die Umwelteffekte im Vorhaben.

	Referenzanlage	Rondelllackieranlage	Einsparung
Lackverbrauch	23.010 kg	28.142 kg	- 5.132 kg
Frischluftverbrauch	45.164.809 m³	11.753.260 m³	33.411.549 m³
Ausschuss	31,04%	14,74%	16,3%
Platzbedarf	1.140 m²	243 m²	327 m³*

**Basierend auf dem Vergleich von 1-Kabine*

Tabelle 10: Jährliche Umwelteffekte durch Vorhabenumsetzung im 3-Schichtbetrieb

Berechnung:

$$\text{Lackverbrauch Referenzanlage} = 0{,}2856 \frac{kg}{m^2} * 80.568\ m^2 = 23.010\ kg$$

$$\text{Lackverbrauch Rondelllackieranlage} = 0{,}3493 \frac{kwh}{m^2} * 80.568\ m^2 = 28.142\ kg$$

$$\text{Firschluftverbrauch Referenzanlage} = 560{,}58 \frac{m^3}{m^2} * 80.568\ m^2 = 45.164.809\ m^3$$

$$\text{Frischluftverbrauch Rondelllackieranlage} = 145{,}88 \frac{m^3}{m^2} * 80.568\ m^2 = 11.753.260\ m^3$$

3.4 Wirtschaftlichkeitsanlayse

Für die Wirtschaftlichkeitsanalyse werden die Umwelteffekte und die damit verbundenen Einsparungen mit Preisen analog zur Antragstellung auf eine Lackierleistung von 80.568 m²/a bezogen.

Die ursprünglich geplanten Anschaffungskosten von 2.335.484,54 € wurden unterschritten und betragen 2.124.811,47 €. Die Kapitalrückflussdauer nach Durchführung der Erfolgskontrolle

beträgt etwas über 7Jahre unter Berücksichtigung der Finanzierungskosten, Abschreibungen und Stromeinsparung. Da sich der Lackmehrverbrauch und die Reduzierung des Ausschusses aufheben, erfolgte kein eigener Ansatz. Ebenso wurden die „Einsparungen“ an Frischluft und Platzbedarf nicht monetär bewertet.

Amortisationsrechnung (Kapitalrückfluss-, Pay back Methode)

	Anlageninvestition ohne Beihilfe	Anlageninvestition mit Beihilfe	Bemerkung
Anschaffungskosten [€]:	2.124.811	2.124.811	
Restwert [€]:			
Beihilfe [€]:	0	639.933	30 % Zuschuss
Anschaffungskosten - Beihilfe [€]:	2.124.811	1.484.878	
Nutzungsdauer [a]:	12	12	
Kalkulatorischer Zins [%]:	2	2	
Kalkulatorische Abschreibung [€]:	177.068	177.068	
Energieeinsparung [€]:	21.774	21.774	Strom
Saldo Instandhaltung [€]:			
Saldo Personal [€]:			
Saldo Material [€]:			
Kapitalkosten [€]:			
Saldo Sonstiges [€]:			
Jährliche Kosteneinsparung:	21.774	21.774	
Amortisationszeit [a]:	**10,69**	**7,47**	

Tabelle 11: Amortisationsrechnung nach Erfolgskontrolle des Projekts

3.5 Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren

Das Verfahren steht in Konkurrenz zu anderen Technologien zur hochwertigen, dauerhaften Beschichtung von Kunststoffen, insbesondere zu automatischen Durchlaufanlagen. Eine große technische und wirtschaftliche Bedeutung des Verfahrens ist aufgrund der großen Verbreitung konkurrierender Verfahren und des großen Marktes der infrage kommenden Produkte gegeben. Dies bezieht sich auch auf die spätere Übertragbarkeit des Verfahrens auf andere Anwender gleicher oder anderer Branchen.

