



 **BEILHARZ**

Förderkennzeichen: NKa3-003344

Abschlussbericht im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms

**Emissionsarme elektrische Doppelstationen-Hochleistungs-Hohlkörperblas-
anlage zur Herstellung von Leitpfosten**

Beilharz GmbH & Co. KG | Rosenfelder Straße 100 | 72189 Vöhringen

Inhaltsverzeichnis

Berichts-Kennblatt.....	1
Report Coversheet.....	2
1. Einleitung	3
1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens	3
1.2 Ausgangssituation	3
2. Vorhabenumsetzung	9
2.1 Ziel des Vorhabens	9
2.2 Auslegung und Leistungsdaten der technischen Lösung	10
2.3 Umsetzung des Vorhabens.....	10
2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen).....	11
2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten.....	11
2.6 Konzeption und Durchführung des Messprogramms	11
3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung	13
3.1 Bewertung der Vorhabendurchführung.....	13
3.2 Stoff- und Energiebilanz	14
3.3 Umweltbilanz.....	15
3.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse	19
3.5 Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren	20
4. Übertragbarkeit	26
4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung.....	26
4.2 Modellcharakter und Übertragbarkeit.....	27
5. Zusammenfassung/Summary	30

BMUV-UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM

Abschlussbericht zum Vorhaben

Emissionsarme elektrische Doppelstationen-Hochleistungs-Hohlkörperblasanlage
zur Herstellung von Leiterplatten

Zuwendungsempfänger

Beilharz GmbH & Co. KG

Umweltbericht

Ressourceneffizienz und Energieeinsparung

Laufzeit des Vorhabens

22.02.2018 bis 31.07.2022

Autor

Stefan Beilharz

Datum der Erstellung

01.08.2022

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

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen des UBA:	Projekt-Nr.: NKa3 - 003344
Titel des Vorhabens: Emissionsarme elektrische Doppelstationen-Hochleistungs-Hohlkörperblasanlage zur Herstellung von Leitpfosten	
Autor: Stefan Beilharz	Vorhabenbeginn: 22.02.2018
	Vorhabenende: 31.07.2022
Zuwendungsempfänger: Beilharz GmbH & Co. KG Rosenfelder Straße 100 72189 Vöhringen	Veröffentlichungsdatum: 01.08.2022
	Seitenzahl: 32
Gefördert im BMU-Umweltinnovationsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit.	
Kurzfassung: Die Beilharz GmbH & Co. KG investierte in eine innovative Hohlkörperblasanlage, die in der Größenordnung erstmals über eine elektrische Schließeinheit in Kombination mit einem Dreifachextruder ausgestattet wurde. Damit können erstmals unter anderem Straßenleitpfosten mit einem Rezyklatanteil von bis zu 80 % hergestellt werden. Das Rezyklat wird dabei am Standort selbst aus alten Leitpfosten hergestellt und aufbereitet. Bei einer Jahresproduktion von 400 Tonnen reduzieren sich die jährlichen CO ₂ -Emissionen im Vergleich zum Stand der Technik um 631 Tonnen.	
Schlagwörter: Hohlkörperblasen – Kunststoff – Ressourceneffizienz – Rezyklat	
Anzahl der gelieferten Berichte: Papierform: 5 Elektronischer Datenträger: 1	Sonstige Medien: – Veröffentlichung im Internet geplant auf der Webseite:

Report Coversheet

Reference-No. Federal Environmental Agency:		Project-No.: NKa3 - 003317	
Report Title: Low-emission electric double-station high-performance blow molding machine for the production of delineators			
Author: Stefan Beilharz		Start of project: 22/02/2018	
		End of project: 31/07/2022	
Performing Organisation: Beilharz GmbH & Co. KG Rosenfelder Straße 100 72189 Vöhringen		Publication Date: 01/08/2022	
		No. of Pages: 32	
Funded in the Environmental Innovation Program of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety.			
Summary: Beilharz GmbH & Co. KG invested in an innovative blow-moulding machine, which for the first time was equipped with an electric clamping unit in combination with a triple extruder. This means that road delineators with a recycled content of up to 80% can be manufactured for the first time. The recyclate is produced and processed at the site itself from old delineators. With an annual production of 400 tons, the annual CO2 emissions are reduced by 631 tons compared to the state of the art.			
Keywords: moulding – plastic – resource efficiency - recyclat			

1. Einleitung

1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens

Die Beilharz GmbH & Co. KG (nachfolgend Beilharz) ist ein Hersteller verschiedener Produkte im Bereich Straßenausrüstungen, darunter Leitpfosten, Leitpfostenaufsätze, Reflektoren, Stationierungs-/Klassifizierungstafeln, Blendschutz für Autobahnen, Kurvensicherung sowie weitere Kunststoffprodukte. Als zertifiziertes Unternehmen nach ISO 9001 & 14001 wird dabei auf höchste Qualität und eine lückenlose Qualitätssicherung besonderen Wert gelegt. Die Straßenausrüstungen von Beilharz leisten auf allen Straßen der Welt einen wichtigen Beitrag zu mehr passiver Sicherheit.

Beilharz ist bekannt für seine hochwertigen, kundennahen und praxisorientierten Lösungen. Die Kompetenzen liegen im Bereich Extrusion, Hohlkörperblastechnik und dem Spritzguss, wodurch wir flexibel auf die Anforderungen unserer Kunden reagieren können und im Bereich der Kunststoffverarbeitung über die jeweils für den Anwendungsfall passende Lösung verfügen.

Neben der Kunststoffverarbeitung hat sich Beilharz auch auf die Fertigung von Wohnhäusern spezialisiert. Dabei setzt Beilharz vor allem auf den ökologischen Rohstoff Holz und bietet ihren Kunden flexibel konfigurierbare Modulkäuser, Architektenhäuser sowie Effizienzhäuser an.

1.2 Ausgangssituation

Kunststoffhohlkörper wie beispielsweise Kraftstofftanks, Fässer, IBC-Container, Kanister, Straßenleitpfosten, Leitbaken oder das bekannte Bobby-Car werden durch die sogenannte Extrusionsblastechnik bzw. mittels Blasformverfahren hergestellt.

Beim Stand der Technik wird über einen Materialtrichter Kunststoffgranulat einem beheizten Extruder zugeführt. Aufgrund der Wärmezufuhr wird das feste Kunststoffgranulat in eine formbare beziehungsweise fließfähige Masse überführt. Durch eine Extruderschnecke wird das fließfähige Material durch das Extrusionswerkzeug hin zum Schlauchkopf gefördert, wo dieses in eine vertikale Fließbewegung umgelenkt und über eine ringförmige Düse ein sogenannter schlauchförmiger Schmelze-Vorformling ausgeformt wird. Dieser senkrecht hängende Schmelze-Vorformling besitzt, je nach verwendetem Kunststoff, eine Temperatur von ca. 180 °C – 210°C. Die nachfolgende Abbildung 1 zeigt den Prozess des Ausformens eines Schmelze-Vorformlings.

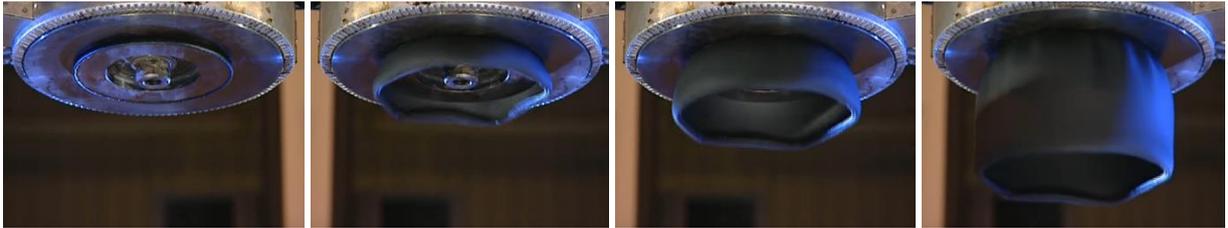


Abbildung 1: Ausformen des Schmelze-Vorformlings

Während dem Ausformen des Schmelze-Vorformlings wird in der Regel durch einen sogenannten Dorn die Wanddicke eingestellt. Dies ist vor allem bei Hohlkörpern mit starken Konturen besonders wichtig, um die unterschiedlichen Reckwege auszugleichen. Des Weiteren führt besonders bei großen und langen Schmelze-Vorformlingen das Eigengewicht zu einer zusätzlichen Streckung des Schmelze-Vorformlings, welcher durch die Wanddickensteuerung ausgeglichen wird.

Im nächsten Schritt wird eine in der Regel aus zwei Halbschalen bestehende Form, das sogenannte Blasformwerkzeug, um den frei unter dem Kopf hängenden Vorformling geschlossen und quetscht diesen an der oberen sowie unteren Seite ab. Das Blasformwerkzeug dient dabei der Formgebung des gewünschten Hohlkörpers und verfügt über Kühlwasseranschlüsse.



