


Förderkennzeichen: NKa3 - 003317

Abschlussbericht im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms

ECO.PROFILE – Nachhaltige Extrusion

aluplast GmbH

Auf der Breit 2 | 76227 Karlsruhe



aluplast[®]

Kunststoff-Fenstersysteme

UMWELT  INNOVATIONS
PROGRAMM



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).....	15
2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten.....	15
3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung.....	16
3.1 Bewertung der Vorhabendurchführung	16
3.2 Stoff- und Energiebilanz	18
3.3 Umweltbilanz	25
3.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse	29
3.5 Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren.....	30
4. Übertragbarkeit	37
4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung	37
4.2 Modellcharakter und Übertragbarkeit	39
5. Zusammenfassung/Summary.....	43

BMU-UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM

Abschlussbericht zum Vorhaben
ECO.PROFILE – Nachhaltige Extrusion

Zuwendungsempfänger
aluplast GmbH

Umweltbericht
Ressourceneffizienz und Energieeinsparung

Laufzeit des Vorhabens
21.12.2017 bis 30.04.2019

Autor
Frank Spies
Arne Przybilla

Datum der Erstellung
15.10.2019

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

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen des UBA:	Projekt-Nr.: NKa3 - 003317
Titel des Vorhabens: ECO.PROFILE – Nachhaltige Extrusion	
Autor: Frank Spies Arne Przybilla	Vorhabenbeginn: 21.12.2017
	Vorhabenende: 30.04.2019
Zuwendungsempfänger: aluplast GmbH Auf der Breit 2 76227 Karlsruhe	Veröffentlichungsdatum: 15.11.2019
	Seitenzahl: 44
Gefördert im BMU-Umweltinnovationsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit.	
Kurzfassung: Der Einsatz von Kunststoffrezyklaten in Neuprodukten schont Primärstoffe und spart gegenüber der Verwendung von Frischgranulaten Energie und Kohlenstoffdioxid-Emissionen ein. Im Bereich der Kunststoffextrusion von Fenster-, Tür- und Rollladenprofilen wird insbesondere hochwertiges Polyvinylchlorid eingesetzt, welches sich durch eine hervorragende Recyclingfähigkeit auszeichnet. Im Rahmen des Investitionsvorhabens hat das Familienunternehmen aluplast dabei das neuartige ECO.PROFILE-Verfahren realisiert, welches sich durch eine maßgebliche Prozessstabilität auszeichnet. Zusätzlich zu einer deutlich verbesserten Ressourceneffizienz, beispielsweise in den Bereichen Wasser- und Biozideinsatz sowie hinsichtlich der erreichten Ausschussquote, konnte die mögliche Verwendung von Rezyklaten im Vergleich zu einer konventionellen Extrusionsanlage erheblich gesteigert werden. Im Rahmen der Erfolgskontrolle wurde hierbei eine Erhöhung des Rezyklatanteils bei Rahmenprofilen um 18 Prozent erreicht, was mit erheblichen Umweltentlastungen einhergeht. Bei einer bislang realisierten Produktionskapazität von ca. 3.600 Tonnen jährlich konnten durch die ermöglichte Steigerung der Rezyklatanteile CO ₂ -Emissionen in Höhe von über 1.200 Tonnen vermieden werden.	
Schlagwörter: Extrusion – Kunststoff – PVC – 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: ECO.PROFILE – Sustainable Extrusion			
Author: Frank Spies Arne Przybilla		Start of project: 21/12/2017	
		End of project: 30/04/2019	
Performing Organisation: aluplast GmbH Auf der Breit 2 76227 Karlsruhe		Publication Date: 15/11/2019	
		No. of Pages: 44	
Funded in the Environmental Innovation Program of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety.			
Summary: The use of recycled plastics in new products conserves primary substances and saves energy and carbon dioxide emissions in comparison to the usage of fresh granulate. In the field of plastic extrusion for window, door and shutter profiles particularly high-quality polyvinylchloride is used and is distinguished for its top-level recyclability. In the framework of its investment intentions, the family-owned business aluplast implemented the new ECO.PROFILE process which distinguishes itself through a significant process stability. In addition to a significantly improved resource efficiency as for example in the sectors of water and the usage of biocides as well as in regard to the achieved scrap rate, the possible usage of recyclates in comparison to a conventional extrusion system could be significantly increased. In the framework of the success monitoring the proportion of recycled plastic for frame profiles increased by 18 percent which is accompanied by substantial environmental relief. By an already achieved production capacity of approximately 3,600 tons yearly, 1,200 tons of CO ₂ emissions could be avoided through the possible increase of the recycled plastics.			
Keywords: extrusion – plastic – PVC – resource efficiency - recyclat			

1. Einleitung

1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens

Das Familienunternehmen aluplast wurde 1982 von Manfred J. Seitz in Ettlingen bei Karlsruhe gegründet und zählt heute zu den führenden Anbietern von Kunststoff-Profilsystemen. Durch zukunftsweisende Innovationen, enge Kooperationen mit den Partnerbetrieben und höchste Flexibilität gehört aluplast zu den erfolgreichsten Unternehmen der Branche und ist in diesem Umfeld einer der wenigen inhabergeführten Profilhersteller. Belohnt wurde diese Unternehmensphilosophie mit dem TOP100-Award der innovativsten Firmen im Mittelstand. Prägend für das unternehmerische Handeln sind darüber hinaus das Bewusstsein, dass die Ressourcen der Erde endlich sind sowie die daraus erwachsende Verpflichtung, ein nachhaltiges Wirtschaften im Unternehmen sicherzustellen. Konkret bedeutet das bei aluplast, dass die Produktion konsequent auf Ressourceneffizienz und Recycling ausgerichtet ist und die Produkte einen wesentlichen Beitrag zur Energieeffizienz im Bausegment leisten, wobei dieses Engagement für Umweltschutz 2013 gemäß der DIN/ISO 50001 zertifiziert wurde. Darüber hinaus ist aluplast Mitglied der Rewindo-Initiative. Dieser Zusammenschluss der führenden deutschen Kunststoffprofilhersteller hat das Ziel, das Recycling von ausgebauten Fenstern, Rollläden und Türen aus Kunststoff zu erhöhen und dabei ein ressourceneffizientes Wirtschaften zu fördern.

