



## **Förderkennzeichen: NKa3 - 003339**

Abschlussbericht im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms

### **Investition in eine innovative Anlage zur Beschichtung von Metallfolien mit Pulverklebstoff**

**PECTEC GmbH**

Reutäckerstraße 17-21 | 76307 Karlsbad



## Inhaltsverzeichnis

<b>Berichts-Kennblatt.....</b>	<b>1</b>
<b>Report Coversheet.....</b>	<b>2</b>
<b>1. Einleitung .....</b>	<b>3</b>
1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens.....	3
1.2 Ausgangssituation .....	3
<b>2. Vorhabenumsetzung .....</b>	<b>6</b>
2.1 Ziel des Vorhabens .....	6
2.2 Auslegung und Leistungsdaten der technischen Lösung .....	6
2.3 Umsetzung des Vorhabens.....	6
2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen).....	11
2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten.....	11
<b>3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung .....</b>	<b>12</b>
3.1 Bewertung der Vorhabendurchführung.....	12
3.2 Stoff- und Energiebilanz .....	13
3.3 Umweltbilanz.....	14
3.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse .....	18
3.5 Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren .....	19
<b>4. Übertragbarkeit .....</b>	<b>21</b>
4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung.....	21
4.2 Modellcharakter und Übertragbarkeit.....	22
<b>5. Zusammenfassung/Summary .....</b>	<b>24</b>

**BMU-UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM**

**Abschlussbericht zum Vorhaben**

Investition in eine innovative Anlage zur Beschichtung  
von Metallfolien mit Pulverklebstoff

**Zuwendungsempfänger**

PECTEC GmbH

**Umweltbericht**

Ressourceneffizienz und Energieeinsparung

**Laufzeit des Vorhabens**

11.12.2017 bis 31.03.2019

**Autor**

Markus Braun

**Datum der Erstellung**

27.03.2020

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

## Berichts-Kennblatt

<b>Aktenzeichen des UBA:</b>	<b>Projekt-Nr.: NKa3 - 003339</b>
<b>Titel des Vorhabens:</b> Innovative Anlage zur Beschichtung von Metallfolien mit Pulverklebstoff	
<b>Autor:</b> Markus Braun	<b>Vorhabenbeginn:</b> 11.12.2017
	<b>Vorhabenende:</b> 31.03.2020
<b>Zuwendungsempfänger:</b> PECTEC GmbH Reutäckerstraße 17-21 76307 Karlsbad	<b>Veröffentlichungsdatum:</b> 31.05.2020
	<b>Seitenzahl:</b> 25
Gefördert im BMU-Umweltinnovationsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit.	
<b>Kurzfassung:</b> <p>Geprägte und perforierte Metallfolien werden in zahlreichen Anwendungsfeldern der Industrie eingesetzt. Je nach Beschaffenheit bietet das Material dabei hervorragende Eigenschaften in Bezug auf thermische sowie akustische Abschirmung. Neben der Flugzeug- und Raumfahrtindustrie werden Metallfolien vor allem in der Automobilindustrie verwendet. Das bislang zum Einsatz kommende klassische Lackkaschierverfahren verbindet eine PE-Folie mittels eines lösemittelhaltigen Primers auf die Metallfolien, um diese für unterschiedliche Anwendungen herzustellen. Die eingesetzten Folien besitzen einen hohen Anteil an umweltschädlichen Lösemitteln. Zudem gehen mit dem klassischen Kaschierprozess zum Teil große Mengen an Ausschuss einher, was insgesamt zu hohen negativen Umweltauswirkungen führt. Im Rahmen des Investitionsvorhabens hat die PECTEC GmbH ein neues Verfahren realisiert, wodurch die bisherige klassische Verarbeitung der unterschiedlichsten Kunststofffolien mittels Lackkaschierung vollständig ersetzt wird. Mit diesem innovativen Verfahren wird lösemittelfreier Pulverklebstoff durch spezielle Streuköpfe auf die Metallfolien gesintert. Hierbei bietet dieses neue Verfahren durch das direkte Aufstreuen des Pulverklebstoffs substanzielle Umweltentlastungen. Durch den Verzicht auf einen lösemittelhaltigen Klebstoff können bei einer angenommenen Produktionsmenge in Höhe von 1.400.000 Quadratmeter jährlich ca. 2.100 Liter Lösemittel eingespart werden. Des Weiteren kann der Ausschuss an Aluminiumfolie um jährlich ca. 19,41 Tonnen reduziert und auf die bisher verwandten PE/PP-Folien in Höhe von 14 Tonnen kann vollständig verzichtet werden. Zusätzlich ergibt sich durch die effizientere Anlagentechnik eine jährliche elektrische Energieeinsparung von 87.139,84 Kilowattstunden. Insgesamt entsprechen die genannten Umweltentlastungen einem CO<sub>2</sub>-Äquivalent von ca. <b>107,9 Tonnen</b>.</p>	
<b>Schlagwörter:</b> Metallfolien – Kaschieren – Klebstoff – Lösemittel – Ressourceneffizienz	
<b>Anzahl der gelieferten Berichte:</b> Papierform: 5 Elektronischer Datenträger: 1	<b>Sonstige Medien: –</b> Veröffentlichung im Internet geplant auf der Webseite:

## Report Coversheet

<b>Reference-No. Federal Environmental Agency:</b>		<b>Project-No.: NKa3 - 003317</b>	
<b>Report Title:</b> Innovative plant for coating metal foils with powder adhesive			
<b>Author:</b> Markus Braun		<b>Start of project:</b> 11/12/2017	
		<b>End of project:</b> 31/03/2020	
<b>Performing Organisation:</b> PECTEC GmbH Reutäckerstraße 17-21 76307 Karlsbad		<b>Publication Date:</b> 31/05/2020	
		<b>No. of Pages:</b> 25	
Funded in the Environmental Innovation Program of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety.			
<b>Summary:</b> Embossed and perforated metal foils are used in various fields of application in the industry. Depending on its characteristics, the material offers excellent properties in terms of thermal and acoustic insulation. In addition to the aviation and aerospace industry, metal foils are used primarily in the automotive industry. The classic lacquer lamination process that has been in use for a long time joins a PE film with a solvent-based primer to the metal films. The films used contain a high proportion of environmentally harmful solvents. In addition, the classic laminating process is accompanied by large quantities of scrap, which leads to high negative environmental effects. With this investment project, PECTEC GmbH has implemented a new process which completely substitutes the previous processing of various plastic foils with lacquer lamination. By using this innovative technology, solvent-free powder adhesive is sintered onto the metal foils by special scattering devices. This new process significantly reduces the environmental impact by directly spreading the powder adhesive on the metal foils. By eliminating the use of a solvent-based adhesive, approx. 2,100 litres of solvent can be saved annually for an assumed production quantity of 1,400,000 square metres. In addition, the waste of aluminium foil can be reduced by approx. 19.41 tonnes per year and the 14 tonnes of PE/PP film used to date can be completely dispensed with. In addition, the more efficient process results in annual electrical energy savings of 87.139,84 kilowatt hours. In total, the above-mentioned <b>environmental benefits have a CO<sub>2</sub> equivalent of approx. 107.9 tonnes.</b>			
<b>Keywords:</b> Metal foils – conceal – adhesive – solvent – resource efficiency			

## 1. Einleitung

### 1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens

Die Firmengruppe PECTEC ist Zulieferer qualitativ hochwertiger Folien und Verbundhalbzeuge aus NE-Metallen, welche insbesondere zur thermischen und akustischen Isolierung eingesetzt werden. Beispielhafte Anwendungen sind unter anderem Hitzeschutzbleche im Motorraum, Getriebetunnelverkleidungen, Batterieabschirmungen (Elektromagnetische Verträglichkeit), sowie dem Abgasstrang ausgesetzte Unterbodenverkleidungen aus PP. Ebenso gibt es unterschiedliche Anwendungen in der Luftfahrtindustrie mit dem Zweck der Wärmedämmung. Das Produktportfolio umfasst Folien, Bleche und Bänder aus Aluminium oder Edelstahl, die je nach Anforderung des Kunden beschichtet, geprägt, mikroperforiert, zugeschnitten, gestanzt oder umgeformt werden können. Hergestellt werden die Folien neben dem neuen Standort in Karlsbad auch in Spartanburg, South Carolina, welcher 2014 von Herrn Markus Braun aufgebaut wurde.

### 1.2 Ausgangssituation

Vor dem Hintergrund, dass die Einsparung von Ressourcen und Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen von entscheidender Bedeutung für ein nachhaltiges Wirtschaften ist und die Nachfrage nach Aluminium-Folien weiter steigt, errichtete PECTEC im Jahr 2018 einen zukunftsweisenden Produktionsstandort in Karlsbad bei Karlsruhe. Zielstellung war es dabei, eine hohe Lieferflexibilität und kurze Lieferzeiten zu realisieren sowie neueste Anlagen- und Prozesstechnologien kombiniert mit einem ganzheitlichen Energienutzungskonzept zu implementieren. Die Nettogrundfläche beträgt dabei ca. 4.000 Quadratmeter, verteilt auf eine Produktionshalle sowie ein Bürogebäude. Hergestellt werden am neuen Standort geprägte und perforierte Aluminiumfolien, welche nach Kundenwunsch zugeschnitten und umgeformt werden können. Dabei weisen diese Folien aufgrund ihrer Perforation nicht nur hervorragende thermische Isolationswerte auf, sondern erfüllen darüber hinaus auch höchste Anforderungen hinsichtlich ihrer Schall absorbierenden Eigenschaften. Die Dicke der Aluminiumfolie beträgt in der Regel zwischen 0,05 und 0,5 Millimeter und wird in unterschiedlichen Anwendungsbereichen zur thermischen Isolierung oder zur akustischen Dämmung eingesetzt. Am Standort werden den Kunden sämtliche Leistungen bezüglich der Herstellung und Bearbeitung von geprägten und perforierten Aluminiumfolien inklusive Formgebung aus einer Hand angeboten. In den folgenden Abbildungen wird dieses Leistungsangebot nochmals veranschaulicht.