Abbildung 2: Schließvorgang und Formgebung mittels hydraulischer Presse

Die vorangehend dargestellte Abbildung 2 zeigt den Schließvorgang und damit die Formgebung des Kunststoff-Hohlkörpers mit einer hydraulischen Schließeinheit. Um den gewünschten Hohlkörper letztendlich auszuformen wird ein sogenannter Blasdorn oder mehrere Blasnadeln in den eingeschlossenen Schmelze-Vorformling eingebracht und anschließend mit Luft beaufschlagt. Dies führt dazu, dass der plastische Vorformling gegen die gekühlten Außenwände des Blasformwerkzeugs gedrückt wird, wo der Kunststoff abkühlt, erhärtet und die endgültige Form des Formteils annimmt. Anschließend wird das Blasformwerkzeug geöffnet und das Formteil entnommen. Im letzten Arbeitsschritt müssen die sogenannten Butzen, die abgequetschten Enden des Blasformteils, entfernt wer-

den. Diese werden anschließend zerkleinert und können, je nach Anwendung, dem Produktionsprozess wieder zugeführt werden. Die folgende Abbildung 3 gibt einen Überblick über die Anlagenkomponenten einer Hohlkörperblasanlage.

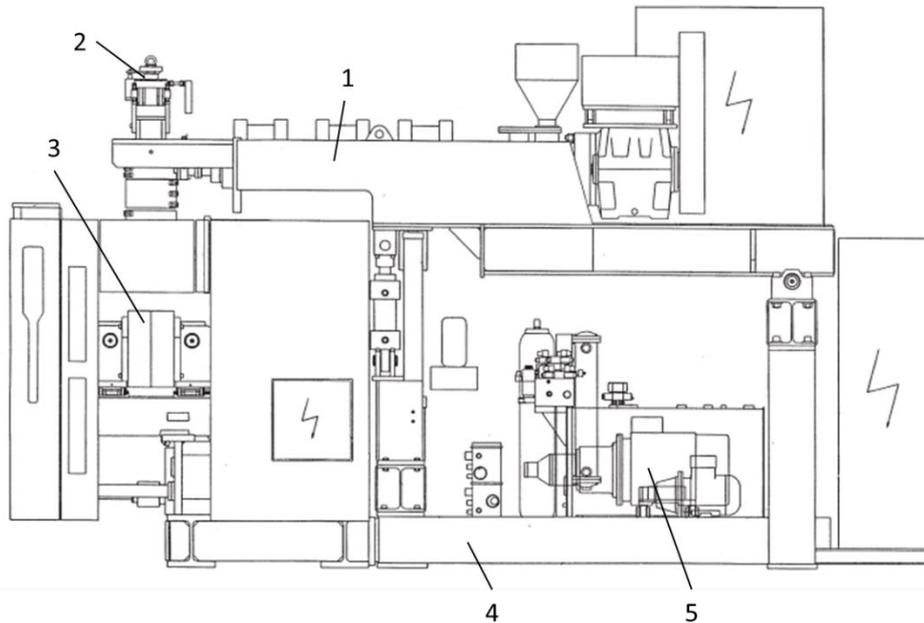


Abbildung 3: Teilsysteme der Hohlkörperblasanlage

Grundsätzlich kann eine Hohlkörperblasanlage in die folgenden Teilsysteme untergliedert werden (vgl. Abbildung 3):

1. Extrudereinheit mit Materialtrichter, Förderschnecke und Beheizung für das Plastifizieren
2. Schlauchkopf mit Speicher zur Umlenkung des fließfähigen Kunststoffes sowie zum Ausformen des schlauchförmigen Schmelze-Vorformlings
3. Gekühltes Blasformwerkzeug zur Formgebung des Hohlkörpers
4. Maschinengestell
5. Peripherie zur Versorgung des Blasformwerkzeugs mit Hydraulikmotor, Pumpen, Hydrauliköl, Hydraulikleitungen, Kühlwasser- und Luftversorgung

Während der Formgebung des Kunststoffhohlkörpers entstehen im Inneren des Blasformwerkzeugs hohe Drücke, entsprechend muss das Blasformwerkzeug über eine hohe und sichere Schließkraft verfügen. Abhängig von dem zu erzeugenden Blasformteil sind Schließkräfte von 30 bis ca. 130 t notwendig. Beim Stand der Technik wird das Blasformwerkzeug mittels Hydraulik zusammengepresst und entsprechend während der Beaufschlagung mit Luft geschlossen gehalten. Die gesamte Hydraulikeinheit besteht aus einem Tank, in dem sich das Hydrauliköl befindet, einem Hydraulikmotor der

die Pumpe für den Druckaufbau antreibt, mehreren Ventilen, Hydraulikleitungen und kraftübertragenden Kolben.

Ein wesentlicher Nachteil der Hydraulikeinheit der gesamten Anlage sind die hohen Lärmemissionen, unter anderem bedingt durch den Hydraulikmotor, wodurch das Arbeiten ohne Gehörschutz nicht möglich ist. Des Weiteren besitzt die gesamte Hydraulikeinheit noch eine Reihe weiterer Nachteile, welche nachfolgend übersichtlich tabellarisch dargestellt sind:

Lärmemissionen durch:

- Hydraulikmotor
- Pumpen für den Ausstoßdruck
- Kühlpumpen
- Extrudermotor und –getriebe

Hoher Energiebedarf durch:

- Dauerhaften Betrieb, Anlage läuft auch während den Pausen (Anfahrtszeit 20 Minuten), Motor und Hydraulikpumpe läuft kontinuierlich, auch wenn kein Hydraulikdruck benötigt wird.
- Hohe Wärmeentwicklung durch dauerhaften Betrieb des Motors und der Pumpe, dadurch höhere Kühlleistung notwendig.
- Permanente Nachregelung der Hydraulik
- Hohe Strömungsverluste im System, welche in Wärme umgesetzt werden und die Anlage zusätzlich aufheizen, höhere Kühlung notwendig.
- Leistungsverluste durch Reibung innerhalb des Systems.

Sonstige Nachteile:

- Durch die Kompressibilität von Flüssigkeiten (Hydrauliköl) werden Druck- und Bewegungsschwingungen erzeugt, was zu ungleichen Bewegungen der Werkzeughälften und zu einer schlechteren Qualität der Formteile führt.
- Problem von Leckagen im Hydrauliksystem.
- Gefahr bei Leitungsbruch und Leckagen für Mitarbeiter und Umwelt.
- Hoher Wartungsaufwand, Filterwechsel, Leckagen, Ölwechsel (bis zu 1.600 l jährlich), defekte Hydraulikleitungen und Anschlüsse.

Neben den genannten Nachteilen der Hydraulik ist der Einsatz von umweltfreundlichem Rezyklat beim Stand der Technik im Hohlkörperblasverfahren nur unter bestimmten Voraussetzungen bzw. bei bestimmten Produkten möglich. Der Grund ist vor allem der unterschiedliche Schmelzindex von Rezyklat im Vergleich zu Primärmaterial. Der Schmelzindex ist ein Maß für das Fließverhalten thermoplastischer Kunststoffe. Dieser ist bei Rezyklat, wie z.B. HDPE-Rezyklat, höher und damit um ein vielfaches fließfähiger, was den Verarbeitungsprozess maßgeblich beeinflusst. Bei der Herstellung von Leitpfosten sind bestimmte Kriterien von entscheidender Bedeutung. So müssen diese laut STVO

zwingend weiß sein. Rezyklat ist in der Regel gräulich, kann jedoch auch in anderen Farben, allerdings für höhere Preise als Primärmaterial eingekauft werden, wodurch der Einsatz nicht wirtschaftlich ist.

Altleitpfosten-Recycling:

Wir bei Beilharz leisteten bereits vor der Realisierung des innovativen Verfahrens einen Beitrag zum Umweltschutz. Gebrauchte Altleitpfosten nehmen wir wieder zurück und führen diese bei uns im Unternehmen einem Recyclingprozess zu. Dabei werden die Altleitpfosten zuerst händisch von groben Verunreinigungen, Metall und den Reflektoren befreit. Anschließend werden Sie über ein Förderband an eine Schneidmühle übergeben. Diese zerkleinert die Altleitpfosten in einem Arbeitsschritt mit Messern zu Granulat mit einer Korngröße von ca. 5 bis 10 mm und befördert diese in ein Silo, wo sie zur Weiterverarbeitung gelagert werden. Das somit produzierte Rezyklat wird derzeit von uns im Extrusionsverfahren weiterverarbeitet, um damit minderwertige Produkte wie z.B. Aussteifungen für unsere Leitpfosten herzustellen. Im Extrusionsverfahren wird das Rezyklat verflüssigt und im flüssigen Zustand durch ein Filtersieb gedrückt, um den Eintrag von Verunreinigungen in die Werkzeuge und das Produkt selbst möglichst zu vermeiden. Wesentliche Problemstellung der verwendeten Anlage zur Verarbeitung von Rezyklat ist der hohe Verschleiß der Extruderschnecke und Extruderzylinder. Dieser liegt darin begründet, dass die im Rezyklat enthaltenen Verunreinigungen erst nach der Schnecke durch ein Filtersieb ausgeschieden werden können. Bislang konnten damit keine höherwertigen Produkte hergestellt werden, da das Rezyklat eine im Verhältnis hohe Verunreinigung durch z.B. Erde, Sand etc. aufweist. Diese Verunreinigungen können beim händischen Reinigen nicht komplett entfernt werden und ein Waschprozess wurde aus ökonomischen Gründen nicht installiert. Im Hohlkörperblasverfahren kann das Rezyklat auf Grund der Verschmutzung nicht verwendet werden, da kein dauerhafter sicherer Prozess möglich ist. Des Weiteren ist das Rezyklat eine Mischung aus weißem und schwarzem Granulat, wodurch bei der Weiterverarbeitung immer ein dunkelgrauer Farbton entsteht.