1.2 Ausgangssituation

Das Recycling von Kunststoffabfällen und der Einsatz von Kunststoffzyklen in Neuprodukten schonen Primärstoffe und sparen gegenüber der Produktion aus Rohöl Energie und CO₂-Emissionen ein. Im Bereich der Kunststoffextrusion von Fenster-, Tür- und Rollladenprofilen wird insbesondere hochwertiges Polyvinylchlorid (PVC) eingesetzt. Aufgrund von Materialeigenschaften wie Robustheit, Sicherheit, Langlebigkeit und hohe Wärmedämmung bei Mehrfachverglasung gewinnen Kunststoffprofile weltweit zunehmend an Bedeutung. Durch den Einsatz von Mehrkammerprofilen, intelligenten Profilgeometrien, neuen Klebtechnologien sowie ausgeschäumten Profilkammern konnten in der Vergangenheit die erreichten U-Werte (Wärmedurchgangskoeffizient) kontinuierlich verbessert werden. Ein weiterer entscheidender Vorteil von PVC liegt jedoch in dessen hervorragender Recyclingfähigkeit: Theoretisch kann sich ein Zyklus aus Fensternutzung und Wiederverwertung sieben Mal ohne

Einflüsse auf die Rohstoff- oder Verarbeitungsqualität wiederholen. Infolgedessen hat sich im Vergleich zu zahlreichen anderen Kunststoffabfällen ein nachhaltiger Recyclingkreislauf etabliert, sodass durch die Verwendung von Kunststoffrezyklaten erhebliche Mengen Frischgranulat und somit Primärrohstoffe eingespart werden konnten. In der folgenden Abbildung ist der Recycling-Kreislauf von Kunststoffprofilen exemplarisch dargestellt.