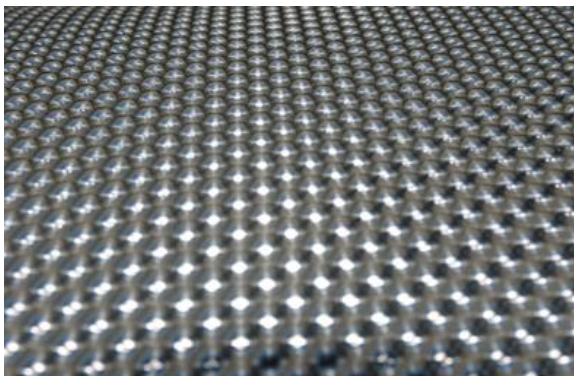
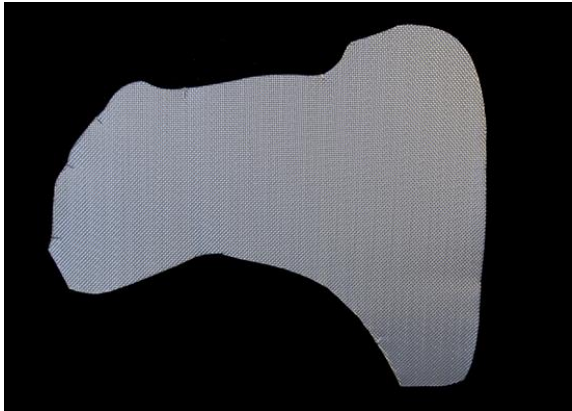


Abbildung 1: Folienbearbeitung geprägt (links), geprägt und mikroperforiert (rechts). Quelle: PECTEC GmbH

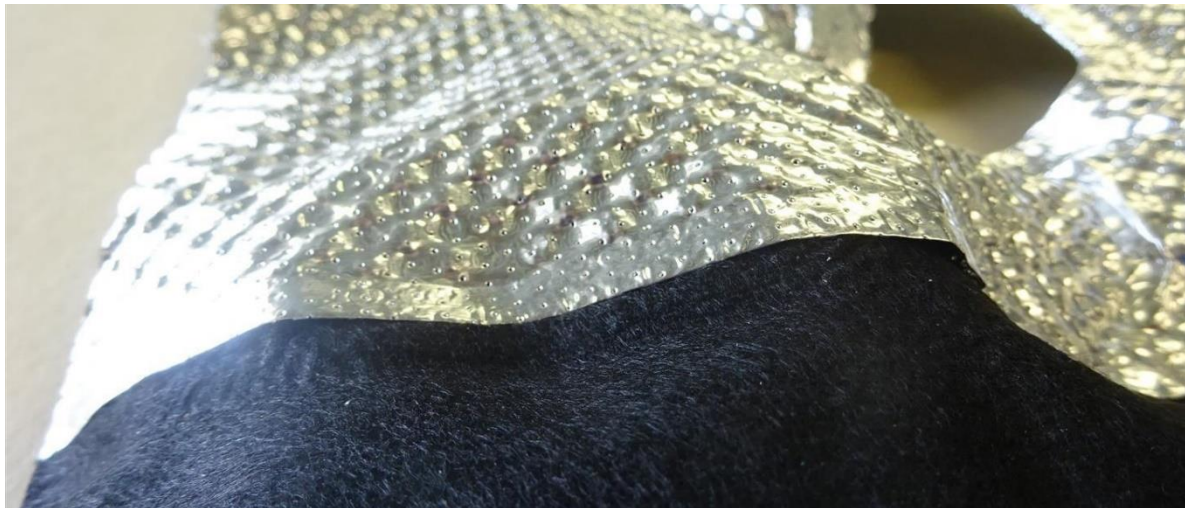


**Abbildung 2: Folienbearbeitungen gestanzt (links), umgeformt (rechts). Quelle: PECTEC GmbH**

Für die Darstellung des Stands der Technik im Vergleich zum umgesetzten Investitionsvorhaben werden an dieser Stelle die Fertigungsschritte bzw. die Wertschöpfungskette detaillierter betrachtet.

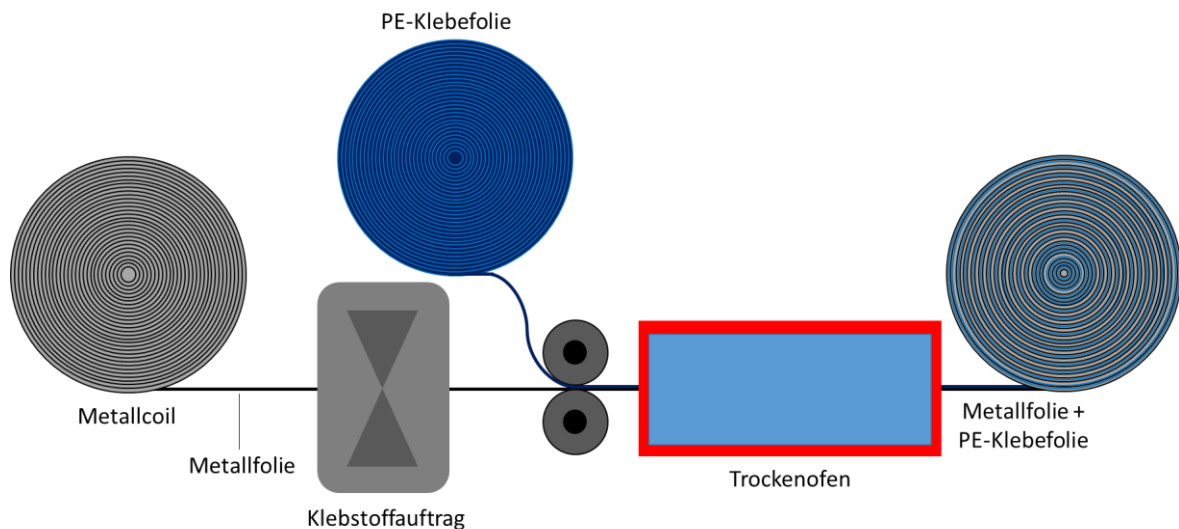
Der Abnehmerkreis der PECTEC Gruppe sind u.a. Firmen, die Dämpfungsteile für die Automobilindustrie herstellen und die Aluminiumverbundfolien im sogenannten Thermokaschierverfahren auf die Dämmmaterialien, wie Fliese, Schäume, Kunststoffträger applizieren. Hierzu werden diese thermisch aktivierbaren Klebersysteme im Vorfeld auf die unbearbeitete Aluminiumfolie bzw. den Aluminium-Coil aufgetragen.

Der Branchenstandard in der Beschichtungsindustrie sieht verschiedene Verfahren vor, zum Beispiel kann der Klebstoffauftrag mittels Glattwalzen, Rasterwalzen oder Breitschlitzdüsen erfolgen. Bei marktbegleitenden Produkten muss teils aus verfahrenstechnischen Gründen eine PE/PP-Folie mittels Kleber auf die Aluminiumfolie kaschiert werden.



**Abbildung 3: Gesiegelte Aluminiumfolie. Quelle: PECTEC GmbH).**

Die PE-Folie hat dabei zwei wesentliche Funktionen: Einerseits schützt sie den lösemittelhaltigen Klebstofflack, andererseits bietet sie eine Grundmasse als Trägersubstanz, welche im späteren Prozess vom Kunden mitverarbeitet wird. Die nachfolgende Abbildung 4 gibt einen schematischen Überblick über das konventionelle Herstellungsverfahren.



**Abbildung 4: Auftrag der PE-Klebefolie beim Stand der Technik. Quelle: eigene Darstellung**

Das aktuell in der Branche eingesetzte lackkaschierte Produkt einer Aluminium-PE, bzw. PP-Verbundfolie hat erhebliche ökologische und ökonomische Nachteile, welche sich insbesondere in der Herstellung zeigen. Diese technologiebedingten Problemstellungen sind unter anderem:

- Das Kaschieren einer Kunststoffolie auf Aluminium erfordert zunächst einen breiteren Materialanteil der Metallfolie. Der Auftrag einer Kunststoffolie führt dann zu einem hohen fertigungsprozessbedingten Ausschuss des Aluminiums in Höhe von ca. 3 Prozent. Dieser sogenannte beidseitige 15 Millimeter Besäumstreifen wird entsprechend weggespalten und kann nicht verwendet werden.
- Der Einsatz lösemittelhaltiger Klebstofflacke und Primersysteme.
- Das ganzflächige Aufbringen der Folie ohne Berücksichtigung der anwenderspezifischen Anforderungen sowie der hiermit einhergehende hohe Ressourceneinsatz.
- Ein sehr energieintensiver zusätzlicher Prozessschritt in der Wertschöpfungskette, da das Aufbringen der PE-Klebefolie von einem externen Dienstleister übernommen wird.
- Dies bedingt infolgedessen einen erheblichen Logistikaufwand der Metall-Coils.

Aufbauend auf diesen Problemstellungen reifte bei PECTEC die Entscheidung, sich von diesem in der Branche etablierten Prozess und der dabei eingesetzten Technologie zu lösen und auf eine Inhouse-Lösung zu setzen.

Anfang 2017 konnte am Standort Spartanburg in den USA ein neuartiges Anlagenkonzept im Bereich der Metallfolienbeschichtung mit der benötigten Klebstoffkomponente in Betrieb genommen werden, welches sich technologisch grundsätzlich vom Branchenstandard unterscheidet und dabei erhebliche ökologische und ökonomische Vorteile ermöglicht. An dieser Stelle gilt es zu erwähnen, dass die in den USA eingesetzte Anlage bis dato weltweit die erste ihrer Art ist und dieses Anlagenkonzept im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms erstmals in Deutschland in der Branche implementiert wurde. Während bislang der Klebstofflackauftrag auf eine Aluminiumfolie erfolgt und gleichzeitig die PE-Folie ankaschiert wird, ermöglicht der Technologiewechsel mittels einer innovativen Heiskalandriertechnik bei PECTEC das direkte Aufbringen bzw. Aufstreuen eines mehrkomponentigen Pulverklebstoffs auf den Metall-Coil. Ziel des Investitionsvorhabens war es, dieses neuartige Anlagenkonzept erstmals in Deutschland einzusetzen und dabei einen Technologiewechsel in der Branche zu realisieren, welcher durch eine erheblich verbesserte Ressourceneffizienz und nachhaltige Produktionsprozesse geprägt ist.