Aufbauend auf den vorangehend aufgezeigten Nachteilen des Stands der Technik sowie den damit einhergehenden ökologischen Problemstellungen plante Beilharz die erstmalige Implementierung einer emissionsarmen elektrischen Doppelstationen-Hochleistungs-Hohlkörperblasanlage sowie die Realisierung einer Anlage zur Herstellung und Aufbereitung von Rezyklat aus Altleitpfosten. Durch die innovative Anlage können wir erstmalig auch hochwertigere Produkte, wie Leitpfosten, mit Rezyklat aus Altleitpfosten herstellen und damit erhebliche positive Umwelteffekte erzielen.

2. Vorhabenumsetzung

2.1 Ziel des Vorhabens

Zielstellung des Innovationsvorhabens war es, in eine emissionsarme elektrische Doppelstationen-Hochleistungs-Hohlkörperblasanlage zu investieren, die in dieser Form erstmalig in Deutschland zum Einsatz kommt und gegenüber dem Stand der Technik entscheidende Vorteile in Bezug auf die Umwelt mit sich bringt.

Aufbauend auf der vorangehend dargestellten Ausgangssituation und den dabei skizzierten Verbesserungspotenzialen, wurde mit Umsetzung des Investitionsvorhabens die zentrale Zielstellung verfolgt, erstmals Rezyklat für die Herstellung von neuen Leitpfosten einzusetzen und dadurch die Ressourceneffizienz maßgeblich zu steigern. Dabei wurde angestrebt, die Rezyklatmengen durch eine eigene Aufbereitungsanlage aus Altleitpfosten selbst herzustellen und einen Rezyklatanteil der neuen Leitpfosten von bis zu 60 % zu realisieren. Um dies zu erreichen, wurde in einen Dreifach-Extruder und einen dreischichtigen Speicherkopf investiert, wodurch erstmalig der Einsatz von Rezyklat für die Herstellung von Leitpfosten mit dem Hohlkörperblasverfahren ermöglicht wurde.

Des Weiteren wurde das Ziel verfolgt, den Energieverbrauch sowie die Lärmemissionen der Hohlkörperblasanlage deutlich zu reduzieren. Hierfür wurden erstmalig in Deutschland zwei vollelektrische Schließeinheiten mit jeweils einem Doppel-Z-Antrieb und je einer Schließkraft von bis zu 1.000 Kilonewton (kN) für die Formbewegung realisiert. Ein weiteres Alleinstellungsmerkmal ist, dass die elektrischen Schließeinheiten in dieser Größenordnung nahezu vollständig auf Hydraulikkomponenten verzichten und durch effizientere Elektroantriebe ersetzt werden.

Zur Schonung der Gesundheit und Steigerung der Leistungsfähigkeit der Mitarbeiter, wurde eine spezielle Einhausung der Extrudereinheit verwendet. In Kombination mit der elektrischen Schließeinheit sollten damit die Lärmemissionen deutlich verringert werden.

Mit Blick auf die Zielstellungen des Investitionsvorhabens gilt es somit festzuhalten, dass mit der Umsetzung der innovativen Hohlkörperblasanlage aufgezeigt werden sollte, dass Umweltschutz, Energieeffizienz und Nachhaltigkeit durch den Einsatz von innovativen Anlagen- und Lösungskonzepten bei gleichzeitiger Wirtschaftlichkeit realisiert werden können. Mit der Realisierung sollte dabei unter ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten ein neuer Branchenbenchmark definiert werden.

2.2 Auslegung und Leistungsdaten der technischen Lösung

In der nachfolgenden Tabelle sind die wesentlichen Auslegungsdaten der realisierten Hohlkörperblasanlage und der Anlagen zur Rezyklatherstellung dargestellt.

Emissionsarme elektrische Doppelstationen-Hochleistungs-Hohlkörperblasanlage zur Herstellung von Leitpfosten und Anlagen zur Rezyklatherstellung	
<i>Fertigungskapazität Hohlkörper-Blasanlage</i>	Ca. 470 Kg/h
<i>Maschinenverfügbarkeit</i>	> 98 %
<i>Jährliche Produktionszeit</i>	Ca. 5.000 Stunden
<hr/>	
<i>Fertigungskapazität der Anlagen zur Rezyklatherstellung</i>	Ca. 500 kg/h
<i>Maschinenverfügbarkeit</i>	> 96 %
<i>Jährliche Produktionszeit</i>	Ca. 700 Stunden

Tabelle 1: Eckdaten der innovativen Hohlkörperblasanlage und Anlagen zur Rezyklatherstellung

2.3 Umsetzung des Vorhabens

In der nachfolgenden Tabelle sind die wesentlichen Meilensteine des Vorhabens dargestellt.

Projektphase	Termin
<i>Bestellung der Anlage</i>	März 2018
<i>Aufbau der Anlage</i>	März 2019 – Mai 2022
<i>Inbetriebnahme der Gesamtanlage</i>	Juni 2022
<i>Produktionsbeginn unter seriennahen Bedingungen</i>	Juli 2022
<i>Durchführung der Erfolgskontrolle</i>	Juli 2022

Tabelle 2: Zeitplan des Vorhabens

2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Die im Rahmen des Vorhabens realisierte Hohlkörperblasanlage 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 emissionsarmen elektrischen Doppelstationen-Hochleistungs-Hohlkörperblasanlage und der Recyclingeinheit für die Rezyklatherstellung (Beschreibung siehe Kap. 3.5) wurden umfangreiche Auswertungen durchgeführt, um die Durchführung der Investitionsmaßnahme aus ökologischer und ökonomischer Sicht bewerten zu können. Die benötigten Messdaten wurden dabei in einem einmonatigen Probetrieb im Juni 2022 erhoben. Die Gesamtproduktionsmenge auf der innovativen Anlage betrug in diesem Zeitraum 22,0 Tonnen, welche die Grundlage zur Ermittlung der tatsächlichen Verbrauchswerte bilden. Hergestellt wurden hierbei ausschließlich Leitpfosten, wodurch eine Vergleichbarkeit mit der konventionellen Technologie sichergestellt werden konnte.

Grundsätzlich wurde die Erfolgskontrolle anhand der angestrebten Einsparpotenziale in den Bereichen Lärmemissionen, Energieverbrauch, Hydrauliköl und dem möglichen Anteil an HDPE-Rezyklat, durchgeführt. Die Messdaten wurden dabei anlagenspezifisch erfasst und einer konventionellen Anlagentechnik am Produktionsstandort gegenübergestellt. Da zusätzlich zur Verbesserung der Ressourceneffizienz im Herstellungsprozess die Steigerung der Rezyklatanteile eine zentrale Zielstellung des Vorhabens war, wurde darüber hinaus überprüft, inwiefern der angestrebte Rezyklatanteil in Höhe von 60 % erreicht werden konnte.

2.6 Konzeption und Durchführung des Messprogramms

Nachweis der Lärminderung:

Zur Überprüfung der mit dem Vorhaben angestrebten Minderung der Lärmemissionen wurde ein externer Sachverständiger für Lärmschutz beauftragt. Die Messungen wurden dabei im selben Abstand durchgeführt, wie die Referenzmessungen bei einer konventionellen Hohlkörperblasanlage.

Nachweis der Produktsicherheit:

Zur Bestätigung der Einhaltung der Produktsicherheit nach DIN EN 12899-3:2008-02 wurden verschiedene Leitpfosten mit einem Rezyklatanteil zwischen 60 – 80 % von einer zertifizierten Stelle geprüft. Als Nachweis zur Einhaltung aller Anforderungen dient die Leistungserklärung gemäß europäischer Bauprodukteverordnung. Wenn die Prüfberichte der herkömmlichen Leitpfosten aus 100%

Neuware mit dem Prüfbericht der Leitpfosten mit einem Rezyklatanteil von 60%, 70% und 80 % verglichen werden, kann keine Abweichung der Performance festgestellt werden. Die Leitpfosten mit Rezyklatanteil entsprechen der Norm EN 12899-3 und sind CE konform.

Messungen des Energieverbrauchs: Zur Messung des Energieverbrauchs wurde ein Energy Logger des Herstellers Tinytag eingesetzt. Gleichzeitig steht eine Messung des Energieverbrauchs über die Maschinensteuerung zur Verfügung. Die Messungen wurden jeweils über eine komplette Woche durchgeführt und die eingesetzte Energie ins Verhältnis zum eingesetzten Material gesetzt.