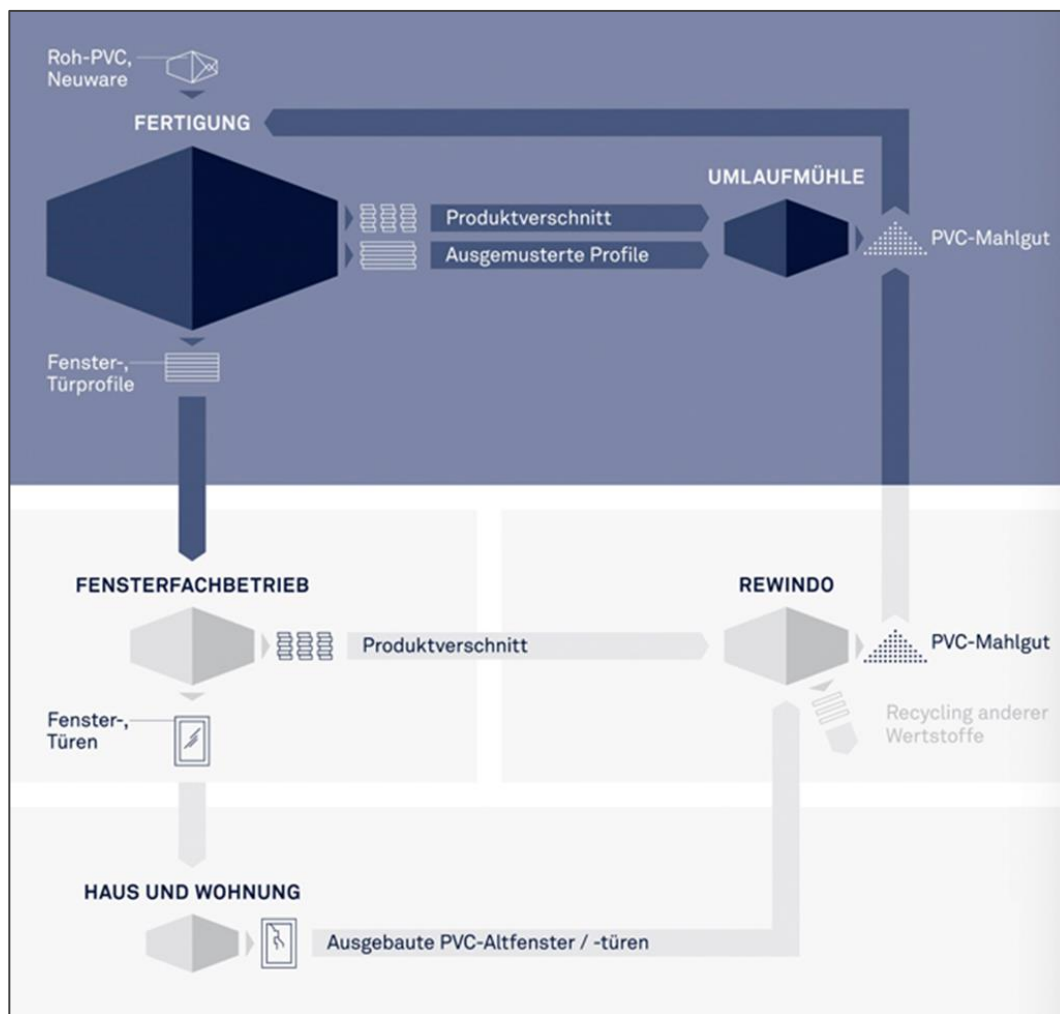


Abbildung 1: Der Recyclingkreislauf von PVC-Kunststoffprofilen¹

Der grundsätzliche Stellenwert des Kunststoffrecyclings und des Rezyklateinsatzes in Neuprodukten mit Blick auf die Reduzierung des Rohöl- und Energiebedarfs sowie der entsprechenden CO₂-Emissionen wird auch nochmals in einem Positionspapier des Umweltbundesamts hervorgehoben.² Ergänzend hierzu ergab eine nach internationalen Standards von der

¹ Quelle: <https://www.inoutic.de/de/recycling-kunststoff#>, abgerufen am 02.10.2019.

² Quelle: Umweltbundesamt (2016): Steigerung des Kunststoffrecyclings und des Rezyklateinsatzes.

Firma RECARBON durchgeführte Berechnung, dass jede Tonne PVC-Regranulat, welche anstelle von Primär-PVC in der Profilextrusion verwendet wird, rund 1,87 Tonnen klimarelevanter Treibhausgase in Form von CO₂-Äquivalenten einspart. Im Jahr 2015 konnten über 100.000 Tonnen aufbereitetes PVC werkstofflich in Form von Rezyklat im Markt wiederverwertet werden. In der folgenden Grafik sind die Entwicklung der eingesetzten Rezyklatmengen von PVC in Deutschland seit 2002 sowie der CO₂-Footprint von Primär-PVC und Regranulat dargestellt.³

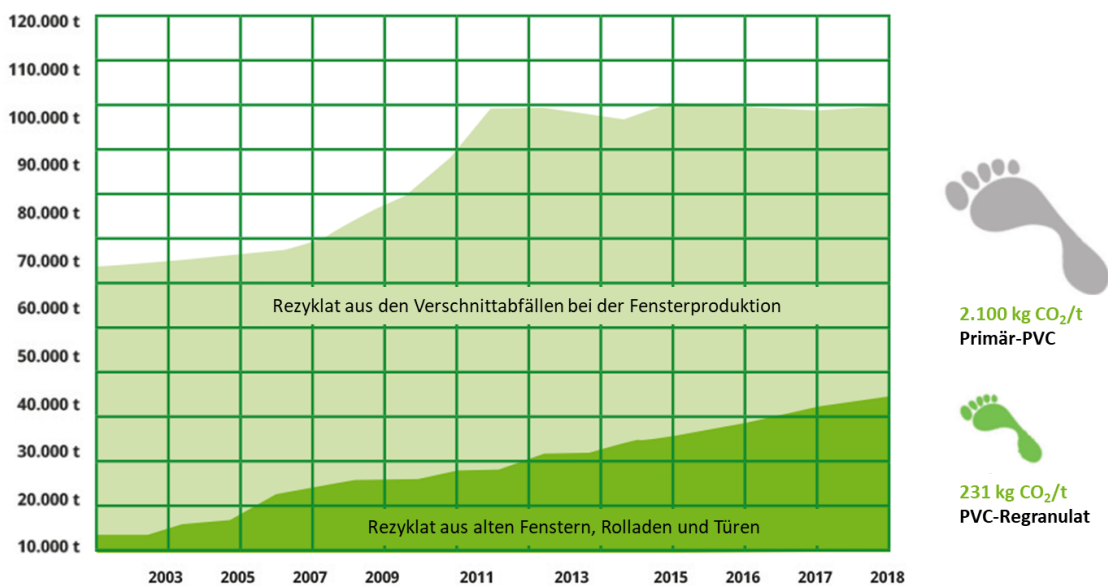


Abbildung 2: Eingesetzte Rezyklatmengen in Deutschland und CO₂-Footprint

Auch wenn die verwendeten Rezyklatmengen in den vergangenen Jahren kontinuierlich gesteigert werden konnten, besteht hier in der Branche mit Blick auf den Umweltschutz nach wie vor ein maßgebliches Verbesserungspotenzial. Dies betrifft unter anderem die beiden folgenden Aspekte:

- **Steigerung der Ressourceneffizienz im Herstellungsprozess:** Mit Blick auf das Extrusionsverfahren besteht das Potenzial, den Produktionsprozess durch innovative Anlagentechnologien effizienter zu gestalten und infolgedessen den Ressourceneinsatz zu reduzieren. Dies betrifft insbesondere den Energieverbrauch sowie den Frischwasser- und Biozideinsatz. Darüber hinaus ergibt sich beim Stand der Technik ein

³ Quelle: <https://rewindo.de/unternehmen/> in Verbindung mit <https://rewindo.de/infomaterial/>, abgerufen am 02.10.2019.

wesentliches Verbesserungspotenzial in der Reduzierung der Ausschussquote, welche beispielsweise aus fehlerhaften Werkzeugwechseln oder Oberflächenbeschädigungen resultiert.