## 2. Vorhabenumsetzung

### 2.1 Ziel des Vorhabens

Zielstellung des Investitionsvorhabens war es, erstmalig das innovative Verfahren in einer großtechnischen Anlage in Deutschland zu realisieren. Aufbauend auf der vorangehend dargestellten Ausgangssituation und den dabei skizzierten Verbesserungspotenzialen wurde mit Umsetzung des Investitionsvorhabens das zentrale Ziel verfolgt, den Einsatz lösemittelhaltiger Klebstoffe vollständig zu substituieren sowie den prozessbedingten Ausschuss und den mit der Herstellung der Metallfolien verbundenen Energieverbrauch zu reduzieren.

Um dies realisieren zu können, wurde ein zuvor erstmalig in den USA eingesetztes Verfahren zur Beschichtung von Metallfolien erstmals in Deutschland etabliert. Anstelle des klassischen Kaschierverfahrens wird dabei kein lösemittelhaltiger Klebstoff in Kombination mit einer PE-Folie eingesetzt, sondern innovative Streuer verwendet, die einen speziellen Pulverklebstoff auf die Metallfolien auftragen. Durch den Auftrag des Pulverklebstoffes auf die gesamte Breite des zu beschichtenden Materials kann auch der beim Stand der Technik prozessbedingt als Ausschuss anfallende Besäumungsstreifen an den Seiten des Coils mitbeschichtet werden. Insgesamt wurde mit der Etablierung des innovativen Verfahrens das Ziel verfolgt, den Ressourceneinsatz entlang des Herstellungsprozesses möglichst zu minimieren. Dies betrifft insbesondere den Einsatz von Lösungsmitteln, die PE-Folie, den Energieverbrauch sowie die Reduzierung der prozessbedingten Ausschussquote.

Mit Blick auf die Zielstellungen des Investitionsvorhabens gilt es somit festzuhalten, dass mit der Umsetzung des innovativen Verfahrens angedacht war, aufzuzeigen, dass Umweltschutz, Energieeffizienz und Nachhaltigkeit durch den Einsatz von innovativen Anlagen- und Lösungskonzepten bei gleichzeitiger Wirtschaftlichkeit realisiert werden können. Mit der Realisierung wurde der Ansatz verfolgt, unter ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten einen neuen Branchenbenchmark zu definieren.

### 2.2 Auslegung und Leistungsdaten der technischen Lösung

In der nachfolgenden Tabelle sind die wesentlichen Auslegungsdaten der realisierten Beschichtungsanlage dargestellt.

Innovative Anlage zur Beschichtung von Metallfolien	
<i>Jährliche Fertigungskapazität:</i>	430 – 450 beschichtete Coils
<i>Mögliche Coil-Breite:</i>	1,00 - 1,40 Meter
<i>Jährliche Produktionszeit:</i>	Ca. 3500 h

Tabelle 1: Eckdaten der innovativen Anlage

### 2.3 Umsetzung des Vorhabens

Die innovative Anlage zur Beschichtung von Metallfolien wurde im Februar 2018 bei einem lokalen Generalunternehmer bestellt. Die Lieferzeit der Anlage verlängerte sich von acht auf zwölf Monate, da der Generalunternehmer aufgrund einer sehr hohen Auslastung länger als erwartet für die Fertigung der Anlage benötigte. Die Anlage wurde bis November 2018 am neuen Standort angeliefert und anschließend in Betrieb genommen. Im Anschluss wurden weitere Testläufe durchgeführt, um die Beschichtungsanlage entsprechend zu optimieren und einzufahren. Die Durchführung der Erfolgskon-

trolle konnte erst Ende 2019 bzw. Anfang 2020 erfolgen, da die Anlage bis dahin nur sehr gering ausgelastet war. Während der Erfolgskontrolle konnten hingegen über einen längeren und konstanteren Zeitraum Messungen durchgeführt werden, um so auch verlässliche Werte über die zu erwartenden Energieeinsparungen und Umweltentlastungen zu erhalten. In der nachfolgenden Tabelle 2 ist der Zeitplan des Vorhabens nochmals übersichtlich dargestellt.

Projektphase	Termin
<i>Bestellung der Anlage</i>	Februar 2018
<i>Aufbau der Anlage am Standort</i>	Oktober - November 2018
<i>Inbetriebnahme der Gesamtanlage</i>	Dezember 2018
<i>Produktionsbeginn unter seriennahen Bedingungen</i>	August 2019
<i>Durchführung der Erfolgskontrolle</i>	November 2019 – Februar 2020

**Tabelle 2: Zeitplan des Vorhabens**

Mit der Investition in die innovative Beschichtungsanlage konnten wir an unserem Standort in Karlsbad vier neue Mitarbeiter einstellen.

In den nachfolgenden Abbildungen ist der Anlagenaufbau sowie die fertig montierte Beschichtungsanlage dokumentiert. Die Abbildung 5 zeigt die Heizwalzen zur Temperierung der Metallfolie in der Seiten- und Frontansicht.



**Abbildung 5: Heizwalze Seitenansicht (links), Frontansicht (rechts). Quelle: PECTEC GmbH**



Abbildung 6: Coil-Abwickler. Quelle: PECTEC GmbH



Abbildung 7: Coil-Aufwickler. Quelle: PECTEC GmbH



**Abbildung 8: Corona-Vorbehandlung. Quelle: PECTEC GmbH**



**Abbildung 9: Schaltschrank der Anlage. Quelle: PECTEC GmbH**



Abbildung 10: Pulver- bzw. Klebstoffstreuer. Quelle: PECTEC GmbH



Abbildung 11: Montierte Beschichtungsanlage. Quelle: PECTEC GmbH

## 2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Die im Rahmen des Vorhabens realisierte innovative Anlage zur Beschichtung von Metallfolien mit Pulverklebstoffe ist nicht genehmigungspflichtig bzw. unterliegt keiner Abnahmepflicht. Für den Betrieb der Anlage bedurfte es somit keiner behördlichen Genehmigung.

## 2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Nach der erfolgten Inbetriebnahme der innovativen Anlage zur Beschichtung von Metallfolien mit Pulverklebstoff wurden umfangreiche Auswertungen durchgeführt, um die Durchführung der Investitionsmaßnahme aus ökologischer und ökonomischer Sicht bewerten zu können.

Die benötigten Messdaten wurden dabei in einer dreimonatigen Produktionsphase von Dezember 2019 bis Februar 2020 erhoben. Während des Betriebs der Anlage wurden dabei in verschiedenen Abständen Messungen durchgeführt und dabei die nachfolgenden Parameter erhoben:

- Klebstoffverbrauch
- Energieverbrauch (elektrischer Strom)
- Ausschuss- und Abfallmengen
- Menge an zu beschichteter Folie

Die Gesamtproduktionsmenge auf der innovativen Anlage betrug in diesem Zeitraum 14.4 Tonnen, welche die Grundlage zur Ermittlung der tatsächlichen Verbrauchswerte bilden. Beschichtet wurden hierbei ausschließlich Metallfolien für die Automobilindustrie mit einer Dicke von 0,1 Millimetern und einer Breite von 1100 Millimetern. Die Messdaten wurden dabei anlagenspezifisch erfasst und mit einer konventionellen Anlagentechnik gegenübergestellt. Die innovative Beschichtungsanlage benötigt zur Produktion keine bzw. keine messbaren Frischwassermengen. Die Temperierung der Kühlwalzen wird über einen geschlossenen Wasserkreislauf durchgeführt, wodurch kein Frischwasser benötigt wird.

## 3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung

### 3.1 Bewertung der Vorhabendurchführung

Nach der erfolgten Anlagenauslieferung wurde die innovative Anlage zur Beschichtung von Metallfolien am Investitionsstandort in Karlsbad aufgebaut und in Betrieb genommen. Für die Inbetriebnahme der Gesamtanlage waren dabei mehrere Monate nötig, um das Gesamtsystem aufeinander abzustimmen, Anlagenoptimierungen durchführen zu können sowie einen seriennahen Produktionsprozess realisieren zu können. Dabei zeigten sich zwar unterschiedliche Herausforderungen, diese waren jedoch mit Blick auf den Innovationsgrad der Anlagentechnik zu erwarten und hinsichtlich auf die Projektumsetzung nicht von grundlegendem Risiko. Änderungen an dem wesentlichen Anlagenkonzept mussten infolgedessen nicht durchgeführt werden. Viel mehr galt es im Rahmen der Inbetriebnahme, das Anlagenkonzept optimal aufeinander abzustimmen und kleinere Justierungen für eine hohe Prozessstabilität vorzunehmen. Aufbauend auf der Projektdurchführung sind nachfolgend die aufgetretenen Herausforderungen zusammengefasst dargestellt:

- Erstellung der Betriebsprogramme für die spezifischen Pulverklebstoffe: Die Aluminiumfolien werden bei den Kunden weiterverarbeitet und gegen unterschiedliche Trägermaterialien, darunter bspw. Vliesstoffe und PP-Spritzgussteile, gesiegelt. Aufgrund der unterschiedlichen Trägermaterialien sind hierfür spezifisch entwickelte Klebstoffe erforderlich. Da diese aufgrund ihrer Charakteristik verschieden reagieren, muss für jeden Kleber ein spezifisches Betriebsprogramm definiert werden. Diese mussten anhand von Versuchen ermittelt und anschließend entsprechend validiert werden.
- Eine weitere Herausforderung lag darin, dass die Anlagenteile bei unterschiedlichen Materialstärken jeweils neu und exakt aufeinander abgestimmt und eingestellt werden mussten.
- Um verschiedene Materialkombinationen, wie bspw. Aluminium/Vlies, kaschieren zu können, mussten entsprechende Anpassungen der Anlagenparameter vorgenommen werden. Neben der Temperatureinstellung mussten dabei die Bahnen optimal aufeinander abgestimmt werden und vollständig symmetrisch zueinander verlaufen. Bereits kleinste Abweichungen führen sonst aufgrund der Bahnverschiebungen zu Abweichungen.

Trotz der vorangehend aufgezeigten und durchgeführten Optimierungen konnte das Innovationsprojekt, wie ursprünglich vorgesehen, erfolgreich umgesetzt und realisiert werden. Dabei bestätigte sich das angestrebte Anlagenkonzept vollumfänglich, was sich auch in der durchgeführten Erfolgskontrolle zeigte. Wie eingangs bereits skizziert, galt es im Rahmen der Vorhabenumsetzung zum einen den lösemittelhaltigen Klebstoff zu substituieren sowie zum anderen den Ausschuss, u. a. bedingt durch den beim Stand der Technik unvermeidbaren Besäumungsstreifen, und den allgemeinen Energieverbrauch zu reduzieren. Dabei zeigten die erhobenen Daten, dass sich das Anlagenkonzept unter ökologischen Gesichtspunkten bestätigte.