Messung der Rezyklatanteile der Leitpfosten:

Um den angestrebten Rezyklatanteil von 60 % überprüfen zu können, wurde die Produktionsanlage mit einer gravimetrische Mischeinheit ausgestattet. Bei der Herstellung des Kunststoffgemisches wird jede einzelne Komponente verwogen, um die korrekte Mischung sicherzustellen. Die Summe des eingesetzten Neumaterials kann ausgelesen und dadurch das Verhältnis ermittelt werden. Der Anteil des Rezyklatanteils kann über das Gesamtgewicht aller produzierter Teile ermittelt, oder auch über die Maschinensteuerung ausgelesen werden. Zudem kann der Anteil des Rezyklatanteils auch über einen prozentualen Wert vorgegeben werden.

3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung

3.1 Bewertung der Vorhabendurchführung

Nach der erfolgten Anlagenauslieferung wurde die emissionsarme elektrische Doppelstationen-Hochleistungs-Hohlkörperblasanlage zur Herstellung von Leitpfosten am Investitionsstandort in Vöhringen aufgebaut und in Betrieb genommen. Für die Inbetriebnahme der Gesamtanlage waren dabei mehr als 18 Monate nötig, um das Gesamtsystem abzustimmen, Anlagenoptimierungen durchführen zu können sowie einen seriennahen Produktionsprozess zu realisieren. Dabei zeigten sich zwar unterschiedliche Herausforderungen, diese waren jedoch mit Blick auf den Innovationsgrad der Anlagentechnik zu erwarten und mit Blick 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 abzustimmen und kleinere Justierungen für eine hohe Prozessstabilität vorzunehmen. Aufbauend auf der Projektdurchführung sind nachfolgend die aufgetretenen Herausforderungen zusammengefasst dargestellt (siehe auch Kap. 4.1):

- Die vereinbarten Ausstoßgeschwindigkeiten konnten zu Beginn mit den jeweiligen Blasköpfen nicht erreicht werden. Hier musste mehrmals nachgearbeitet werden.
- Die elektrische Wanddickensteuerung wurde zu Beginn zu schwach dimensioniert. Hier musste nachträglich eine größere und stärkere entwickelt und hergestellt werden. Allein die Entwicklung und Herstellung der größeren EWDS (elektrische Wanddickensteuerung) benötigte mehr als 12 Monate.
- Die Bestandsgebäude hatten für die Installation der Hohlkörperblasanlage leider nicht die notwendigen Innenhöhen. Hier musste in einem Teilbereich der Produktionshalle das Dach über eine Länge von 10 m angehoben werden.
- Der geforderte Durchsatz bei der Rezyklat Herstellung konnte zu Beginn nicht erreicht werden. Hier mussten im Bereich des Schredders weitere Innovationen wie z.B. Materialkühlung oder spezielle Rotoren für das Material entwickelt werden.
- Die Reinheit, Homogenität und Materialform des Rezyklats war zu Beginn nicht zufriedenstellend bzw. nicht optimal für die sichere Serienproduktion an der elektrische Doppelstationen-Hochleistungs-Hohlkörperblasanlage. Hier wurde durch die Anschaffung eines Granulier Extruders mit Schmelze Filtrierung entgegengewirkt.

- An der Steuerung der elektrische Doppelstationen-Hochleistungs-Hohlkörperblasanlage wurden immer wieder Anpassungen und Verbesserungen vorgenommen, damit gleichbleibende Produktionsparameter erreicht werden konnten.

Trotz der vorangehend aufgezeigten Herausforderungen und der notwendigen 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 Rezyklatanteil von Leitpfosten auf bis zu 60 % zu erhöhen sowie zum anderen Lärmemissionen sowie den Energiebedarf des Verfahrens erheblich zu reduzieren. Dabei zeigten die erhobenen Daten, dass das Anlagenkonzept unter ökologischen Gesichtspunkten vollumfänglich bestätigt bzw. im Rezyklatanteil sogar übertroffen werden konnte.

Angesichts der erreichten Umweltentlastungen sowie der realisierten Optimierungen und der hiermit einhergehenden Prozessstabilität gilt es mit Blick auf die Bewertung der Vorhabensdurchführung festzuhalten, dass erstmals in Deutschland eine emissionsarme elektrische Doppelstationen-Hochleistungs-Hohlkörperblasanlage in dieser Größenordnung realisiert werden konnte. In Kombination mit der Herstellung und Aufbereitung von Rezyklat aus Altleitpfosten und dessen erneuter Einsatz für neue Leitpfosten konnte somit ein neuer Branchenbenchmark definiert werden. Aufgrund der erfolgreichen Umsetzung des Anlagenkonzepts dient die innovative Hohlkörperblasanlage als Maßstab für zukünftige Investitionsvorhaben und als Demonstrator von realisierten Anlageninnovationen im Bereich der Hohlkörperblasverfahren.

3.2 Stoff- und Energiebilanz

Zur Quantifizierung der Umweltentlastungen wurde aufgrund der verfügbaren Daten das umgesetzte innovative Verfahren mit einer konventionellen und am Produktionsstandort bislang eingesetzten Hohlkörperblasanlage verglichen. Unter ökologischen Gesichtspunkten war die zentrale Zielstellung mit Blick auf den Herstellungsprozess der Einsatz von bis zu 60 % Rezyklat aus alten Leitpfosten, die Steigerung der Energieeffizienz sowie die Minderung der Lärmemissionen. Darüber hinaus ist der Einsatz von Hydrauliköl aufgrund der elektrischen Schließeinheit nicht mehr notwendig, wodurch sich weitere positive Umweltauswirkungen ergeben. Um die vorstehend beschriebenen Zielstellungen zu überprüfen, wurden im Rahmen der Erfolgskontrolle insgesamt 22 Tonnen an Kunststoff verarbeitet. Die diesbezüglichen Ergebnisse der Erfolgskontrolle sind nachfolgend detailliert aufgezeigt.

Lärmemissionen: Die größten Lärmemissionen im Produktionszustand gingen bislang von der Hydraulikeinheit, darunter dem Hydraulikmotor selbst sowie von der Pumpe zur Erzeugung des Ausstoßdruckes aus. Messungen haben ergeben, dass die Mitarbeiter bei einer hydraulischen Anlage einem dauerhaften Lärmpegel in Höhe von ca. 83-85 dB durch die Hydraulikmotoren ausgesetzt sind. Trotz geeigneter Schutzmaßnahmen wurde das Ziel verfolgt, die Lärmemissionen deutlich zu verringern. Durch die nahezu rein elektrische Funktionsweise der Hohlkörperblasanlage ist der Betrieb der Hydraulikeinheit nicht mehr notwendig. Weiter wurden das Getriebe und der Motor des Extruders der innovativen Anlage mit einer speziellen Umhausung versehen, wodurch die Lärmemissionen reduziert werden sollten. Insgesamt wurde angestrebt, die Lärmemissionen in unserem Unternehmen, um ca. 15 bis 20 dB zu verringern.

Der dauerhafte Lärmpegel der elektrischen Doppelstationen-Hochleistungs-Hohlkörperblasanlage wurde im Mittel mit ca. 76 dB ermittelt, was einer Reduktion von ca. 9 dB entspricht.

Energie: Hinsichtlich der angestrebten Verbesserung der Energieeffizienz ist insbesondere der Einsatz der elektrischen Schließeinheit sowie des Dreifach-Extruders zu nennen. Diese verzichten im Gegensatz zu konventionellen Verfahren nahezu vollständig auf Hydraulikkomponenten, was aufgrund des Wegfalles ineffizienter Hydraulikpumpen und weiterer Komponenten zu einer Steigerung der Energieeffizienz führt. Unter Berücksichtigung sämtlicher Anlagenkomponenten der Hohlkörperblasanlage wurde hierbei eine Verringerung des Energieverbrauchs von aktuell ca. 0,90 kWh/kg Kunststoff auf ca. 0,60 kWh/kg Kilogramm angestrebt. Die Messungen des Energieverbrauchs im Rahmen der Erfolgskontrolle ergaben hingegen einen tatsächlichen Stromverbrauch von 0,62 kWh/kg Kunststoff. Ausgehend von dem aktuellen Stand der Technik konnte infolgedessen mit Umsetzung des innovativen Hohlkörperblasverfahrens der Strombedarf um über 31 % reduziert werden.

Rezyklatanteil: Bis zu einem Rezyklatanteil von 80 % erfüllen die Leitpfosten die Spezifikationen der EN 12899-3 und sind CE konform. Bei einer CO₂ Einsparung von 72% / Leitpfostenhülle und einem durchschnittlichen Gewicht von 1,1 kg / Leitpfostenhülle kann eine CO₂ Einsparung in Höhe von ca. 1,5 kg CO₂ / Leitpfostenhülle erreicht werden, im Vergleich zu herkömmlichen Leitpfostenhüllen, welche aus Neuware und aufbereiteten Produktionsresten (entfernte Enden der Blasformteile, sog. Butzen) hergestellt werden.