- **Steigerung der Rezyklatanteile und -nachfrage:** Insbesondere vor dem Hintergrund, dass aufgrund der Lebensdauer der ersten Generation von Kunststofffenstern und -türen, zukünftig eine mengenmäßige Zunahme der Recyclingströme erwartet wird, besteht ein grundsätzliches Steigerungspotenzial im eingesetzten Rezyklatanteil. Von entscheidender Bedeutung ist es diesbezüglich, geeignete technische Anlagenkonzepte zu implementieren, um für die zunehmenden Recyclingmengen die entsprechende Nachfrage generieren und infolgedessen die hiermit einhergehenden substantiellen Umweltentlastungen realisieren zu können. Im Jahr 2013 lag die PVC-Abfallmenge in Deutschland bei 647.300 Tonnen, wobei davon lediglich 140.000 Tonnen einer werk- und rohstofflichen Verwertung zugeführt wurden. Die weiteren PVC-Abfälle wurden in Müllverbrennungsanlagen energetisch verwertet.⁴ Im Bereich der PVC-Fenster- und Türprofile wird hingegen über die Rewindo-Initiative bereits eine Recyclingquote in Höhe von 85 Prozent erreicht.⁵ Entscheidend für eine hohe werkstofflichen Recyclingquote und eine Verringerung der energetischen Verwertung ist dabei unter anderem eine marktseitige Steigerung der Rezyklatnachfrage. Während für weiße Regranulate auf Basis der aktuellen Verwertungsmenge eine entsprechende Nachfrage vorhanden ist, besteht am Markt für bunte Regranulate jedoch ein substantielles Überangebot. Mit Blick auf die möglichen Ressourcen- und Umweltentlastungen gilt es diesbezüglich, durch innovative Anlagentechnologien nicht nur die grundsätzliche Rezyklatnachfrage zu erhöhen, sondern darüber hinaus eine Steigerung der Verarbeitungsmenge von buntem Regranulat zu ermöglichen.

Die dargestellten Potenziale zur Nutzung von Rezyklaten zeigen deutlich den Innovationsbedarf im Bereich der kontinuierlichen thermoplastischen Kunststoffextrusion von Fenster-, Tür- und Rollladenprofilen auf. Der Prozess der Kunststoffextrusion gestaltet sich grundsätzlich wie folgt:

⁴ Quelle: <http://www.agpu.de/alles-ueber-pvc/recycling>, abgerufen am 10.02.2017

⁵ Quelle: <https://rewindo.de/infomaterial/>, abgerufen am 11.11.2019

Im Extruder wird der meist granulatformig vorliegende Kunststoff mittels einer Schnecke eingezogen, gefördert, komprimiert und durch innere Reibung sowie extern eingebrachte Wärme in Form von elektrischen Heizbändern geschmolzen (Plastifizierung). Dabei verlässt die stofflich und thermisch homogene Kunststoffschmelze den Extruder in einem konstanten Massenstrom, wobei das Druckniveau ausreicht, die nachfolgenden Fließkanäle des Extrusionswerkzeuges zu durchströmen. In diesem ebenfalls temperierten Werkzeug erfolgt die Formgebung. Dabei ist das Werkzeug sowie die Geometrie der Strömungskanäle hinsichtlich einer homogenen Volumenstrom-, Temperatur- und Spannungsverteilung und somit der Wanddickenverteilung von entscheidender Bedeutung. Die Oberflächenbeschaffenheit wird hingegen maßgeblich in der darauf folgenden Kalibrierung festgelegt. Dabei wird der noch plastische Kunststoff mittels eines Unterdrucks an die Wand der Kalibrierung gepresst und gleichzeitig gekühlt. Die Außenoberfläche bildet somit die Form der Kalibrierung ab und erstarrt durch diese Konturvorgabe innerhalb eines engen Toleranzbereichs. In der anschließenden Kühlstrecke wird dem Extrudat weiter Wärme entzogen bis es vollständig abgekühlt ist. Hierbei wird über den Abzug die benötigte Kraft aufgebracht, um das Profil kontinuierlich durch die Kalibrierung und Kühlstrecke zu ziehen. Abgeschlossen wird der Prozess durch den Zuschnitt des Profils. In der folgenden Abbildung wird der beschriebene Extrusionsprozess nochmals grafisch verdeutlicht und um die entsprechende Prozessperipherie ergänzt.