Angesichts der erreichten Umweltentlastungen, sowie der realisierten Optimierungen und der hiermit einhergehenden Prozessstabilität gilt es mit Blick auf die Bewertung der Vorhabendurchführung festzuhalten, dass das innovative Beschichtungsverfahren erstmals in Deutschland großtechnisch realisiert und somit ein neuer Branchenbenchmark definiert werden konnte. Aufgrund der erfolgrei-

chen Umsetzung des Anlagenkonzepts dient die innovative Anlage als Maßstab für zukünftige Investitionsvorhaben und als Demonstrator von realisierten Anlageninnovationen im Bereich der Beschichtung von Metallfolien.

### 3.2 Stoff- und Energiebilanz

Zur Quantifizierung der Umweltentlastungen wird aufgrund der verfügbaren Daten das innovative Beschichtungsverfahren mittels Pulverklebstoff mit einer konventionellen Anlage verglichen, die PE-Folien auf die Metallfolien kaschiert. Unter ökologischen Gesichtspunkten war die zentrale Zielstellung mit Blick auf den Herstellungsprozess die Reduzierung des Ressourceneinsatzes in den Bereichen Material in Form von Ausschuss sowie Klebstoff, Lösemittel und die Reduktion des Energieverbrauchs. Die diesbezüglichen Ergebnisse der Erfolgskontrolle sind nachfolgend detailliert aufgezeigt.

Energie: Hinsichtlich der angestrebten Verbesserung der Energieeffizienz sind insbesondere die Maßnahmen hocheffiziente Auf- und Abwickler sowie das grundsätzlich neue Anlagenkonzept mittels Pulverstreuer zum Klebstoffauftrag zu nennen. Unter Berücksichtigung sämtlicher Anlagenkomponenten des innovativen Verfahrens wurde hierbei eine Verringerung des Energieverbrauchs von 13 % angestrebt. Die durchgeführten Messungen an der innovativen Anlage ergaben hingegen, dass sich der Energieverbrauch pro Quadratmeter beschichteter Metallfolie auf ca. 0,065 Kilowattstunden reduziert. Vergleicht man den Stromverbrauch des Stands der Technik und damit der konventionellen Beschichtungsanlage mittels Lackkaschierverfahren und PE-Klebefolie in Höhe von 0,127 Kilowattstunden pro Quadratmeter, so kann infolgedessen mit Umsetzung des innovativen Verfahrens der Strombedarf um ca. 50 Prozent reduziert werden

Reduzierung des Ausschusses: Grundsätzlich entsteht beim Stand der Technik prozessbedingt ein hoher Ausschuss aufgrund der beidseitigen Besäumungstreifen von jeweils 15 Millimetern (in Summe je Coil 30 Millimeter). Bei einer Coilbreite von 1 Meter entsprechen diese 30 Millimeter infolgedessen 3 Prozent. Der Besäumungstreifen stellt demnach eine erhebliche Menge an Ausschuss dar. Durch das umgesetzte Vorhaben wurde das Ziel verfolgt den Ausschuss bzw. den prozessbedingten Abfall auf ein Minimum zu reduzieren. Es konnte im Rahmen der Erfolgskontrolle gezeigt werden, dass durch den Auftrag der Klebstoffkomponente mittels Pulverstreuer der Besäumungstreifen vollständig bestreut werden kann. Dies hat den entscheidenden Vorteil, dass nun die gesamte Coilbreite verarbeitet werden kann, wodurch erhebliche Mengen an Ausschuss bzw. zu entsorgender Abfall eingespart wird.

Substitution der PE-Folie: Beim konventionellen Beschichtungsverfahren wird eine PE-Folie eingesetzt, die in erster Linie dem Schutz des zuvor aufgetragenen Klebstoffs sowie der Metallfolie selbst dient. Durch das Investitionsvorhaben konnte PECTEC ein Technologiewechsel vom ineffizienten Lackkaschierverfahren mit PE-Folie auf ein exaktes Bestreuen der Metallfolie mit Pulverklebstoff einleiten. Aufgrund der Eigenschaften des Pulverklebstoffes, der die Metallfolie vollflächig benetzt, schützt dieser bereits die Folie zuverlässig und ausreichen vor potenziellen Beschädigungen, wodurch die PE-Folie vollständig substituiert werden kann.

Einsparung Lösemittel: Ein weiteres erhebliches Einsparpotenzial konnte damit erreicht werden, dass durch das innovative Beschichtungsverfahren mittel Pulverklebstoff der Einsatz von Lösemitteln vollständig entfällt. Beim konventionellen Lackkaschierverfahren ist der Klebstofflack mit Lösemitteln versetzt, was u. a. die Weiterverarbeitung unterstützt. Die zuvor beschriebene PE-Folie diente neben den schützenden Eigenschaften zudem dem Austrocknen des lösemittelhaltigen Klebstoffes. Der mit dem innovativen Verfahren erstmals eingesetzte Pulverklebstoff ist ein wasserbasierter Klebstoff auf Epoxidbasis und benötigt keine Lösemittelkomponente.

Klebstoffverbrauch: Die Grammatur der zu beschichtenden Folien beläuft sich beim Stand der Technik auf ca. 50-55 g/m<sup>2</sup> und beinhaltet die eigentliche Klebstoffgrammatur in Höhe von 35 g, die PE-



Folie mit 10 g sowie den notwendigen Primer mit mindestens 5 g. Während der durchgeführten Erfolgskontrolle wurde der Verbrauch an Pulverklebstoff erhoben. Als Ergebnis konnte eine durchschnittliche Klebstoffmenge in Höhe von ca. 35 g pro Quadratmeter beschichtetem Aluminium erzielt werden. Dies entspricht annähernd derselben Menge wie beim Stand der Technik. Es gilt an dieser Stelle jedoch festzuhalten, dass sich die Gesamtgrammatur um ca. 15 g pro Quadratmeter reduziert, was der nachfolgenden Tabelle entnommen werden kann.

Inhaltsstoff	PECTEC Pulverklebstoff	Stand der Technik
Brutto Grammatur	35 g/m <sup>2</sup>	50-55
PE-Folie	0 g/m <sup>2</sup>	10 g/m <sup>2</sup>
Primer	0 g/m <sup>2</sup>	>5 g/m <sup>2</sup>
Netto Klebstoffgrammatur	35 g/m <sup>2</sup>	35 g/m <sup>2</sup>

**Tabelle 3: Vergleich der Grammatur**

Ein weiterer entscheidender Vorteil des innovativen Beschichtungsverfahrens ist die Möglichkeit der Rückgewinnung des Pulverklebstoffs. Im Bereich der Pulverstreuer wurden entsprechende Auffangbehälter im unteren Bereich integriert. Hiermit kann der Anteil an Pulverklebstoff, der nicht auf der zu beschichtenden Metallfolie landet, aufgefangen und anschließend wiederverwendet werden.

### 3.3 Umweltbilanz

Aufbauend auf der vorangehenden Darstellung der realisierten Energie- und Ressourceneinsparungen kann eine entsprechende Umweltbilanz erstellt werden, welche die möglichen CO<sub>2</sub>-Einsparungen im Vergleich zu einer konventionellen Beschichtungsanlage mit dem Lackkaschierverfahren aufzeigt. Nachfolgend erfolgt dies für die Verringerung der Ausschussquote, die Substitution der PE-Folie, der Lösemittel und der Energieeinsparung. Im Rahmen der Erfolgskontrolle konnten insgesamt 14.452 Kg Aluminiumfolie beschichtet werden. Dies entspricht einer Fläche von 53.526 m<sup>2</sup>. Innerhalb der Erfolgskontrolle wurden dabei die in der nachfolgenden Tabelle 4 aufgeführten Werte gemessen.

Beschichtete Menge [lfm]	Beschichtete Menge [m <sup>2</sup> ]	Eingesetzte Menge Aluminium in Breite 1100mm [kg]	Energieverbrauch [kWh]	Energieverbrauch [kWh/m <sup>2</sup> ]	Klebstoffmenge [kg]	Klebstoffverbrauch [kg/m <sup>2</sup> ]
48.660	53.526	14.452	3.467	0,065	1.955	0,037

**Tabelle 4: Erhobene Messwerte während der Erfolgskontrolle**

Energie: Im Rahmen der Erfolgskontrolle konnte gezeigt werden, dass mit Umsetzung des Vorhabens der benötigte Energiebedarf pro beschichtetem Meter Coil im Vergleich zum Stand der Technik um ca. 0,062 kWh reduziert werden kann. Als Grundlage zur Berechnung der hiermit einhergehenden Einsparung klimaschädlicher Treibhausgase wird dabei die realisierte Produktionsmenge im Rahmen der Erfolgskontrolle in Höhe 14.452 Kg bzw. 53.526 m<sup>2</sup> sowie das CO<sub>2</sub>-Äquivalent für Strom in Höhe von 0,537 Kilogramm CO<sub>2</sub> pro Kilowattstunde herangezogen. Darauf aufbauend ergibt sich die nachfolgende Berechnung:

- $CO_2\text{-Einsparung}_{\text{Strom}} = 0,062 \frac{kWh}{m^2} \times 53.526 m^2 \times 0,537 \frac{kg CO_2}{kWh} = 1.782,1 kg CO_2$

Aktuell wird für das Jahr 2020 von einer Produktionsmenge von insgesamt 1.400.000 Quadratmetern beschichteter Metallfolie ausgegangen. Dementsprechend kann durch das realisierte Beschichtungsverfahren der jährliche Energieverbrauch um voraussichtlich **87.139,84 kWh** und **46,79 t CO<sub>2</sub>** reduziert werden.

Ausschuss: Zur Quantifizierung der durch die Ausschussreduzierung bedingten Umweltentlastung wurden die bisher produzierten Mengen an beschichteten Metallfolien herangezogen und der beim Stand der Technik anfallende Besäumungsstreifen, der als Abfall/Ausschuss anfällt entsprechend bestimmt. Der Besäumungsstreifen des Coils beträgt dabei ca. 15 Millimeter pro Seite.