Durch die platzsparende neue Kombination von Trockeneisreinigung, Lackierung und Trocknung wird erstmals eine vollautomatische verkettete Beschichtungsanlage ohne Fördertechnik realisiert. Die innovative Lackieranlage erfüllt alle Anforderung, die bislang nur mit Durchlaufanlagen erreicht wurden, es können aber auch sehr kleine Losgrößen wirtschaftlich beschichtet werden.
Das Verfahren Trockeneisreinigung, Lackieren, Abdunsten und Trocknen ist z.B. in der Kfz-Industrie schon lange Stand der Technik. Ebenso ist es üblich, Kunststoffteile vor einer Beschichtung mit Trockeneis zu reinigen. Neu sind bei dem Verfahren die Anordnung auf kleinstem Raum, der Transport der Werkstücke mit einem Roboter, der Rondelltrockner und die effiziente Energie- und Luftnutzung.

Das innovative Vorhaben weist im Vergleich zum Stand der Technik die nachfolgenden Vorteile auf:

- Anlagenaufbau: Durch den Wegfall des Stetigförderers ist der Aufbau der Anlage wesentlich vereinfacht, da keine Montage und komplizierte Einrichtung der Fördersteuerung vorgenommen werden muss.
- Störanfälligkeit: Stetigförderer sind häufig sehr störanfällig und eine Hauptursache für Produktionsunterbrechungen. Ebenfalls fällt die aufwendige Wartung und Reinigung weg.

- Wärmeverluste: Durch den Einsatz von IR-Trocknern und der damit verbundenen gezielten Lacktrocknung, sowie durch den Wegfall des Förderers, werden Wärmeverluste durch Peripheriegeräte reduziert.
- Ausschuss: Durch die deutlich verkürzten Transportwege und durch den Wegfall des Förderers werden Verschmutzungen reduziert und somit Ausschuss aufgrund von Partikelverschmutzung reduziert.
- Herstellung: Durch den Verzicht auf Stetigförderer und die vertikale Trocknerbauweise ergeben sich eine hohe Energieeffizienz und hohe Qualität. Gleichzeitig wird durch die Bauweise eine äußerst kompakte Anlage erhalten. Dies erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass die Anlage auch in bereits vorhandenen Hallen Platz findet und aufgebaut werden kann. Dies sorgt neben der hohen Produktionsleistung pro Produktionsfläche auch für eine gute Übertragbarkeit der Anlage.
- Ressourcenschonung: Durch die platzsparende Anordnung wird weniger Produktionsfläche gebraucht und weniger Energie benötigt. Durch die kurze Durchlauzeit können Lagerbestände reduziert werden. Durch die Trockenabscheidung kann zudem Wasser und Sondermüll gespart werden.
- Flexibilität: Durch die modulare Bauweise und den Wegfall von starren Produktionsabläufen können durch den Handlingsroboter unterschiedliche Lackaufbauten, Klein- und Großserien parallel gefertigt werden. Dies ermöglicht auch eine möglichst effiziente Anlagenauslastung und eignet sich damit für die unterschiedlichsten Branchen in denen lackierte Bauteile benötigt werden.

4. Übertragbarkeit

4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Von der Planung bis zur Installation der Anlagenkomponenten war es von entscheidender Bedeutung, dass die beteiligten Personen in sehr engem Kontakt standen und so schnell, sicher und effektiv die Dinge vorantreiben konnten. Die handelnden Personen agierten mit hoher Kompetenz und haben Schwierigkeiten direkt vor Ort diskutiert und bestmöglich gelöst.

4.2 Modellcharakter/Übertragbarkeit

Der Modellcharakter des Vorhabens ist insbesondere durch die Übertragbarkeit der Ergebnisse in den großen Bereich der Automobil- und Automobilzulieferindustrie zu sehen. Darüber hinaus zeichnen sich weitere Anwendungen in den Bereichen Innenausbau von Gebäuden und Gehäusefertigung von hochwertigen Geräten, z.B. Elektro- und Elektronikindustrie, ab. Dadurch wird ein hoher Entlastungseffekt für die Umwelt erzielt.