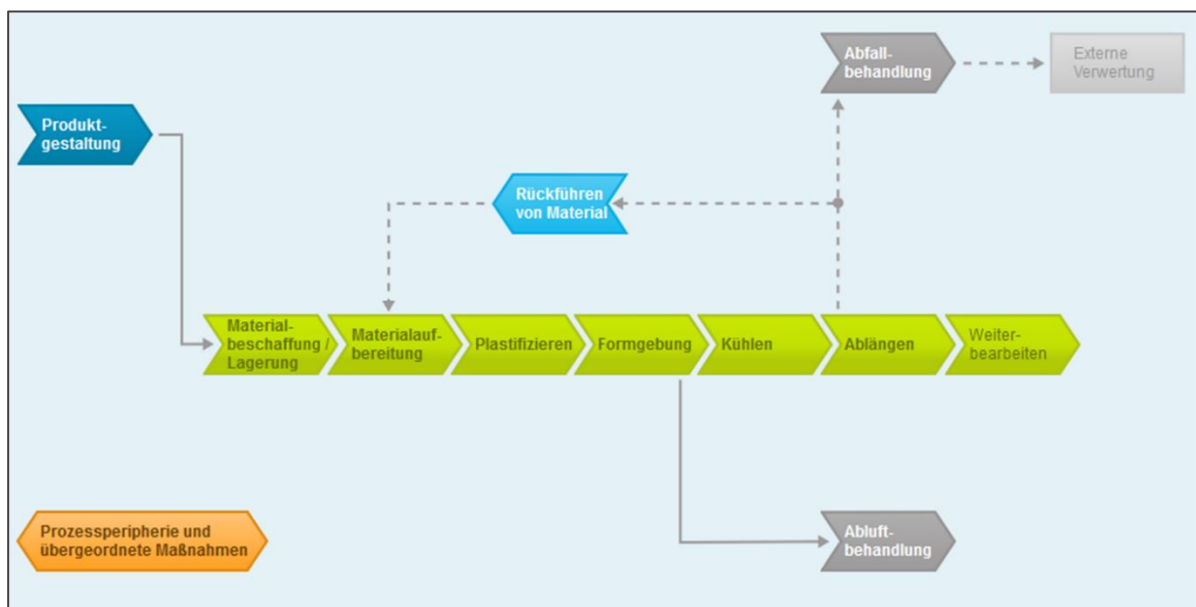


Abbildung 3: Prozesskette Extrusion

Mit Blick auf den zunehmenden Trend zur nachhaltigen Produktion wurden beim Stand der Technik sogenannte Coextruder zur parallelen Bearbeitung des Regranulats eingesetzt. Dabei wurde das Regranulat für den Profilkern verwendet, während die sichtbare Deckschicht des Fensterprofils aus Primär-PVC bestand. Je nach Produktgruppe wurden hier unterschiedliche Rezyklatanteile erreicht, wobei angesichts der angestrebten Oberflächenqualität die Substitution von Primär- durch Regranulat anlagen- und prozessbedingt limitiert war. Bedingt durch die fehlende Prozessstabilität beim Stand der Technik stieß die Steigerung des Rezyklatanteils an ihre Grenzen, wobei je nach Profiltyp die erreichten Rezyklatquoten entsprechend variieren. Im Produktbereich Pfosten wurde bislang beispielsweise überhaupt kein Rezyklat eingesetzt, während bei Rahmen- und Flügelprofilen ein Anteil von 40 bzw. 30 Prozent realisiert werden konnte. Grundsätzlich führte eine weitere Erhöhung der Regranulatanteile bei einer konventionellen Anlagentechnik zu überproportionalen Ausschussquoten, die eine wirtschaftliche Herstellung der Profile bis dato nicht erlaubt.

2. Vorhabenumsetzung

2.1 Ziel des Vorhabens

Zielstellung des Investitionsvorhabens war es, erstmalig das ECO.PROFILE-Verfahren in einer großtechnischen Anlage zu realisieren. Der Begriff ECO.PROFILE steht dabei für ein neuartiges Anlagenkonzept im Bereich des Extrudierens, um entlang der gesamten Prozesskette von Extruder über Kalibrierung bis hin zum Profilabzug umweltrelevante Innovationen zu realisieren.

Aufbauend auf der vorangehend dargestellten Ausgangssituation und den dabei skizzierten Verbesserungspotenzialen, wurde mit Umsetzung des Investitionsvorhabens die zentrale Zielstellung verfolgt, die möglichen Einsatzmengen von Rezyklaten im Vergleich zu konventionellen Extrusionsanlagen maßgeblich zu steigern. Um diese Zielstellung realisieren zu können, galt es, insbesondere die bislang erreichte Prozessstabilität und -sicherheit maßgeblich zu verbessern, welche für die Minimierung der sichtbaren Oberflächenschichtdicke bestehend aus Primär-PVC von entscheidender Bedeutung sind. Unter ökologischen Gesichtspunkten ist dabei die Steigerung des Rezyklatanteils in der Kunststoffextrusionsbranche von entscheidender Bedeutung, da infolgedessen nicht nur Primär-PVC substituiert, sondern darüber hinaus ein entscheidender Beitrag zur Schließung des PVC-Wertstoffkreislaufes geleistet werden kann. Eine weitere Zielstellung des Investitionsvorhabens war es, den Ressourceneinsatz entlang des Extrusionsprozesses möglichst zu minimieren. Dies betrifft insbesondere den Energie-, Wasser- und Biozidbedarf sowie die Reduzierung der prozessbedingten Ausschussquote.

Mit Blick auf die Zielstellungen des Investitionsvorhabens gilt es somit festzuhalten, dass mit der Umsetzung des ECO.PROFILE-Verfahrens 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 ECO.PROFILE-Linie dargestellt.

ECO.PROFILE-Verfahren: Nachhaltige Extrusion	
<i>Jährliche Fertigungskapazität:</i>	Ca. 4.700 Tonnen (Dualanlage)
<i>Maschinenverfügbarkeit:</i>	> 98 %
<i>Jährliche Produktionszeit</i>	Ca. 8.000 Stunden
<i>Wasser-Wechselzeit</i>	alle 60-70 Tage im Dauerbetrieb

Tabelle 1: Eckdaten ECO.PROFILE-Linie

2.3 Umsetzung des Vorhabens

Da die erfolgreiche Umsetzung des Investitionsvorhabens unmittelbar von einer hohen Prozessstabilität und -sicherheit abhängt, wurde die Anlage zunächst beim Anlagenlieferanten aufgebaut und abgestimmt. Nach der Auslieferung an aluplast erfolgte eine umfangreiche Inbetriebnahme der Anlagentechnik sowie eine Optimierung der Produktionsparameter. Nach Abschluss der Inbetriebnahme im April 2018 konnte eine erste Produktionscharge unter Serienbedingungen im Mai 2018 realisiert werden. Nach Einfahren der Prozesse erfolgte die geplante zwölfmonatige Erfolgskontrolle ab Juli 2018. In der nachfolgenden Tabelle sind die wesentlichen Meilensteine des Vorhabens dargestellt.