Während der Erfolgskontrolle wurden 53.526 Quadratmeter mit einem Gewicht von 14.452 Kilogramm an Aluminiumfolie (Dicke 0,1 Millimeter, Breite 1100 Millimeter) mit der innovativen Anlage beschichtet. Betrachtet man den beidseitigen Besäumungsstreifen mit einer Gesamtbreite von 30 Millimeter, so fallen ca. 2,7 % des Coils an Ausschuss an, wodurch die nachfolgende Berechnung aufgestellt werden kann.

- $\text{Ausschuss} = 14.452 \text{ Kg} \times 2,7 \% = 390,2 \text{ kg}$

Wie der vorstehenden Berechnung entnommen werden kann, konnte bereits während der Erfolgskontrolle der Ausschuss in Form des beim Stand der Technik anfallenden Besäumungsstreifens um 390,2 Kilogramm reduziert werden.

Um die jährliche Umweltentlastung quantifizieren zu können gilt es, die geplanten Jahreskapazitäten zu bestimmen und darauf aufbauend die Ausschussreduktion zu berechnen. In der nachfolgenden Tabelle 5 ist die geplante Jahreskapazität unterteilt nach der Dicke der Metallfolien und der zu beschichtenden Fläche dargestellt. Dabei wurde von einer durchschnittlichen Coilbreite von 1000 Millimetern ausgegangen.

Dicke der Metallfolie	Beschichtete Folienfläche	Entsprechendes Aluminiumgewicht	Ausschussmenge [3 %]
0,3 mm	400.000 m <sup>2</sup>	324.000 kg	9720 kg
0,2 mm	100.000 m <sup>2</sup>	54.000 kg	1.620 kg
0,15 mm	200.000 m <sup>2</sup>	80.000 kg	2.400 kg
0,1 mm	700.000 m <sup>2</sup>	189.000 kg	5.670 kg
	<b>1.400.000 m<sup>2</sup></b>	<b>647.000 kg</b>	<b>19.410 kg</b>

**Tabelle 5: Voraussichtlicher zu beschichtender Produktmix und Quantifizierung der 3%-tigen Ausschussquote**

Bei einer unterstellten Recyclingfähigkeit<sup>1</sup> des Ausschussmaterials gilt es, die quantifizierte Menge in Höhe von 19.410 Kilogramm in eine entsprechende Umweltbelastung umzurechnen. Hierzu kann auf die „Arbeitshilfe zur Berechnung von Materialeffizienzgewinnen“ zurückgegriffen werden, welche auf der Homepage des Umweltinnovationsprogramms zum Download bereitsteht.<sup>2</sup> Dabei ist der folgende Auszug zur Berechnung der Umweltbelastung entscheidend:

<sup>1</sup> Das Recycling der Besäumstreifen stellt sich aufgrund des Verbundmaterials als äußerst schwierig dar, da der eingesetzte Klebstoff extrem auf der Metallfolie haftet.

<sup>2</sup> <http://www.umweltinnovationsprogramm.de/hinweise-vordrucke>, abgerufen am 27.03.2020.

Umweltprofile	Kum. Rohstoffwand [t/t]	Treibhauseffekt [t CO <sub>2</sub> -Äq./t]	Prozessschritte
Aluminium, sekundär	1,267	1,036	Schmelz-, Legierungs- und Gussprozess
Aluminiumblech	0,371	0,595	Sägen, Schälen, Warm- und Kaltwalzen
	<b>1,638</b>	<b>1,631</b>	

**Tabelle 6: Kumulierter Rohstoffaufwand sowie Treibhauseffekt von Aluminium**

Durch die angestrebte jährliche Ausschussreduzierung in Höhe von 19,41 Tonnen ermöglicht das Investitionsvorhaben infolgedessen die nachfolgenden Umweltentlastungen:

- Kumulierter Rohstoffwand =  $1,638 \frac{t}{t} \times 19,41 \frac{t}{a} = 31,8 \text{ t/a}$
- Treibhauseffekt =  $1,631 \frac{t \text{ CO}_2}{t} \times 19,41 \frac{t}{a} = 31,7 \text{ t CO}_2/\text{a}$

Wie aus den vorstehenden Berechnungen hervorgeht, können durch die Einsparung des Besäumungsstreifens jährlich **19,41 Tonnen** an Ausschuss vermieden werden, was einer CO<sub>2</sub>-Einsparung in Höhe von **31,7 Tonnen** entspricht.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass beim Stand der Technik neben dem Besäumungsstreifen weitere Ausschussmengen aufgrund von An- und Abrollverlusten anfallen. Diese Mengen sind jedoch abhängig von der Anzahl an Produktwechseln sowie der grundsätzlichen Anlagengröße und können aufgrund dessen nicht quantifiziert werden. Diese An- und Abrollverluste bestehen auch bei dem innovativen Beschichtungsverfahren, da die Anlage jedoch deutlich kompakter ausgeführt ist, kann davon ausgegangen werden, dass dieser deutlich geringer ausfällt als beim Stand der Technik.

Umweltentlastung durch die Einsparung an PE-Folie: Da durch die Verwendung des Pulverklebstoffs keine PE-Folie mehr verwendet werden muss, kann diese vollständig eingespart werden. Beim Stand der Technik wird pro Quadratmeter beschichteter Metallfolie eine PE-Folie mit einem Gewicht von 10 Gramm bzw. 0,01 Kilogramm aufgetragen. Mit dem innovativen Beschichtungsverfahren mittels Pulverklebstoff können demnach im Vergleich zum Stand der Technik erhebliche Mengen an PE-Klebefolie eingespart werden, was die nachfolgende Berechnung verdeutlicht.

$$\text{PE-Folieneinsparung} = 53.526 \text{ m}^2 \times 0,01 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 535,26 \text{ kg}$$

Berücksichtigt man nun die geplante jährliche Produktionsmenge von 1.400.000 Quadratmetern, so reduziert sich die Menge an PE-Folie um jährlich 14.000 Kilogramm bzw. 14 Tonnen.

Für die Herleitung der Umweltentlastung durch die jährliche PE-Folieneinsparung kann wiederum auf die bereits genannte „Arbeitshilfe zur Berechnung von Materialeffizienzgewinnen“ zurückgegriffen werden, wobei der folgende Ansatz zur Berechnung der Umweltentlastung entscheidend ist:

Umweltprofile	Kum. Rohstoffwand [t/t]	Treibhauseffekt [t CO <sub>2</sub> -Äq./t]	Prozessschritte
LDPE	1,686	2,133	Rohmaterialextraktion bis Liefere- rung PE-Granulat ab Werk

**Tabelle 7: Umweltentlastung durch PE-Folie**

Durch die angestrebte Einsparung der PE-Folie in Höhe von 14 Tonnen können infolgedessen der kumulierte Rohstoffaufwand sowie der Anteil an Treibhausgasen in Form von Kohlenstoffdioxid, wie nachfolgend dargestellt, reduziert:

- Kumulierter Rohstoffaufwand =  $1,686 \frac{t}{t} \times 14 t = \mathbf{23,604 t}$
- Treibhauseffekt =  $2,133 \frac{tCO_2}{t} \times 14 t = \mathbf{29,604 t CO_2}$

Bei der vorstehend beschriebenen Quantifizierung der Umweltentlastungen sei darauf hingewiesen, dass bei dem angegebenen Treibhauseffekt lediglich die CO<sub>2</sub>-Äquivalente der Bereitstellung des PE-Granulats berücksichtigt wurde. Für eine exaktere Einstufung müsste der Wert für die Weiterverarbeitung der PE-Folie noch betrachtet werden. Auch wurde dabei der Umwelteffekt des eigentlichen Klebstoffs der PE-Folien nicht berücksichtigt, wodurch davon ausgegangen werden kann, dass sich der hier berechnete Treibhauseffekt von 29,6 Tonnen CO<sub>2</sub> nochmals deutlich erhöht.

Einsparung von Lösemitteln: Das innovative Beschichtungsverfahren mittels Pulverklebstoff verzichtet im Gegensatz zum Stand der Technik vollständig auf den Einsatz von Lösemitteln. Im Rahmen der Erfolgskontrolle konnten insgesamt bereits 53.526 Quadratmeter an Metallfolie mit Pulverklebstoff beschichtet werden. Beim Stand der Technik werden ca. 5 g (entsprechend ca. 0,005 Liter) an Primer pro Quadratmeter Folie benötigt. Der Primer enthält einen Lösemittelanteil von ca. 30 % und verbessert die Haftung der PE-Folie und der Klebstoffkomponente. Während der Erfolgskontrolle konnte die nachfolgende Menge an Primer eingespart werden.

- Einsparung Primer =  $0,005 \frac{l}{m^2} \times 53.526 m^2 = \mathbf{267,63 l}$
- Einsparung Lösemittel =  $267,63 l \times 30 \% = \mathbf{80,289 l}$

Bei einer voraussichtlichen Produktionsmenge in Höhe von 1.400.000 Quadratmetern im Jahr 2020 kann somit die Menge an Primer um **7.000 Liter** und der Anteil an Lösemitteln um **2.100 Liter** reduziert werden.

Aufbauend auf den vorangehenden Berechnungen sind die wesentlichen Umweltentlastungen des innovativen Beschichtungsverfahrens gegenüber einer konventionellen Anlagentechnik tabellarisch als Umweltbilanz zusammengefasst. Grundlage der Berechnungen bilden dabei wieder die erhobenen Daten im Rahmen der Erfolgskontrolle mit einer Produktionsmenge von 14.452 Kilogramm bzw. 53.526 m<sup>2</sup>. Die Werte wurden entsprechend auf unsere geplante jährliche Produktionsmenge hin adaptiert. .