Im Vergleich zu herkömmlichen Anlagen ist das Verfahren „Industrie 4.0 Rondelllackieranlage“ vor allem bei Kfz-Interieurteilen deutlich kostengünstiger. Zudem sind aufgrund der eingesetzten Materialien und der verwendeten Technik die damit verbundenen Umweltauswirkungen im Vergleich zu konkurrierenden Verfahren geringer. Es wird der gesamte Wärmeverlust durch den Stetigförderer vermieden und der Wärmedarf des Trockners durch den senkrechten Aufbau drastisch verringert. Der Flächenbedarf wird verkleinert und die bedarfsgerechte Losgrößen Fertigung bei kürzesten Prozesszeiten ermöglicht.

Um die innovative Industrie 4.0 Rondelllackieranlage bekannt zu machen, werden wir die Anlage interessierten Kunden vorführen und erläutern. Zusammen mit der Effizienz-Agentur NRW wird das innovative Verfahren in deren Loseblattsammlung veröffentlicht.

5. Zusammenfassung/Summary

5.1 Zusammenfassung

Einleitung
Die Lothar Bix GmbH ist ein mittelständischer Oberflächenveredeler und seit 130 Jahren spezialisiert auf hochwertige Beschichtungen. Primäre Aufgabe der Firma Bix ist die Oberflächenvergütung durch Lackieren, Bedrucken und Bedampfen. Die Lothar Bix GmbH besitzt ein umfassendes, in mehr als 130 Jahren praktischer Erfahrung erworbenes Know-how, das sie in Verbindung mit modernster Anlagentechnik und Qualitätssicherung (ISO 9001:2010) für die Einzelfertigung sowie automatisierte Serienfertigung hochwertiger Teile für die Automobil- und Elektrogeräteindustrie einsetzt.

Vorhabenumsetzung
Die Innovation der Anlage besteht darin, dass erstmalig eine innovative Reinigungs- und Beschichtungsanlage errichtet wurde, in der Kunststoffteile nach einer manuellen Aufgabe ohne Stetigförderer vollautomatisch, zunächst mit Trockeneis gereinigt und anschließend mit einer Lackbeschichtung versehen werden. Die Werkstücke werden dabei auf Werkrückträgern von einem Roboter zwischen den Prozessbereichen weiterbewegt. Die Lackierung erfolgt durch einen zweiten Roboter. Abnahme und Qualitätskontrolle der beschichten Teile erfolgt manuell. Die Prozessschritte abdunsten, trocknen und abkühlen erfolgen in einem neuartigen, innovativen Rondelltrockner, in dem die Prozessschritte auf übereinander angeordneten Ebenen erfolgen.

Ergebnisse
Das Vorhaben wurde erfolgreich abgeschlossen und die prognostizierten Umwelteffekte erreicht. Wir sind froh die Investitionsentscheidung getroffen zu haben und sind somit für die Zukunft gerüstet.

Die nachfolgende Tabelle 12 stellt die Umweltbilanz des Vorhabens dar.

		Referenz 2 Kabinen	Rondelllackieranlage 1 Kabine	%
Lackierleistung	m²/h	23,39	14,92	27,58*
Lackverbrauch	kg/m²	0,2856	0,3493	22,30
Stromverbrauch	kwh/m²	3,45	2,86	-17,10
Gasverbrauch	kwh/m²	4,48	0	-100,00
Frischlufteinsatz	m³/m²	560,58	145,88	-73,98
Lärmmessung	dB	73	65	-10,96
Ausschussred.	%	31,04	14,74	-52,51
Platzbedarf	m²	1.140	243	-57,4*
CO_2 - Minderung	kg/m²	2,72	1,51	-44,56

**Basierend auf dem Vergleich von 1-Kabine*
Tabelle 12: Umwelteffekte nach Vorhabenumsetzung

Durch Umsetzung des innovativen Trocknungsrotationsverfahrens und den erzielten Umwelteffekten ergibt sich nachfolgende CO_2-Einsparung bei einem geplanten 3-Schichtbetrieb pro Jahr, vergl. nachfolgende Tabelle 13.