Projektphase	Termin
<i>Aufbau der Anlage durch aluplast</i>	Oktober 2017
<i>Inbetriebnahme der Gesamtanlage</i>	Bis April 2018
<i>Produktionsbeginn unter seriennahen Bedingungen</i>	Mai 2018
<i>Durchführung der Erfolgskontrolle</i>	Juli 2018 – Juni 2019

Tabelle 2: Zeitplan des Vorhabens

Darauf aufbauend sind in den nachfolgenden Abbildungen der Anlagenaufbau sowie die fertig montierte Extrusionslinie dokumentiert.



**Abbildung 4: Dokumentation Anlagenaufbau
(Verrohrung und Vorbereitung der Montage, Aufbau des Extruders sowie der Nachfolge)**



Abbildung 5: ECO.PROFILE-Line, Extruder und Nachfolge

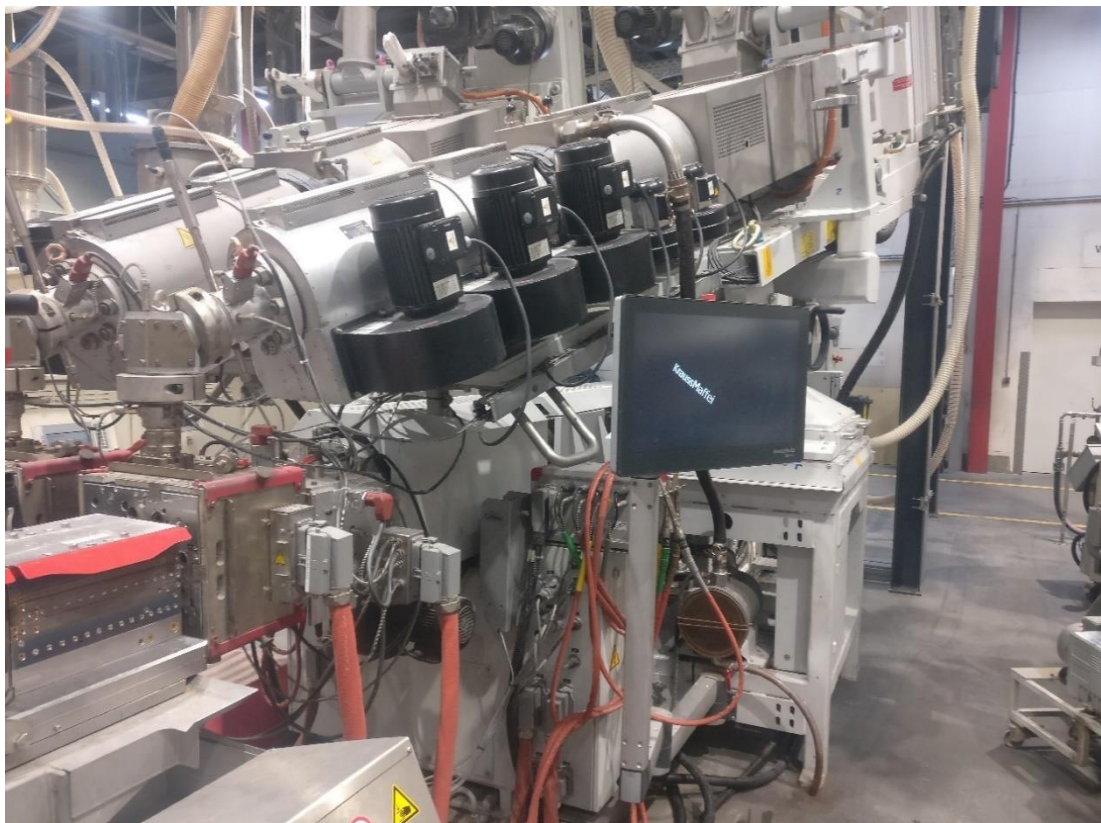


Abbildung 6: ECO.PROFILE-Line, Detailansicht Extruder



Abbildung 7: ECO.PROFILE-Line, Gesamtansicht der Nachfolge

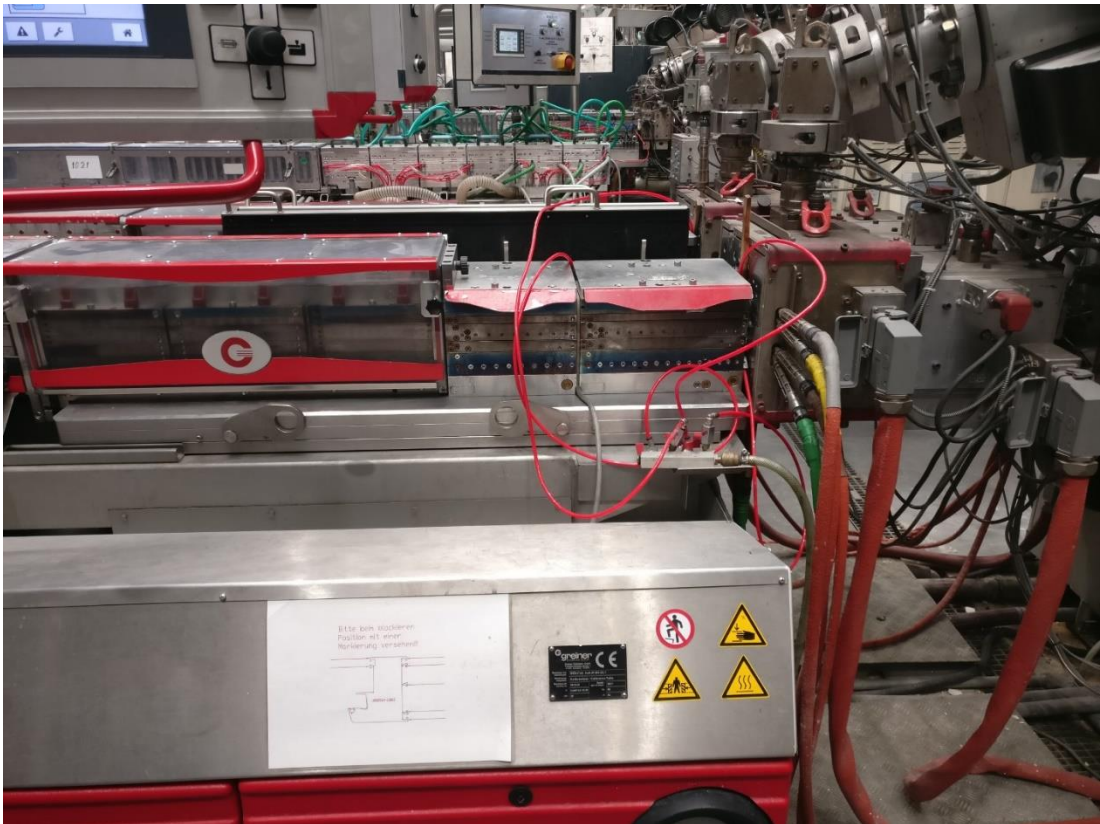


Abbildung 8: ECO.PROFILE-Line, Detailansicht des Werkzeugs



Abbildung 9: ECO.PROFILE-Line, Detailansicht Bandabzug



Abbildung 10: ECO.PROFILE-Line, Gesamtansicht

2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Die im Rahmen des Vorhabens realisierte Extrusionsanlage 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 des innovativen ECO.PROFILE-Verfahrens wurden umfangreiche Auswertungen durchgeführt, um die Durchführung der Investitionsmaßnahme aus ökologischer und ökonomischer Sicht bewerten zu können. Die benötigten Messdaten wurden dabei in einer zwölfmonatigen Produktionsphase von Juli 2018 bis Juni 2019 erhoben. Die Gesamtproduktionsmenge auf der ECO.PROFILE-Linie betrug in diesem Zeitraum 3.664 Tonnen, welche die Grundlage zur Ermittlung der tatsächlichen Verbrauchswerte bilden. Extrudiert wurden hierbei ausschließlich Rahmenprofile als Dauerläufer im Sortiment. Damit wurde nicht nur den vom Absatzmarkt nachgefragten Mengen Rechnung getragen, sondern insbesondere auch eine Vergleichbarkeit der ermittelten Daten sichergestellt.

Grundsätzlich wurde die Erfolgskontrolle anhand der angestrebten Einsparpotenziale in den Bereichen Energie, Wasser, Biozide und Ausschuss 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 anhand des Rahmenprofils überprüft, inwiefern die angestrebten Rezyklatanteile erreicht werden konnten. Bei der genannten Produktionsmenge in Höhe von 3.664 Tonnen