	Konventionelles Beschichtungsverfahren	Innovatives Beschichtungsverfahren	Differenzbetrachtung / Umweltentlastung
<b>Energie (Strom)</b>			
<i>Energiebedarf pro m<sup>2</sup></i>	0,127 kWh/m <sup>2</sup>	0,065 kWh/m <sup>2</sup>	0,062 kWh/m <sup>2</sup>
<i>Energiebedarf pro Jahr</i>	177.821,00 kWh/a	90.681,16 kWh/a	87.139,84 kWh/a
<i>Entsprechendes CO<sub>2</sub>-Äquivalent</i>	95.489,88 kg CO <sub>2</sub> /a	48.695,79 kg CO <sub>2</sub> /a	46.794,09 kg CO <sub>2</sub> /a
<b>Ausschuss</b>			
<i>Ausschussquote</i>	>3 %	0 %	3 %
<i>Ausschussmenge pro Jahr</i>	19.410,00 kg/a	0 kg/a	19.410,00 kg/a
<i>Entsprechendes CO<sub>2</sub>-Äquivalent</i>	31.657,71 kg CO <sub>2</sub> /a	0 kg CO <sub>2</sub> /a	31.657,71 kg CO <sub>2</sub> /a
<b>PE-Folie</b>			
<i>Menge PE-Klebefolie pro m<sup>2</sup></i>	0,01 kg/m <sup>2</sup>	0 kg/m <sup>2</sup>	0,01 %
<i>Menge PE-Klebefolie pro Jahr</i>	14.000,00 kg/a	0 kg/a	14.000 kg/a
<i>Entsprechendes CO<sub>2</sub>-Äquivalent</i>	29.604,00 kg CO <sub>2</sub> /a	0 kg CO <sub>2</sub> /a	29.604,00 kg CO <sub>2</sub> /a
<b>Lösemittel und Primer</b>			
<i>Primer pro m<sup>2</sup> Jahr</i>	0,005 l/m <sup>2</sup>	0 l/m <sup>2</sup>	0,005 l/m <sup>2</sup>
<i>Primer pro Jahr</i>	7.000,00 l/a	0 l/a	7.000,00 l/a
<i>Lösemittel pro m<sup>2</sup></i>	0,0015 l/m <sup>2</sup>	0 l/m <sup>2</sup>	0,0015 l/m <sup>2</sup>
<i>Lösemittel pro Jahr</i>	2.100,00 l/a	0 l/a	2.100,00 l/a

Tabelle 8: Umweltbilanz innovatives Beschichtungsverfahren mittels Pulverklebstoff gegenüber einem konventionellen Lackkaschierverfahren des Stands der Technik. Bei der jährlichen Betrachtung wurde eine geplante Produktionsmenge von 1.400.000 m<sup>2</sup> herangezogen.

### 3.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Mit Blick auf die Realisierung der Multiplikatoreffekte ist es von entscheidender Bedeutung, dass das Investitionsvorhaben gegenüber dem Stand der Technik nicht nur unter ökologischen, sondern auch unter ökonomischen Gesichtspunkten vorteilhaft ist. Dabei ist das umgesetzte Beschichtungsverfahren mittels Pulverklebstoff eine optimale Kombination aus Ressourceneinsparung, Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit. Die entscheidenden Kosteneinsparungen basieren diesbezüglich insbesondere auf der Verringerung des Energiebedarfs sowie Reduzierung der Ausschussquoten. Im Rahmen der ökologischen Betrachtung des Vorhabens wurden die geplanten und realisierten Einsparungen bereits ausführlich dargestellt.

In der folgenden Tabelle ist ergänzend hierzu eine ökonomische Quantifizierung der relevanten jährlichen Einsparungen dargestellt.

<b>Einsparungen</b>	<b>in Euro</b>	<b>Anmerkung</b>
Strom	15.624,00	bei 0,18 €/kWh
Besäumstreifen/Ausschuss	45.613,50	bei 2,35 €/kg
PE-Folie	31.422,22	bei 2,25 €/kg (
<b>Jährliches Einsparpotenzial</b>	<b>92.659,72</b>	<b>€</b>

Tabelle 9: Berechnung der realisierten Einsparungen

Aufbauend auf den vorangehend dargestellten jährlichen Einsparungen kann nachfolgend die Wirtschaftlichkeit des Vorhabens in Form einer Amortisationsrechnung aufgezeigt werden. Die Investitionshöhe zur Realisierung des innovativen Beschichtungsverfahrens betrug dabei 1.434.270 EUR, wobei PECTEC ein Zuschuss aus dem Umweltinnovationsprogramm in Höhe von 430.281 EUR gewährt wurde. Aufbauend auf der Investitionshöhe sowie den zukünftig ermöglichten Ressourceneinsparungen ist in der folgenden Tabelle die Berechnung der Amortisationszeit dargestellt.

<b>Amortisationsrechnung</b>	
Investitionskosten	1.434.270 EUR
- Zuwendung aus dem UIP	430.281 EUR
Tatsächliche Investitionskosten	1.003.989 EUR
÷Einsparpotenzial auf Basis der Ressourceneinsparungen	92.659,72EUR
<b>Amortisationszeit</b>	<b>10,8 Jahre</b>

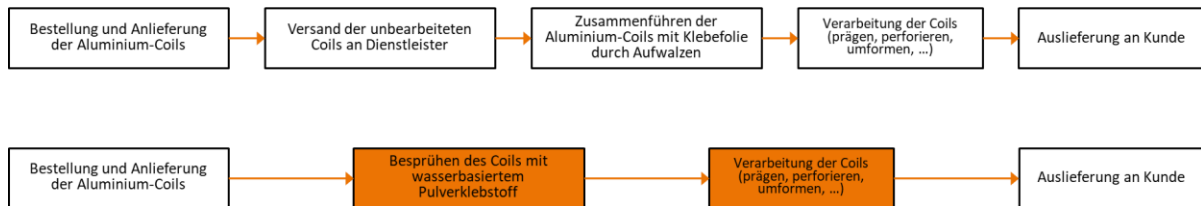
Tabelle 10: Amortisationszeit auf Basis der dargestellten Ressourceneinsparungen

Ohne eine entsprechende Zuwendung aus dem UIP würde die Amortisationszeit nahezu 15,5 Jahre betragen, woraus die enorme Bedeutung der erhaltenen Zuwendung in Bezug auf die Amortisationszeit deutlich wird. Darüber hinaus gilt es an dieser Stelle anzumerken, dass der gewährte UIP-Zuschuss insbesondere mit Blick auf die technischen Risiken einer erstmaligen großtechnischen Realisierung für das Unternehmen von entscheidender Bedeutung war.

### 3.5 Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren

#### Umgesetztes innovatives Anlagenkonzept mittels Pulverklebstoff

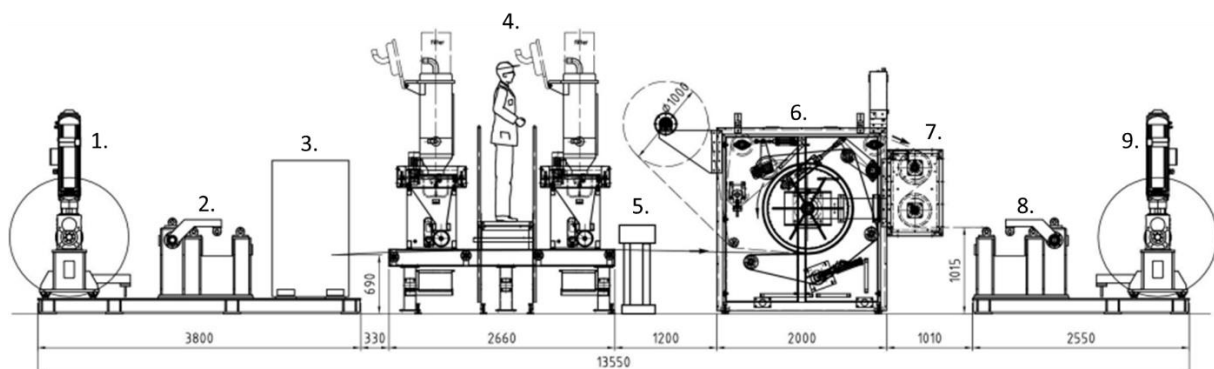
Einleitend für die Beschreibung der technischen Funktionsweise des innovativen Anlagenkonzepts sind in der nachfolgenden Abbildung die Wertschöpfungsketten des Stands der Technik (oben) sowie nach Realisierung des Investitionsvorhabens (unten) aufgezeigt. Dabei wird deutlich, dass durch das Insourcen des Klebstofflackauftrags eine Prozessstufe entfällt und alle Bearbeitungsschritte der Metallfolie bei PECTEC durchgeführt werden können. Bislang musste für den Auftrag der Klebefolie ein externer Dienstleister herangezogen werden, was mit einem erheblichen Transportaufwand und den damit einhergehenden Emissionen verbunden war.



**Abbildung 12: Vergleich Ausgangssituation (oben) und umgesetztes Beschichtungsverfahren (unten). Quelle: eigene Darstellung.**

Beim Stand der Technik wird ein Metall-Coil eingespannt und abgerollt, mittels Walzen wird die abgewickelte Metallfolie stabilisiert und angetrieben. Die PE-Folie wird ebenfalls mittels Walzen angetrieben und stabilisiert sowie auf dieselbe Geschwindigkeit gebracht, wie die Metallfolie. Mittels zweier gegenläufiger Walzen wird im ersten Schritt der lösemittelhaltige Kleber durch ein Rakelsystem aufgebracht. Im 2. Schritt wird die PE-Folie auf die Metallfolie aufkaschiert, wodurch eine stoffschlüssige Verbindung entsteht. Die Nachteile, die mit dem Verfahren des Stands der Technik einhergehen, wurden bereits im Abschnitt 1.2 Ausgangssituation näher beschrieben.

Bei dem realisierten innovativen Beschichtungsverfahren erfolgt der Klebstoffauftrag nicht durch ein Rakelsystem, sondern über ein Bestreuen der Metallfolie mittels zweier Pulverstreuer. In der Abbildung 13 ist eine schematische Darstellung der innovativen Beschichtungsanlage dargestellt, die einzelnen Anlagenteile sind nummeriert und werden im nachfolgenden Text näher erläutert.



**Abbildung 13: Verfahrensschema des innovativen Verfahrens. Quelle: PECTEC GmbH**

1. Abwickler: Auf dem Abwickler befindet sich der Metall-Coil, dieser wird über zwei Elektromotoren gleichmäßig abgewickelt und zur Reckstation geführt.
2. Reckstation: Die Metallfolie wird in die Reckstation eingebracht und mit dieser stabilisiert. Die Reckstation sorgt dafür, dass die Metallfolie entsprechende Bahnspannung erhält, wodurch diese gleichmäßig und sauber durch die weiteren Prozessschritte geleitet werden kann.