3.3 Umweltbilanz

Aufbauend auf der vorangehenden Darstellung der realisierten Energie- und Ressourceneinsparungen kann eine entsprechende Umweltbilanz erstellt werden, welche die möglichen CO₂-Einsparungen

im Vergleich zu einer konventionellen hydraulischen Hohlkörperblasanlage ohne den Einsatz von Rezyklat aufzeigt. Nachfolgend erfolgt dies für die Stromreduzierung, die Lärminderung sowie die Steigerung des Rezyklatanteils.

Wie bereits erläutert, wurden im Rahmen der Erfolgskontrolle insgesamt 22 Tonnen an Kunststoff verarbeitet. Die aktuelle Planung sieht für das Jahr 2023 eine hohe Auslastung der Anlage mit einer Jahresgesamtmenge von 400 Tonnen vor. Dementsprechend wurde für die Angabe der nachstehenden Umwelteffekte die angestrebte Jahresmenge von 400 Tonnen herangezogen.

Gemäß Informationsblatt CO₂ Faktoren des BAFA (Version 1.1 vom 15.11.2021) beträgt der CO₂ Faktor für Polyethylen (HDPE) 1,92347 in t CO₂-äquiv/ t¹. Für den Materialeinsatz von ca. 400 t HD-PE Neuware / Jahr, werden also ca. 769,4 t CO₂ / Jahr² ausgestoßen. Für die Herstellung des Rezyklats rHD-PE haben Messungen während der Erfolgskontrolle einen Energiebedarf von ca. 0,50 kWh Strom / kg Kunststoff ergeben. Der CO₂-Faktor für Strom kann analog zum CO₂-Äquivalent für HDPE dem Informationsblatt CO₂-Faktoren des BAFA entnommen werden und beträgt 0,366 kg CO₂/kWh³. Für die Herstellung des Rezyklats fallen somit ca. 0,183 kg CO₂ / kg Rezyklat an. Bei einem Einsatz von 80 % Rezyklatanteil und der angestrebten Jahresproduktion von 400 t ergeben sich damit die nachfolgenden Werte

$$20 \% \text{ Neuware} = 80 \text{ t HD-PE Neuware} * 1,92347 \text{ tCO}_2 / \text{ t Kunststoff} = 153,88 \text{ t CO}_2$$

$$80 \% \text{ Rezyklat} = 320 \text{ t Rezyklat} * 0,183 \text{ tCO}_2 / \text{ t Rezyklat} = 58,56 \text{ t CO}_2$$

In Summe werden also ca. 212,44 t CO₂ erzeugt, was einer Einsparung von ca. 72,0 % (oder 557 t CO₂) entspricht.

Die Recyclinganlage benötigt für den Betrieb des Dichte-Trennverfahrens zur Rückgewinnung des HDPE-Anteils aus den Altleitpfosten täglich ca. 50 – 75 Liter Frischwasser. Der Austausch der täglich zu ersetzenden ca. 50 – 75 Liter des Wassers muss dabei vor jedem Produktionsstart erfolgen, da sich entsprechende Sedimente ablagern, welche zwingend entfernt werden müssen. Das restliche Wasser

¹ CO₂-Äquivalent HDPE: 1,92347 t CO₂/ t aus: Informationsblatt CO₂-Faktoren. Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft – Zuschuss. BAFA.

² Berechnung: 400 t HD-PE/a x 1,92347 t CO₂/t = 769,4 t CO₂/a

³ CO₂-Äquivalent Strom: 0,366 kg CO₂/kWh aus: Informationsblatt CO₂-Faktoren. Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft – Zuschuss. BAFA.

mit einem Volumen von ca. 4,5 m³ wird im Kreislauf geführt. Aufbauend auf den vorangehenden Berechnungen sind die wesentlichen Umweltentlastungen des innovativen Verfahrens gegenüber einer konventionellen Anlagentechnik tabellarisch als Umweltbilanz in der Tabelle 3 zusammengefasst. Grundlage der Berechnungen bilden dabei wieder die erhobenen Daten im Rahmen der Erfolgskontrolle mit einer Produktionsmenge von 22,0 Tonnen.

	Konventionelle Hohlkörperblasanlage	Emissionsarme Hohlkörperblasanlage	Differenzbetrachtung / Umweltentlastung
Energie			
<i>Energiebedarf pro Kilogramm</i>	0,90 kWh/kg	0,62 kWh/kg	0,28 kWh/kg
<i>Energiebedarf pro Jahr</i>	360.000 kWh/a	248.000 kWh/a	112.000 kWh/a
<i>Entsprechendes CO₂-Äquivalent</i>	131.760 kg CO ₂ /a	90.768 kg CO ₂ /a	40.992 kg CO ₂ /a
Ausschuss			
<i>Ausschussquote</i>	2 %	1 %	1 %
<i>Ausschussmenge pro Jahr</i>	8.000 kg/a	4.000 kg/a	4.000 kg/a
<i>Energiebedarf Ausschuss</i>	7.200 kWh/a	2.480 kWh/a	4.720 kWh/a
<i>Entsprechendes CO₂-Äquivalent</i>	2.635,20 kg CO ₂ /a	907,68 kg CO ₂ /a	1.727,52 kg CO ₂ /a
Rezyklat			
<i>Rezyklateinsatz i.d. Erfolgskontrolle</i>	0 %	80 %	80 %
<i>Rezyklateinsatz pro Jahr</i>	0 kg/a	320.000 kg/a	320.000 kg/a
<i>Entsprechendes CO₂-Äquivalent⁽⁴⁾ für die Herstellung von Neuware und Rezyklat (Summe)</i>	769.388 kg CO ₂ /a	212.437 kg CO ₂ /a	556.951 kg CO ₂ /a
Lärmemissionen			
<i>Maschinenbereich</i>	85 dB	76 dB	9 dB
<i>Vor der Halle</i>	80 dB	71 dB	9 dB

Tabelle 3: Umweltbilanz der emissionsarmen elektrischen Hohlkörperblasanlage gegenüber einer hydraulischen Hohlkörperblasanlage des Stands der Technik

⁴ CO₂-Äquivalent Strom: 0,366 kg CO₂/kWh, CO₂-Äquivalent HDPE 1,92347 kg CO₂/kg aus: Informationsblatt CO₂-Faktoren. Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft – Zuschuss. BAFA.

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 die emissionsarme elektrische Doppelstationen-Hochleistungs-Hohlkörperblasanlage zur Herstellung von Leitpfosten eine optimale Kombination aus Ressourceneinsparung, Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit. Die entscheidenden Kosteneinsparungen basieren diesbezüglich insbesondere auf der Verwendung von Rezyklaten sowie der Reduktion des Energieverbrauchs. 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.

Einsparungen	in Euro	Anmerkung
Strom	25.760	bei 0,23 €/kWh
Rezyklat Steigerung	160.000	bei 0,5 €/kg Einsparung
Verringerung Ausschuss	4.000	Bei 1,0 €/kg im Mittel
Jährliches Einsparpotenzial	189.760	€/a

Tabelle 4: 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 Verfahrens betrug dabei 2.675.000 EUR, wobei Beilharz ein Zuschuss aus dem Umweltinnovationsprogramm in Höhe von 802.500 EUR gewährt wurde. Die Investitionskosten setzten sich dabei aus den zwei zentralen Bestandteilen Hohlkörperblasanlage und Recyclingeinheit zusammen. Aufbauend auf der Investitionshöhe sowie den zukünftig ermöglichten Ressourceneinsparungen ist in der folgenden Tabelle die Berechnung der Amortisationszeit dargestellt.

Amortisationsrechnung	
Investitionskosten	2.675.000 EUR
- Zuwendung aus dem UIP	802.500 EUR
Tatsächliche Investitionskosten	1.872.500 EUR

÷Einsparpotenzial auf Basis der Ressourceneinsparungen	185.760 EUR
Amortisationszeit	10,0 Jahre

Tabelle 5: Amortisationszeit auf Basis der dargestellten Ressourceneinsparungen

Ohne eine entsprechende Zuwendung aus dem UIP würde die Amortisationszeit nahezu 14,3 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

Der konventionelle Herstellungsprozess von Kunststoffhohlkörpern wurde im Abschnitt 1.2, der Ausgangslage, näher beschrieben. Die wesentlichen Innovationen und Unterschiede zum konventionellen Herstellungsprozess können wie nachfolgend beschrieben werden.

Die Zielstellung der Entwicklung und Herstellung einer Doppelstationen-Hochleistungs-Hohlkörperblasanlage war in erster Linie die Möglichkeit des Einsatzes von Rezyklat für die Herstellung von Straßenleitpfosten. Mit einem Rezyklatanteil von bis zu 80 % wurde dieses Ziel erfolgreich erreicht. Zusätzlich stand eine geräuscharme sowie energieeffiziente Produktion im Fokus. Die Herstellung der Produkte mit dem innovativen Hohlkörperblasverfahren erfolgt weiterhin durch die wesentlichen Prozessschritte Plastifizieren, Ausformen des Schmelze-Vorformlings, Schließen des Blasformwerkzeugs und Formgebung mittels Luft. Die wesentlichen Unterschiede in den einzelnen Prozessschritten werden nachfolgend näher beschrieben.