im Betrachtungszeitraum auf der ECO.PROFILE-Linie wurde ausschließlich ein neues Flächencoex-Werkzeug eingesetzt, wobei Primär-PVC sowie buntes Rezyklat verwendet wurden. Um eine Vergleichbarkeit der Rezyklateinsatzmengen zu gewährleisten, wurden darüber hinaus Auswertungen auf einem konventionellen Kerncoex-Werkzeug auf einer Anlage des Stands der Technik vorgenommen. Die hierbei extrudierte Vergleichsmenge beträgt 1.101 Tonnen.

3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung

3.1 Bewertung der Vorhabendurchführung

Nach der erfolgten Anlagenauslieferung durch die Firma Greiner wurde die ECO.PROFILE-Linie am Investitionsstandort Karlsruhe aufgebaut und in Betrieb genommen. Für die Inbetriebnahme der Gesamtanlage waren dabei mehrere Monate nötig, um das Gesamtsystem 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 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:

- Aufgrund des eingeschränkten Platzangebots vor Ort sowie des hohen Gewichts des Coextruders konnte dieser nicht wie geplant mittels einer großen Hebebühne in die Gesamtanlage integriert werden. Infolgedessen musste ein Spezialkran für die Montage eingesetzt werden.
- Außerdem erwies sich die Qualität der verwendeten Filtersiebe der Wasser- und Vakuumversorgung als unzureichend, da eingesaugter Staub aus der Luft zunächst Verschmutzungen in der Wasser- und Vakuumversorgung verursachte. Es wurden daher unterschiedliche Varianten von Sieben untersucht, eingesetzt und getestet. Varianten, die aus Standardsieben ausgestanzt wurden, erzielten jedoch aufgrund der leichten Verschiebbarkeit der Maschen keine ausreichende Funktionssicherheit. Mit der Herstellung neuer Filtersysteme im 3D-Druckverfahren, welche aus einem Stück bestehen, sowie deren Implementierung in die Anlagentechnik konnte diese Problemstellung gelöst werden.
- Im Rahmen der Inbetriebnahme zeigte sich ein erhöhter Materialverschleiß am Bandabzug, sodass das ursprünglich vorgesehene Abzugsband (Shore Härte von ca. 40)

nicht eingesetzt werden konnte. Infolgedessen wurde ein härteres Abzugsband implementiert (Shore Härte von ca. 60) sowie der Abzugsprozess steuerungsseitig optimiert. Der Bandverschleiß erwies sich dabei nach erfolgtem Austausch als stabil.