3. Vorbehandlung: Im Anschluss an die Reckstation wird die Metallfolie durch die Vorbehandlung geleitet, hier wird diese erhitzt, um Verschmutzungen wie Fette und Öle zu entfernen. Dieser Schritt ist für den anschließenden Pulverauftrag und dessen Haftung essenziell.
4. Pulverstreuer: Die Pulverstreustation besteht aus zwei Pulverstreuern, die für den Pulverklebstoffauftrag auf die zuvor gereinigte Metallfolie zuständig sind. Durch die Verwendung von zwei hintereinander geschalteten Pulverstreuern kann damit die Granulatstärke des Pulvers optimal gesteuert werden. So kann beispielsweise durch den ersten Pulverstreuer ein Feinpulver und durch den zweiten ein etwas gröberes Pulver auf die gesamte Breite der Metallfolie aufgetragen werden, um optimale Haftungs- und Benetzungsergebnisse erzielen zu können.
5. Befeuchtungsstation: Im nächsten Schritt kann die mit dem Pulver bestreute Metallfolie mit Wasserdampf beaufschlagt und damit benetzt werden. Hiermit wurde das Ziel verfolgt, dass sich der Pulverklebstoff auf der Metallfolie gleichmäßiger bindet.
6. Heißkalandar: Von der Befeuchtungsstation wird die Metallfolie mit dem nun gebundenen Pulverklebstoff in den Heißkalandar geleitet. Hier wird die Metallfolie erhitzt, der zuvor aufgebrauchte Wasserdampf entweicht, wodurch ein flächiger Auftrag des Klebstoffs auf der Metallfolie erzielt wird.
7. Kühlwalzen: Die Kühlwalzen sorgen für eine Abkühlung der Metallfolie und dem zuvor aufgebrauchten Klebstoffs. Durch die Abkühlung erhärtet der Klebstoff, dies ist notwendig, um die nun fertig beschichtete Metallfolie im späteren Schritt wieder zu einem Metall-Coil aufwickeln zu können.
8. Reckstation: Die Metallfolie wird wieder in eine Reckstation eingebracht, diese stabilisiert die Metallfolie und sorgt für eine entsprechende Bahnspannung, um die beschichtete Metallfolie im darauffolgenden Prozessschritt zuverlässig zu einem Metall-Coil aufwickeln zu können.
9. Aufwickler: Der Aufwickler wird über zwei Elektromotoren angetrieben, diese wickeln die fertig beschichtete Metallfolie zu einem Metall-Coil auf, wodurch der effiziente Transport ermöglicht wird.

Bislang gab es in Deutschland keine Alternative zu dem eingesetzten Lackkaschierverfahren, welches zwingend mit dem Aufbringen einer weiteren PE-Klebefolie, dem prozessbedingten hohen Ausschuss und einem hohen Energieverbrauch verbunden ist. Infolgedessen konnte PECTEC mit dem durchgeführten Investitionsvorhaben ein Technologiewechsel von einem ineffizienten Lackkaschierverfahren (PE-Folie und lösemittelhaltiger Kleber) auf ein exaktes Bestreuen der Metallfolie mit Pulverklebstoff einleiten. Dieser wasserbasierte Klebstoff basiert im Wesentlichen auf Epoxidharz und benötigt keine Lösemittelkomponenten. Infolgedessen kann nicht nur ein substanziiell umweltfreundlicherer Klebstofflack eingesetzt, sondern darüber hinaus auch die Materialeffizienz im Herstellungsprozess maßgeblich erhöht werden.

Neben der Einsparung einer Prozessstufe und dem Wegfall aufwändiger Logistikprozesse konnte mit dem durchgeführten Vorhaben erstmals eine flexible Verarbeitung der Metall-Coils ermöglicht werden. Bisher ist die Bearbeitung von Coils in unterschiedlichen Breiten prozessbedingt nicht möglich. Durch das geplante Innovationsvorhaben hingegen können erstmalig Coils in den Breiten zwischen 1 Meter und 1,40 Metern auf der selben Anlage beschichtet werden. Des Weiteren gilt es an dieser Stelle anzumerken, dass durch eine weitere angebrachte Abwicklung flexibel auf andere Materialien umgestellt werden kann. Das heißt, dass zusätzlich zum aufgelegten Metall-Coil flexibel auf alternative Materialien wie Vliesstoffe, Kunststofffolien oder Papier gewechselt werden kann. Mit Blick auf mögliche Multiplikatorwirkungen ist die hierbei realisierte Flexibilität von entscheidender Bedeutung. Diesbezüglich ist lediglich eine Anpassung der Prozessparameter notwendig.



## 4. Übertragbarkeit

### 4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Grundsätzlich gilt es mit Blick auf die Erfahrungen aus der Praxiseinführung zunächst festzuhalten, dass sich das realisierte Anlagenkonzept unter ökologischen als auch unter ökonomischen Gesichtspunkten bestätigt hat. Angesichts der umgesetzten Innovationen konnte im Rahmen der Erfolgskontrolle gezeigt werden, dass im Vergleich zu konventionellen Anlagen der Ausschuss sowie der Energieverbrauch erheblich reduziert werden kann. Zudem geht mit dem innovativen Beschichtungsverfahren und den zum Einsatz kommenden Pulverstreuern einher, dass vollständig auf lösemittelhaltige Klebstoffe und den Primer verzichtet werden kann. Weitere Optimierungspotenziale, die das grundsätzliche Anlagenkonzept betreffen, konnten Stand heute nicht identifiziert werden, da der Prozess im Dauerbetrieb stabil, sicher und ressourcenschonend läuft.

Die Erfahrung aus der Praxiseinführung zeigte, dass sich mit dem innovativen Beschichtungsverfahren mittels Pulverstreuer die Flexibilität auf Kundenanforderungen reagieren zu können deutlich verbessert hat. Das in Säcken angelieferte Klebepulver kann auf jede vom Kunden gewünschte Arbeitsbreite appliziert werden. Damit einhergehen im Vergleich zum Stand der Technik eine Reduktion an Verschnitt. Auf der Beschichtungsanlage können Coils mit einer maximalen Arbeitsbreite von 1500 mm verarbeitet werden. Verarbeitet wurden bisher Coils der Breiten 800 mm, 910 mm, 1000 mm, 1100 mm, 1110 mm, 1200 mm, 1250 mm. Je nach Kundenanforderung kann mit der innovativen Beschichtungsanlage jede auf dem Markt beschaffbare Breite bis 1500 mm verarbeitet werden. Damit steigt zusätzlich die Flexibilität und es können eine Vielzahl verschiedener Anwendungsfelder und Branchen beliefert werden.

Da es bisher keine Erfahrungen mit dem Verhalten der Pulverklebstoffe beim Kaschieren gab, mussten anhand von Versuchen die optimalen Prozessbedingungen vorerst ermittelt werden. Diese wurden anschließend validiert. Hierfür wurden die Arbeitstemperaturen sowie die Bahngeschwindigkeit und die daraus resultierende Kontaktzeit mit der Walze ermittelt. Während diesen Versuchen wurde das Pulver mittels Handstreuer auf ein DIN A4 großes Aluminiummuster aufgebracht und anschließend der Anlage zugeführt. Hiermit kann der Materialverbrauch in der Vorserie nochmals reduziert und somit Ressourcen eingespart werden.

Je nach eingesetztem Klebetypen kommt es aufgrund ihrer verschiedenen chemischen Zusammensetzungen zu sehr unterschiedlichen Verhalten. Dabei gilt es festzuhalten, dass somit keine Ableitungen von den Klebstoffeigenschaften eines Pulvers zu einem anderen gemacht werden können. Beim Einsatz eines neuen Pulverklebstoffes müssen demnach die Klebstoffeigenschaften erst anhand der beschriebenen Versuchsdurchführung validiert werden. Des Weiteren wurde festgestellt, dass sich die Homogenität des Beschichtungsbildes durch die Korngröße des Pulverklebstoffes beeinflusst. Die Pulverstreuer müssen demnach in Abhängigkeit des eingesetzten Pulverklebstoffes exakt auf diese eingestellt und angepasst werden.

Während der Praxiseinführung und den bislang produzierten Mengen konnte zudem festgestellt werden, dass je nach appliziertem Klebstoff die Produktivität der Anlage gegenüber dem Stand der Technik um bis zu 50 % gesteigert werden kann.

Die Praxiseinführung zeigte zudem, dass eine Besprühung des bislang eingesetzten Pulverklebstoffes mit Wasserdampf nachdem Auftrag keine Vorteile mit sich bringt. Da sich jedoch die eingesetzten Pulverklebstoffe unterscheiden, könnte es sein, dass bei speziellen Typen eine Benetzung Vorteile hätte. Zum aktuellen Zeitpunkt kann allerdings davon ausgegangen werden, dass dieser Prozessschritt bei zukünftigen Anlagen entfallen kann.

Mit Umsetzung des Vorhabens konnte PECTEC nicht nur seine Stellung als Innovationsführer weiter stärken, sondern des Weiteren die kunden- und marktseitige Wahrnehmung unter ökologischen Gesichtspunkten erheblich verbessern.

## 4.2 Modellcharakter und Übertragbarkeit

Mit der erstmaligen Realisierung des innovativen Beschichtungsverfahrens mittels Pulverklebstoff konnte PECTEC erfolgreich demonstrieren, wie durch maßgebende Prozess- und Anlageninnovationen Nachhaltigkeit im Bereich der Beschichtung von Metallfolien mit einer wirtschaftlichen Fertigung in Einklang gebracht werden kann. Die entscheidenden Energie- und Ressourceneinsparungen basieren dabei im Wesentlichen auf dem Klebstoffauftrag mittels Pulverstreuern. Mit dieser innovativen Technologie zusammen mit der Kombination der eingesetzten weiteren Anlagenkomponenten konnte so ein hocheffizientes und umweltfreundliches Beschichtungsverfahren realisiert werden. Die wesentlichen Innovationen sind in der nachfolgenden Übersicht nochmals zusammengefasst dargestellt.

### Anlagenkomponenten

Abwickler
Reckstation
Vorbehandlung
Pulverstreuer I
Pulverstreuer II
Befeuchtung
Heißkalander
Kühlwalzen
Reckstation
Aufwickler

### Prozess-, Anlagen- und Produktinnovationen

- Erstmaliger Einsatz von Pulverstreuern für den Klebstoffauftrag
- Gezielte Steuerung der Klebstoffschichtdicke
- Einsatz von wasserbasiertem lösemittelfreiem Klebstoff
- Vollflächiger Auftrag ohne Besäumungstreifen
- Erhebliche Reduktion von Abfällen und Ausschuss
- Hohe Produktflexibilität
- Exakte Abstimmung zwischen den Anlagenkomponenten
- Höhere Energie- und Ressourceneffizienz
- Geringere Umweltbelastungen

Abbildung 14: Anlagenkomponenten und realisierte Innovationen des innovativen Verfahrens. Quelle: Eigene Darstellung.