Plastifizieren

Das Plastifizieren wird durch einen speziellen Dreifach-Extruder erzielt. Dieser besitzt drei separate Extruderschnecken sowie jeweils einen separaten Speicherkopf. Für die Herstellung von Leitpfosten wird bei Beilharz hochmolekulares Niederdruckpolyethylen (PE-HD-HM) verwendet. Diese Art von HDPE zeichnet sich durch eine hervorragende UV-, Ozon-, Kälte- und Hitzebeständigkeit aus. Des Weiteren ist es resistent gegen Säuren, Laugen, Abgase und Salze und besitzt eine sehr gute Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Belastungen wie Steinschläge. Diese Eigenschaften sind für einen Leitpfosten von entscheidender Bedeutung. Um diese weiterhin auch beim Einsatz von Rezyklat gewährleisten zu können, mussten diverse technische Prozessanpassungen vorgenommen werden. Ein Leitpfosten kann aufgrund der von der STVO und HLB-1957 vorgegebenen Farbe Weiß nicht vollständig

aus Rezyklat hergestellt werden, da dieses in der Regel eine gräuliche Farbe aufweist. Weißes Rezyklat was den erforderlichen Materialanforderungen entspricht, kann nur über bestimmte Hersteller und zu höheren Preisen als Primärmaterial zugekauft werden, wodurch die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens nicht mehr gegeben wäre. Um einen weißen Leitpfosten herzustellen und dabei Rezyklat einzusetzen wird deshalb der Leitpfosten aus drei Schichten hergestellt. Die äußere Schicht wird über weißes Primärmaterial, der innere Kern mit Rezyklat und die innere Schicht wiederum aus weißem Primärmaterial oder Rezyklat hergestellt. Neben der Farbgebung besitzt die äußere sowie die innere Schicht dabei eine tragende Funktion. Dies ist aufgrund des unterschiedlichen Schmelzindex zwingend erforderlich, um Rezyklat einsetzen zu können. Das von uns üblicherweise eingesetzte PE-HD-HM besitzt eine Melt Flow Rate (MFR) von 6,5 bis 9,0 g/10 min bei 190°C/21,6 kg. Das Rezyklat besitzt jedoch eine MFR von 9,0 – 14,0 g/10 min bei 190°C/21,6 kg. Je höher die MFR, desto höher die Fließfähigkeit bei entsprechender Temperatur. Dies bedeutet, dass das eingesetzte Rezyklat deutlich flüssiger ist, als das Primärmaterial. Um das umweltfreundliche Rezyklat dennoch einsetzen zu können, wurde die Anlage so konstruiert, dass die äußere sowie innere Schicht mittels Primärmaterial als Stüttschicht ausgeformt wird. Hierfür wurde erstmals in einen Dreifach-Extruder investiert, der den Schmelze-Vorformling in drei Schichten ausbringen kann. Durch die Ringdüsen werden die einzelnen Schichten so ausgebracht, dass sie sich erst in der Schwebelage, also nachdem Ausbringen aus der jeweiligen Düse, berühren.

Die äußere sowie innere Schicht aus weißem Primärmaterial stabilisieren durch die Berührung dabei das Rezyklat, das einen höheren MFR besitzt. Dadurch wird es erstmalig möglich, Rezyklat mit Primärmaterial in einem Hohlkörperblasverfahren zu kombinieren. Die folgende Abbildung 4 zeigt eine schematische Darstellung des Dreifach-Extruders, den einzelnen Speicherköpfen, der Dreifach-Ringdüse und des Schmelze-Vorformlings, der aus den drei Schichten Primärmaterial, Rezyklat und Primärmaterial besteht.

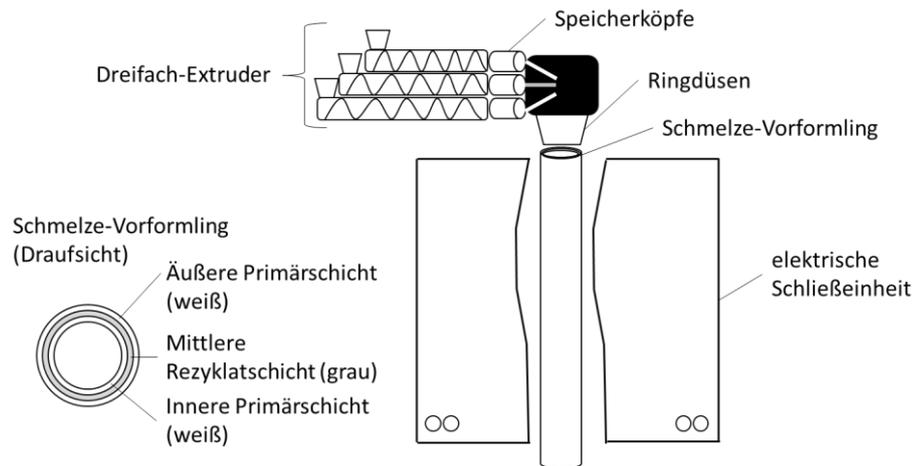


Abbildung 4: Schematische Darstellung des Verfahrens

Der Dreifach-Extruder besteht aus jeweils drei Extruderschnecken, die speziell für die Kunststoffe Polyethylen-high-density (HDPE) und Polypropylen (PP) ausgelegt sind. Die Extruderschnecken werden durch frequenzgeregelte Elektromotoren angetrieben. Zusätzlich verfügen die für den Plastifiziervorgang notwendigen Extruder über entsprechende Heizbänder zur Temperierung des Kunststoffes. Die maximale Leistung der Extrudereinheit liegt bei einem Materialdurchsatz von 470 kg HDPE pro Stunde. Die Extrudermotoren sowie die Getriebe wurden aufgrund der Lärmemissionen mit einer aufwändigen Umhausung versehen, um die Lärmemissionen auf ein Minimum zu beschränken.

Die Extrusionsköpfe zur Umlenkung des fließfähigen Kunststoffmaterials sowie zum Ausformen des Schmelze-Vorformlings verfügen über unterschiedliche Kunststoffspeichervolumen. Die Speicherköpfe für das Primärmaterial besitzen jeweils ein Volumen von 2,5 Litern, der mit dem Rezyklatanteil ein Speichervolumen von 5 Litern. Die Wanddickensteuerung erfolgt über Elektromotor mit Planetengetriebe. Die Materialausstoßsteuerung für den Schmelze-Vorformling erfolgt über eine sehr kompakte servohydraulische Direktpumpensteuerung. Die Direktpumpensteuerung reagiert im Vergleich zu herkömmlichen hydraulischen Pumpensteuerung wesentlich schneller und genauer. Der besondere Vorteil der Servohydraulik liegt darin, dass sie einerseits aufgrund der kleinen Pumpe besonders leise ist, andererseits lediglich während der Ausstoßzeit von ca. 5 Sekunden in Betrieb ist - die restliche Zeit arbeitet die Hydraulik nicht und verursacht demnach auch keine Lärmemissionen sowie unnötigen Energieverbrauch.

Schließeinheit

Die Schließeinheit verfügt über ein voll abgestütztes 3-Platten Schließgestell mit vier Holmen und einer Linearführung. Der Antrieb zur Schließung des Blasformwerkzeugs zur Formgebung des Kunststoff-Hohlkörpers erfolgt über einen rein elektrischen Doppel-Z-Antrieb. Hiermit wird im Gegensatz

zu hydraulischen Schließeinheiten ein wesentlich schnelleres Schließen der Blasformwerkzeuge erreicht, wodurch sich eine Qualitätssteigerung der Bauteile ergibt. Zudem erfolgt die Positionierung der Blasformwerkzeuge um ein Vielfaches exakter und schonender als mit dem konventionellen Verfahren. Die exakte Positionierung sowie das schonendere Öffnen der Blasformwerkzeuge aufgrund des elektrischen Antriebs tragen zusätzlich zu einer verbesserten Produktqualität bei. Konventionelle hydraulische Schließeinheiten sind dadurch gekennzeichnet, dass sie kontinuierlich nachregeln und auch während der Positionierung um einen bestimmten Bereich von +/- 1 Millimeter schwanken. Aufgrund dessen können sich Fehlstellen im Kunststoff-Hohlkörper befinden, wodurch diese Teile als Ausschuss anfallen. Durch die erstmalige Realisierung der elektrischen Schließeinheit für große Kunststoff-Hohlkörper mit einer Schließkraft von bis zu 1.000 kN wird dies zuverlässig verhindert. Die Formgebung des Kunststoff-Hohlkörpers erfolgt weiterhin über das bereits vorhandene Druckluftsystem.