	Referenzanlage		Rondelllackieranlage		CO_2 Einsparung
	Primärwert	CO_2	Primärwert	CO_2	
Stromverbrauch	277.960 kwh	146,48 t	230.424 kwh	121,43 t	25,05 t
Gasverbrauch	360.945 kwh	72,5 t	-	-	72,5 t
Gesamt	638.905 kwh	218,98 t	230.424 kwh	121,43 t	97,55 t

Tabelle 13: Jährliche CO_2 Einsparung durch Vorhabenumsetzung im 3-Schichtbetrieb

Ausblick

Die erfolgreiche Projektdurchführung und die erzielten Ergebnisse des Projektes sollen eine Übertragbarkeit dieses Verfahrens auf Marktbegleiter in der Automobilbranche ermöglichen sowie auf die Elektrogeräteindustrie und die Haushaltsgerätebranche.

Um die innovative Industrie 4.0 Rondelllackieranlage bekannt zu machen, werden wir das Vorhaben zusammen mit der Effizienz-Agentur NRW in deren Loseblattsammlung veröffentlichen.

Das Vorhaben setzt neue Maßstäbe in der Material- und Energieeffizienz sowie im Qualitätsniveau und etabliert einen neuen Produktionsstandard in der Lackierverarbeitung.

5.2 Summary

Introduction
Lothar Bix Gmbh is a medium sized surface technology company. The company has 130 years of experience and is specialised on high quality surface finishes. The primary production fields of Bix are painting, printing and vacuum metallization. Lothar Bix GmbH combines experience and now how with modern painting technologies and a ISO 9001:2010 certified quality management. Production focus is on serial production of parts for automotive and electronic industry.

Project implementation
The main innovation is the realisation of a painting line which can produce plastic parts without a conveyor between the different process areas. In a first step the parts are cleaned with dry ice. After the cleaning process the parts are painted with the intended paint system. The transportation between the different process zones is done via a specialised robot. The parts are transported on special carriers which are used to hold the parts. The painting is carried out by a second robot. The process steps flash-off, drying and cooling are taking place in rotary oven which has different levels for the different requierements. Detachement of the parts from the carrier and quality control are manual processes.

Project results
The project was finished successfully and the targeted environmental effects were mainly met.
The environmental effects are sumarised in Table 14:

		Reference 2 cabin painting line	Compact painting line 1 Kabine	%
Painting capacity	m²/h	23,39	14,92	27,58*
Paint consumption	kg/m²	0,2856	0,3493	22,30
Electricity usage	kwh/m²	3,45	2,86	-17,10
Gas usage	kwh/m²	4,48	0	-100,00
Fresh air consumption	m³/m²	560,58	145,88	-73,98
Noise	dB	73	65	-10,96
Scrap rate	%	31,04	14,74	-52,51
Space consumption	m²	1.140	243	-57,4*
CO_2 reduction	kg/m²	2,72	1,51	-44,56

**based on comparison of 1 painting cabin*
Table 14: Environmental effects

The annual CO_2 savings are estimated in table 15. The estimation is based on a 3 shift production.

	Reference		Compact painting line		CO_2 reduction
	Primary value	CO_2	Primary value	CO_2	
Electricity usage	277.960 kwh	146,48 t	230.424 kwh	121,43 t	25,05 t
Gas usage	360.945 kwh	72,5 t	-	-	72,5 t
Total	638.905 kwh	218,98 t	230.424 kwh	121,43 t	97,55 t

Table 15: Annual CO_2 decrease based on a 3 shift production

Prospects
The successful project implementation and the positive results emphasize a transferability to other paint shops in the automotive, electronic and household device industry. The project sets new standards for material and energy efficiency as well as the quality standard. It establishes a new standard for production in painting industry.

For informative purposes the project will be published together with Effizienz-Agentur NRW.