Die Realisierung des innovativen Beschichtungsverfahrens mittels Pulverklebstoff zeigt angesichts der damit einhergehenden Umweltentlastungen und der erzielten Materialeffizienz das Verbesserungspotenzial der konventionellen Lackkaschierertechnologie auf. Mit dem Vorhaben konnte demonstriert werden, dass die Herstellung bzw. Beschichtung von Metallfolien in einem energieeffizienteren und ressourcenschonenderen Prozess realisiert werden kann, der neben einer wirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit auch erhebliche Verbesserungen hinsichtlich den Umwelteffekten aufweist. PECTEC konnte somit einen durch Nachhaltigkeit geprägten Technologiewechsel von einem ineffizienten Aufwalzprozess lösemittelhaltiger PE-Klebefolien hin zu einem effizienten und umweltschonenden Pulververfahren realisieren.

In Bezug auf die Übertragbarkeit der Technologie kann festgehalten werden, dass geprägte und perforierte Metallfolien in zahlreichen Anwendungsfeldern zum Einsatz kommen. Je nach Beschaffenheit bietet das Material dabei hervorragende Eigenschaften in Bezug auf thermische sowie akustische Abschirmung. Aluminiumfolien werden beispielsweise in unterschiedlichen Bereichen in der Automobilindustrie eingesetzt. Die folgenden Abbildungen zeigen eine exemplarische Auswahl möglicher Einsatzbereiche der Automobilbranche.



**Abbildung 15: Hitzeschutzblech Auspuffkrümmer (links). Quelle: Isolte GmbH<sup>3</sup>, Thermische Abschirmung Getriebetunnel (Mitte). Quelle: Elring Klinger AG<sup>4</sup>, Motorhaubendämmung (rechts). Quelle Autoneum AG<sup>5</sup>.**

Die deutschen Automobilhersteller produzierten allein im Inland im vergangenen Jahr ca. 4,66 Millionen Personenkraftfahrzeuge, der Personenkraftwagenbestand in Deutschland lag Ende 2016 bei 45,8 Millionen. Bezieht man die Bestandsfahrzeuge und damit die Ersatzteilversorgung dieser Fahrzeuge mit ein, so wird der enorme Markt für geprägte und perforierte thermoakustische Metallfolien deutlich.

Neben der Automobilindustrie werden Aluminiumfolien auch in der Flugzeug- und Raumfahrtindustrie für thermoakustische Zwecke eingesetzt. Auch in zahlreichen Haushaltsgeräten sind akustische und thermische Stanz- und Formteile aufgrund ihrer hervorragenden Eigenschaften enthalten. So können Betriebsgeräusche und die entstehende Hitze zuverlässig abgeleitet und zudem entstehende Feuchtigkeit von den sensiblen Innenleben ausgeschlossen werden. Ein weiterer Einsatzzweck ist die zuverlässige Abschirmung von Strahlung, beispielsweise in Mikrowellen. Aufgrund der erreichten Anlagenflexibilität ist es darüber hinaus theoretisch möglich, zusätzlich zu NE-Metallfolien weitere Materialien als Coil-Ware zu verarbeiten. So kann mit der realisierten Anlage unter anderem auch die Beschichtung von Vlies- und Kunststoffen sowie Papier durchgeführt werden, was mit Blick auf die mögliche Multiplikatorwirkung der Technologie von entscheidender Bedeutung ist.

Zudem kann die umweltfreundlichere Technologie theoretisch in vielen weiteren Branchen eingesetzt werden und die klassischen Kaschierverfahren ersetzen. Hier sei unter anderem die Lebensmittel- und Süßwarenindustrie, die Druckindustrie und die Folien- und Werbetechnik zu nennen. In den genannten und in Deutschland stark vertretenen Branchen werden kaschierte Produkte eingesetzt, die mit dem umweltfreundlichen und innovativen Verfahren hergestellt werden können. Die vorangehenden Ausführungen zeigen das erhebliche Multiplikator-Potenzial, welches mit dem Investitionsvorhaben einhergeht.

<sup>3</sup>[https://www.isolite.de/wp-content/uploads/2017/05/Bild\\_einsetzen\\_ISOLITE\\_Website\\_BauteilOMG656\\_783x521px.jpg](https://www.isolite.de/wp-content/uploads/2017/05/Bild_einsetzen_ISOLITE_Website_BauteilOMG656_783x521px.jpg) (aufgerufen am 28.04.2020)

<sup>4</sup><https://www.elringklinger.de/de/produkte-technologien/abschirmtechnik/abschirmsysteme> (aufgerufen am 28.04.2020)

<sup>5</sup> [https://www.autoneum.com/de/produkte-technologien/motorraum/#iLightbox\[image\\_carousel\\_3\]/0](https://www.autoneum.com/de/produkte-technologien/motorraum/#iLightbox[image_carousel_3]/0) (aufgerufen am 28.04.2020)

## 5. Zusammenfassung/Summary

Mit dem realisierten innovativen Beschichtungsverfahren konnte die PECTEC GmbH erstmals ein Technologiewechsel im Bereich der konventionellen Lackkaschierverfahren erzielen. Bei dem Verfahren erfolgt der Klebstoffauftrag nicht durch ein herkömmliches Auftragsystem, sondern über ein Bestreuen der Metallfolie mittels zweier hintereinander angeordneter Pulverstreuer. Der wesentliche Vorteil liegt darin, dass der Klebstoffauftrag über die gesamte Coilbreite hin realisiert wird und dadurch kein Besäumungstreifen entsteht. Insgesamt gehen mit dem Verfahren gegenüber dem Stand der Technik erhebliche Einsparpotenziale in Bezug auf den Energieverbrauch und der verringerte Einsatz von Ressourcen einher.

Die erfolgreiche Umsetzung des innovativen Beschichtungsverfahrens zeigte, dass sich der elektrische Energiebedarf pro Quadratmeter Coil im Vergleich zu einer konventionellen Anlage um ca. 0,062 Kilowattstunden reduziert. Bei einer voraussichtlichen jährlichen Produktionskapazität von 1.400.000 Quadratmeter Coil kann der jährliche Energieverbrauch in Form von Strom um **87.139,84 Kilowattstunden** reduziert werden. Dies entspricht einer jährlichen CO<sub>2</sub>-Reduktion in Höhe von **46,79 Tonnen CO<sub>2</sub>**.

Ein weiterer entscheidender Vorteil liegt darin, dass im Vergleich zum Stand der Technik kein Besäumungstreifen am Rand des zu beschichtenden Coils anfällt. Dieser pro Seite ca. 15 Millimeter breite Streifen führte bislang zu großen Mengen an Ausschuss bzw. Abfall. Mit dem realisierten Verfahren wird der Coil über die gesamte Breite mit Pulverklebstoff bestreut. Demnach fällt kein Abfall in Form des Besäumungstreifens mehr an, was zu erheblichen Ressourceneinsparungen führt. Insgesamt reduziert sich dadurch der jährliche Ausschuss um **19,41 Tonnen**, was einer CO<sub>2</sub>-Reduktion von **31,7 Tonnen** pro Jahr entspricht.

Zudem verringert sich aufgrund des lösemittelfreien Klebstoffs der Anteil an Lösemitteln um jährlich ca. **2.100 Liter**. Eine weitere Umweltentlastung kann durch den vollständigen Wegfall der PE-Klebefolie erzielt werden. Infolgedessen reduziert sich der jährliche Bedarf an PE-Klebefolie um 14 Tonnen. Da die PE-Folie aus fossilen Rohstoffen hergestellt wird geht damit eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Höhe von ca. **29,6 Tonnen** einher.

Insgesamt lassen sich durch das innovative Beschichtungsverfahren die jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen um **107,9 Tonnen** reduzieren.

Auf Basis der durchgeführten Messdatenerhebung wird deutlich, welche substanziellen Umweltentlastungen mit der erstmaligen großtechnischen Realisierung des innovativen Beschichtungsverfahrens mittels Pulverklebstoff verbunden sind. Dabei konnte das angestrebte Anlagenkonzept sowie die realisierten Innovationen vollumfänglich bestätigt werden, sodass unter ökologischen Gesichtspunkten ein neuer Branchenbenchmark in der Lackkaschierertechnologie etabliert werden konnte.

With the innovative coating process implemented, PECTEC GmbH was able to achieve a major technological change in the field of conventional lacquer lamination processes. In this process, the adhesive is not applied by a conventional coating system, but by sintering adhesive powder onto the metal foil using two powder scatterers arranged in linear order. The main advantage is that the adhesive is applied over the entire width of the coil, thus avoiding a necessary trim strip. All in all, the process offers considerable savings potential in terms of energy consumption and reduced use of resources compared to the state of the art.

The successful implementation of the innovative coating process showed that the electrical energy requirement per square meter of coil is reduced by approx. 0.062 kilowatt hours compared to a conventional system. With an expected annual production capacity of 1,400,000 square meters of coil, the annual energy consumption in the form of electricity can be reduced by 87.139,84 kilowatt hours. This is equivalent to an annual CO<sub>2</sub> reduction of 46.79 tons of CO<sub>2</sub>.

Another key advantage is that, compared with the state of the art, there is no trimming strip at the edge of the coil to be coated. This strip, which is approx. 15 millimeters wide on each side, has resulted in large amounts of scrap or waste. With the implemented process, the coil is coated with powder adhesive over its entire width. As a result, there is no more waste in the form of the trimmed strip, which leads to considerable savings in resources. Overall, this reduces the annual scrap by 19.41 tons, which corresponds to a CO<sub>2</sub> reduction of 31.7 tons per year.

In addition, the solvent-free adhesive reduces the amount of solvents by approximately 2,100 liters per year. A further environmental benefit can be achieved by the complete elimination of the PE film. As a result, the annual demand for PE adhesive film is reduced by 14 tonnes. As the PE film is produced from fossil raw materials, this is accompanied by a reduction in CO<sub>2</sub> emissions of approx. 29.6 tonnes.

In total, the innovative coating process can reduce annual CO<sub>2</sub> emissions by 107.9 tonnes.

On the basis of the measurement data collected, it is clear what substantial environmental benefits are associated with the first industrial-scale implementation of the innovative coating process using powder adhesive. The targeted coating process and the innovations developed have been fully confirmed, so that from an ecological point of view a new industry benchmark in the field of coating technology has been established.