Ein weiterer erheblicher Unterschied zu einer konventionellen Schließeinheit besteht in der realisierten Doppelschließeinheit, mit der wir unsere Produktivität um ca. 60 % steigern und dabei erhebliche Mengen an Energie im Vergleich zu einer einzelnen Komplettanlage einsparen können. Hierfür wurde in eine zweite und baugleiche elektrische Schließeinheit investiert, die über denselben Dreifach-Extruder bedient werden kann. Die ortsfesten Schließeinheiten wurden dabei nebeneinander positioniert, der Dreifach-Extruder wurde auf einem fahrbaren Gestell angebracht, wodurch sich dieser über beiden Schließeinheiten nacheinander positionieren kann. Dieses Verfahren wurde bislang von keinem Hersteller umgesetzt und stellt damit eine weitere Innovation mit Demonstrationscharakter für die gesamte Branche der Kunststoff-Blasprozesse dar. Bisher wurde für jede Schließeinheit ein separater Extruder benötigt, durch die Verwendung von zwei Schließeinheiten und einem fahrbaren Extruder wird die Anlagenleistung um ein Vielfaches erhöht. Bei konventionellen Anlagen steht der Extruder während des gesamten Schließ- und Pressvorgangs still und wird in dieser Zeit nicht genutzt.

Elektrische Steuerung/Ausrüstung

Die gesamte Anlage wurde mit einer einheitlichen Steuerung zur optimalen Prozessüberwachung versehen. Dadurch ist es möglich, die einzelnen Parameter wie die Wanddicken- und Materialausstoßsteuerung, die Temperatur der Schmelze und der Blasformwerkzeuge sowie die Schließkraft der elektrischen Schließeinheiten über ein benutzerfreundliches Bedienpanel einzustellen. Zusätzlich kann über eine Leistungsverbrauchsanzeige der Energiebedarf der Gesamtanlage kontinuierlich überwacht und angezeigt werden. Dies ermöglicht eine optimale Prozessüberwachung sowie ein frühzeitiges Erkennen und Eingreifen bei potenziellen Störungen. Des Weiteren besitzt die Anlagensteue-

ung eine Schnittstelle für insgesamt drei Entnahmeroboter. Diese wurden vollständig in die emissionsarme elektrische Doppelstationen-Hochleistungs-Hohlkörperblasanlage integriert und auf den Gesamtprozess abgestimmt.

Rezyklat Herstellung und Aufbereitung

Um Altleitpfosten zu Rezyklat verarbeiten zu können, welches in einem weiteren Schritt als Rohstoff zur Herstellung der neuen Leitpfosten eingesetzt wird, wurde in eine neue Recyclinganlage und einen Granulierextruder investiert. Mit der Kombination der innovativen emissionsarmen elektrischen Doppelstationen-Hochleistungs-Hohlkörperblasanlage mit einer geeigneten Recyclinganlage können wir den Stoffkreislauf weitgehend schließen.

Um höherwertige Produkte aus Rezyklat im Hohlkörperblasverfahren herstellen zu können, muss das Rezyklat bestimmte Anforderungen erfüllen. Die emissionsarme elektrische Doppelstationen-Hochleistungs-Hohlkörperblasanlage benötigt zwingend reines Material, welches frei von Störstoffen ist. Um dies zu erzielen, wurde der Recyclingprozess in fünf Schritte unterteilt. Im ersten Schritt werden die gesamten Altleitpfosten inklusive Reflektoren in einen Einwellenzerkleinerer gegeben, dieser zerkleinert die Altleitpfosten in 2 bis 5 cm große Flakes. Durch ein Rüttelsieb werden die groben Verunreinigungen im nächsten Schritt entfernt. Um die letzten Verunreinigungen und potenziellen Störstoffe zu entfernen, werden die Flakes in einen Trennbehälter eingeleitet. Aufgrund der geringen Dichte von HDPE schwimmt dieses Material in dem mit Wasser gefüllten Trennbehälter, die restlichen Materialien, wie z.B. PVC, PMMA, Glas, Steine und Sand sinken nach unten ab. Mit diesem Schritt kann eine sortenreine Trennung des HDPE-Materials von den Störstoffen erfolgen. Das benötigte Wasser für die Reinigung wird in einem Kreislaufprozess gefiltert und immer wieder verwendet und nur teilweise durch Frischwasser ergänzt. Durch diese Maßnahme kann der notwendige Einsatz von Frischwasser auf ein Minimum von 50 – 75 Liter pro Tag reduziert werden. Über einen Zentrifugaltrockner wird das HDPE schließlich vom Wasser getrennt und damit getrocknet. Im letzten Arbeitsschritt werden die Flakes über einen Granulierextruder mit Schmelze Filtrierung homogenisiert, gefiltert und das Granulat in Linsenform aufbereitet. Das sortenreine Granulat wird anschließend in ein Silo zur Lagerung befördert. Durch den Recyclingprozess erhalten wir Rezyklat, welches frei von jeglichen Verunreinigungen ist und dadurch in der innovativen emissionsarmen elektrischen Doppelstationen-Hochleistungs-Hohlkörperblasanlage verarbeitet werden kann.

Die wesentlichen Anlagenparameter des innovativen und umweltfreundlichen Verfahrens können der folgenden Tabelle entnommen werden.

Parameter	Wert
Extruder Leistung	105 kW
Extruder Durchsatz	470 kg/h
Extrusionskopf (Volumen)	2x 1,5 Liter 1x 5 Liter
Schließkraft elektrische Schließeinheit	2x 1.000 kN
Maximales Formgewicht	2.000 - 4.000 kg
Maximale Formabmessungen	2.250 mm (Länge) 900 mm (Breite)
Maximal möglicher Recyclingdurchsatz	ca. 5.000 kg/Tag

Tabelle 6: Anlagenparameter des Investitionsvorhabens

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 Ressourcenbedarf aufgrund des Einsatzes von Rezyklat erheblich reduziert werden konnte. Weitere Optimierungspotenziale, die das grundsätzliche Anlagenkonzept betreffen, konnten Stand heute nicht identifiziert werden, da der Prozess im Dauerbetrieb stabil, sicher und ressourcenschonend läuft. Während der Praxiseinführung gab es jedoch verschiedene Herausforderungen, die es zu bewältigen gab. Diese sind nachfolgend aufgelistet.

- Zu Beginn konnte der gewünschte Durchsatz in der vorgegeben Zeitspanne am Akkukopf für die 3 Schichten nicht erreicht werden. Die Analyse des Herstellers ergab, dass der Kopf für das falsche Verfahren konstruiert wurde. Die betroffenen Kanäle wurden nachträglich erweitert, so dass der benötigte Durchsatz erreicht werden konnte.
- Größere Probleme bereitete zu Beginn der Produktion auch die elektrische Wanddickensteuerung (EWDS). Die Antriebe und Getriebe wurden zu Beginn zweimal mechanisch zerstört, so dass der Hersteller eine größere EWDS entwickeln und herstellen musste. Mit der größeren EWDS traten die Probleme dann bisher nicht mehr auf.
- Der vereinbarte Durchsatz von 500 kg/h am Schredder konnte nicht erreicht werden, so dass Optimierungen durchgeführt wurden. Nachträglich wurden eine Wasserkühlung und eine Temperaturüberwachung im Mahlraum implementiert. Während des Mahlvorgangs wird die Temperatur des Mahlgutes ständig überwacht. Sollte die Temperatur zu stark ansteigen, wird Wasser eingebracht. Unmittelbar danach fällt die Temperatur wieder ab. Dies hat den Vorteil, dass wesentlich höhere Drehzahlen und Drücke gefahren werden können und der Durchsatz somit erreicht wird. Dieses System hat der Hersteller zwischenzeitlich in die Serie als Option übertragen. Bei neuen Schneidkronen (Verschleißartikel) konnte mit dieser Lösung kurzfristig der gewünschte Durchsatz von 500 kg/h erreicht werden. Leider wurde festgestellt, dass dieser Durchsatz bereits nach wenigen Einsatztagen auf Grund von Verschleißerscheinungen weit unterschritten wurde.

Als Lösungsansatz wurde mit dem Hersteller im November 2020 ein neuer Rotor mit einer geänderten Geometrie eingesetzt. So kommen nun anstelle von 54 Stück Schneidkronen insgesamt 132 Stück kleinere Schneidkronen zum Einsatz.

Mit der geänderten Rotorgeometrie können bei neuen Schneidwerkzeugen nun bis zu 1.000 kg/h erreicht werden. Über verschiedene Einstellungen wird der Durchsatz jedoch auf ca. 500 kg/h gedrosselt, da sonst die nachfolgenden Komponenten überlastet sind.

- Die Qualität des erzeugten Rezyklats in Bezug auf Reinheit, Trockenheit und Korngröße erfüllte leider nicht die notwendigen Anforderungen, um es mit der Hohlkörper Blasanlage dauerhaft und sicher verarbeiten zu können.

Fremdstoffe wie z.B. Holz mit einer Dichte von kleiner 1 werden über das Schwimm-Sinkbecken und den mechanischen Trockner leider nicht mit einer notwendigen 100% Sicherheit ausgefiltert. Diese Qualitätsprobleme des erzeugten Rezyklats konnten mit Hilfe eines Granulier-extruder gelöst werden. Mit Hilfe dieser Produktionsanlage wird der recycelte Kunststoff zuverlässig zu 100% von kritischen Fremdstoffen und Restfeuchtigkeit befreit. Das Material wird gleichmäßig homogenisiert und auf eine einheitliche Korngröße gebracht.

- Die Steigerung des Rezyklat-Anteils auf 60% konnte ohne technische Probleme umgesetzt werden. Der Rezyklatanteil konnte auch bis auf 80% erhöht werden. In diesem Fall mussten jedoch Produktionsprogramme stark angepasst werden, damit die graue Rezyklatschicht auf der Außenseite nicht sichtbar wird.

4.2 Modellcharakter und Übertragbarkeit

Das wirtschaftlichste Verfahren zur Herstellung von komplizierten Kunststoff-Hohlkörpern aus thermoplastischem Kunststoff ist bereits heute das Extrusionsblasverfahren. Das Verfahren beschränkt sich dabei nicht nur auf die Herstellung von Verpackungsartikel, sondern wird vor allem auch für die Herstellung von technischen Teilen eingesetzt. So werden neben Lüftungskanälen, Kofferhalbschalen, Dachgepäckträgern, Kraftstoff- und Heizöltanks auch Sportgeräte wie Kanus und Surfbretter mittels Extrusionsblasverfahren hergestellt. Der Rauminhalt dieser Artikel reicht von sehr kleinen Volumina, wie sie im Bereich von Verpackungen üblich sind, bis hin zu sehr großen Heizöltanks mit Volumen von rund 13.000 Litern. Die sehr breiten Anwendungsgebiete spiegeln auch die möglichen Multiplikatoreffekte wider.

Große Kunststoff-Hohlkörper, für die eine Schließkraft von mehr als 700 kN benötigt werden, konnten bislang ausschließlich über hydraulische Verfahren produziert werden, durch das Investitionsvor-

haben konnten wir erstmalig demonstrieren, dass die Herstellung auch über rein elektrische Komponenten möglich ist und damit zu einer erheblichen Verringerung der Lärmemissionen sowie des Energiebedarfs beiträgt. Zudem demonstriert das Vorhaben die Möglichkeit des Einsatzes von umweltfreundlichem und zugleich kostengünstigerem Rezyklat, was einen Meilenstein in dieser Branche darstellt.

Die Branche der Kunststoffverarbeitung in Deutschland ist vor allem durch mittelständische Unternehmen geprägt, im Jahr 2012 waren insgesamt über 300.000 Erwerbstätige in 2.845 Betrieben beschäftigt. Der nachstehenden Abbildung können die Umsätze der gesamten Branche sowie der einzelnen Sparten entnommen werden.

	Betriebe	Erwerbstätige	Umsatz (in 1.000 €)	Exportanteil (in %)
Kunststoffverarbeitung insgesamt	2.845	301.834	56.120.538	35,3 %
Herstellung von Platten, Folien, Profilen	556	75.752	19.368.538	46,8 %
Herstellung von Verpackungsmitteln	397	41.134	8.128.269	30,9 %
Herstellung von Baubedarfsartikeln	499	41.553	6.815.544	20,5 %
Herstellung von sonst. Kunststoffwaren	1.393	143.395	21.808.188	31,4 %

Quelle: Statistisches Bundesamt.

Abbildung 5: Herstellung von Kunststoffwaren in Deutschland (2012)

Das Extrusionsblasverfahren wird hauptsächlich in den Sparten der Herstellung von Verpackungsmitteln, Baubedarfsartikeln und der Herstellung von sonstigen Kunststoffwaren eingesetzt, wodurch sich erhebliche Multiplikatoreffekte ergeben.

Mit der erstmaligen Realisierung einer emissionsarmen elektrischen Doppelstationen-Hochleistungs-Hohlkörperblasanlage konnte Beilharz demonstrieren, wie durch maßgebende Prozess- und Anlageninnovationen Nachhaltigkeit in der Herstellung von Kunststoffhohlkörpern mit einer wirtschaftlichen Fertigung in Einklang gebracht werden kann. Die entscheidenden Ressourceneinsparungen basieren dabei zum einen auf einer zuvor unerreichten Prozesseffizienz und zum anderen auf einer substanziellen Steigerung der Rezyklatanteile. Ermöglicht wurde dies durch die konsequente Ausrichtung und Abstimmung aller Anlagenkomponenten sowie die Implementierung und Kombination zahlreicher Neuentwicklungen.

Die Realisierung der unterschiedlichen Innovationen zeigen angesichts der enormen Umweltentlastungen das zuvor bestehende große Verbesserungspotenzial in der Hohlkörperblastechnik und dem möglichen Einsatz von Rezyklat auf.

5. Zusammenfassung/Summary

Kunststoffhohlkörper werden hauptsächlich durch das Hohlkörperblasverfahren hergestellt. Damit lassen sich neben kleineren Hohlkörpern auch große Produkte, wie Leitpfosten, Baken oder auch IBC-Container wirtschaftlich herstellen. Beim Stand der Technik wurden bislang in dieser Größenklasse ausschließlich hydraulische Schließeinheiten verwendet. Diese sind jedoch bedingt durch die Hydraulikmotoren und weiterer Anbauaggregate energieintensiv und erzeugen hohe Lärmemissionen. Ein weiterer Nachteil liegt darin, dass mit den Anlagen des Stands der Technik der Einsatz von Rezyklat, insbesondere wenn dieses am Standort im Sinne einer Kreislaufwirtschaft selbst hergestellt und für anspruchsvolle Produkte eingesetzt werden soll, nicht möglich ist.

Aufgrund der Nachteile des Stands der Technik, entschied sich die Beilharz GmbH & Co. KG, in eine innovative Hohlkörperblasanlage zu investieren. Die Anlage verfügt über elektrische Schließeinheiten, wodurch deutliche Energieeinsparungen realisiert werden können. Durch einen speziellen Dreifachextruder können erstmals Straßenleitpfosten mit einem Rezyklatanteil von bis zu 80 % hergestellt werden. Das Rezyklat wird dabei durch eine eigene Recyclinganlage aus alten Leitpfosten hergestellt, wodurch signifikante Umweltentlastungen gegenüber Polyethylen-Rohware erzielt werden. Des Weiteren konnte die Anlage im Bereich der Extrudermotoren mit einer speziellen Umhausung versehen werden, wodurch eine Reduktion der Lärmemissionen einhergeht und insbesondere die gesundheitliche Belastung der Mitarbeiter reduziert wird.

Die erfolgreiche Umsetzung des innovativen Verfahrens zeigte, dass sich der Energieverbrauch pro Kilogramm Kunststoff von 0,9 kWh auf 0,62 kWh reduzierte. Bei einer angestrebten Jahresproduktion von 400 Tonnen reduziert sich damit der Energieverbrauch um 112.000 kWh. Weiter konnte erzielt werden, dass sich der Ausschuss von ursprünglich 2 % auf lediglich 1 % verringern ließ, wodurch sich eine weitere Reduktion des Energiebedarfs von ca. 4.720 kWh realisieren lässt. Da durch den hohen Anteil von 80 % Rezyklat bei einer Produktion von 400 Tonnen Produkt insgesamt 320 Tonnen an HDPE-Rohware eingespart werden können, geht mit der erfolgreichen Umsetzung eine enorme Einsparung an Kunststoffneuware einher. Mit dem Vorhaben reduzieren sich die CO₂-Emissionen jährlich um insgesamt 631 Tonnen, wodurch die erhebliche Umweltentlastung verdeutlicht wird. Durch die spezielle Umhausung des Dreifachextruders wurden die Lärmemissionen im Vergleich zum Stand der Technik um 9 Dezibel reduziert.

Plastic hollow bodies are mainly produced by the blow moulding process. This means that, in addition to smaller hollow bodies, large products such as delineators, beacons or IBC containers can also be produced economically. In the state of the art, only hydraulic clamping units have been used in this size class so far. However, due to the hydraulic motors and other attachment units, these are energy-intensive and generate high noise emissions. Another disadvantage is that with the state-of-the-art systems, the use of recyclate is not possible, especially if this is to be produced on site in the sense of a circular economy and used for demanding products.

Due to the disadvantages of the state of the art, Beilharz GmbH & Co. KG decided to invest in an innovative blow moulding machine. The system has electrical clamping units, which means that significant energy savings can be achieved. A special triple extruder makes it possible for the first time to produce road delineators with a recycled content of up to 80%. The recyclate is produced from old delineators in our own recycling plant, which means that a significant reduction of environmental impact can be achieved compared to raw polyethylene material. Furthermore, the machine could be provided with a special housing, which is accompanied by a reduction in noise emissions, which in particular reduces the health impairment of the employees.

The successful implementation of the innovative process showed that the energy consumption per kilogram of plastic was reduced from 0.9 kWh to 0.62 kWh. With a targeted annual production of 400 tons, the energy consumption is reduced by 112,000 kWh. Furthermore, it was possible to reduce rejects from the original 2% to just 1%, which means that a further reduction in energy consumption of around 4,720 kWh can be achieved. Since the high proportion of 80% recyclate saves a total of 320 tons of HDPE raw material in a production of 400 tons of product, the successful implementation is accompanied by enormous virgin material savings. The project will reduce annual CO₂ emissions by a total of 631 tons, which underscores the significant environmental impact. Thanks to the special housing of the triple extruder, noise emissions were reduced by 9 decibels compared to the state of the art.