- Darüber hinaus setzte sich der Schwimmschalter in der Anlage nach kurzer Zeit fest. Grund hierfür war die auftretende Korrosion an den Aluminium-Führungsstangen. Infolgedessen wurden neue korrosionsbeständige Edelstahl-Führungsstangen in die Anlage implementiert, sodass zukünftig ein Festsetzen des Schwimmschalters prozesssicher verhindert werden konnte.
- Des Weiteren wurden an der Anlagensteuerung kontinuierlich Optimierungen vorgenommen, um unterschiedlichen Problemstellungen entgegenzuwirken. Beispielhaft zu nennen ist an dieser Stelle die aufgetretene Problematik, dass bei Entleerung der Anlage Fehlermeldungen auftraten.

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 Ressourcenbedarf im Extrusionsprozess zu reduzieren sowie zum anderen die Einsatzquoten von PVC-Rezyklaten erheblich zu steigern. Dabei zeigten die erhobenen Daten, dass das Anlagenkonzept unter ökologischen Gesichtspunkten vollumfänglich bestätigt 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 das ECO.PROFILE-Verfahren erstmals großtechnisch realisiert und somit ein neuer Branchenbenchmark definiert werden konnte. Die im Rahmen der Inbetriebnahme aufgrund von Problemstellungen durchgeführten Optimierungen waren dabei aufgrund des Innovationsgrads zu erwarteten und nicht von grundsätzlicher Bedeutung. Aufgrund der erfolgreichen Umsetzung des Anlagenkonzepts dient die ECO.PROFILE-Linie als Maßstab für zukünftige Investitionsvorhaben und als Demonstrator von realisierten Anlageninnovationen im Bereich der Kunststoffextrusion.

3.2 Stoff- und Energiebilanz

Ressourcenreduzierung im Herstellungsprozess

Zur Quantifizierung der Umweltentlastungen wird aufgrund der verfügbaren Daten das ECO.PROFILE-Verfahren mit einer konventionellen und am Produktionsstandort aktuell eingesetzten Extrusionsanlage verglichen. Unter ökologischen Gesichtspunkten war die zentrale Zielstellung mit Blick auf den Herstellungsprozess die Reduzierung des Ressourceneinsatzes in den Bereichen Energie, Wasser und Biozide. Darüber hinaus wurde eine Verringerung der anlagenbedingten Lärmemission angestrebt. Die diesbezüglichen Ergebnisse der Erfolgskontrolle sind nachfolgend detailliert aufgezeigt.

Energie: Hinsichtlich der angestrebten Verbesserung der Energieeffizienz sind insbesondere die Maßnahmen Reduzierung der benötigten Anlagenkomponenten (bspw. Entfall Zyklontank, reduzierte Anzahl Seitenkanalverdichter etc.) sowie bedarfsbasierte Steuerung der Pumpen zu nennen (Auswahl kleiner und effizienterer Pumpen, bedarfsgerechtes Vakuum über Anlagensteuerung, sodass keine Steuerung über Falschlucht notwendig ist, etc.). Unter Berücksichtigung sämtlicher Anlagenkomponenten in der Extrusionslinie wurde hierbei eine Verringerung des Energieverbrauchs von aktuell 0,555 Kilowattstunden pro Kilogramm auf 0,437 Kilowattstunden pro Kilogramm angestrebt. Die Messungen der Wirkenergie im Rahmen der Erfolgskontrolle ergaben hingegen einen tatsächlichen Stromverbrauch von 0,38 Kilowattstunden pro Kilogramm (Messergebnis: 223,7 Kilowattstunden bei 588,49 Kilogramm pro Stunde für beide Extrusionsstränge). Ausgehend von dem aktuellen Stand der Technik konnte infolgedessen mit Umsetzung des ECO-PROFILE-Verfahrens der Strombedarf um über 30 Prozent reduziert werden.

Wasser: Im Gegensatz zum aktuellen Stand der Technik konnte im neuen Anlagenkonzept ein geschlossener Wasserkreislauf realisiert werden, mit dem Ziel, die vorgehaltene Wassermenge im Vergleich zu einer konventionellen Extrusionsanlage verringern zu können. Dabei zeigte sich nach Inbetriebnahme der Anlage, dass die vorgehaltene Wassermenge von 6.000 Liter auf 1.500 Liter (750 Liter pro Strang) reduziert werden konnte. Des Weiteren benötigen die Extrusionslinien des Stands der Technik darüber hinaus täglich 480 Liter Frischwasser, was bei 300 Arbeitstagen einem zusätzlichen Wasserbedarf von 144.000 Liter entspricht.

Dieser Wasserbedarf konnte nach Umsetzung des ECO.PROFILE-Verfahrens vollständig eingespart werden. Wasserleckagen, die ein Nachfüllen des Prozesswassers bedingen, sind bislang nicht aufgetreten.

Mit Blick auf die dargestellte, realisierte Laufzeit der Anlage ist Stand heute festzuhalten, dass das Prozesswasser lediglich nach einem Produktionszyklus von bis zu 60 Tagen einmalig vollständig ausgetauscht werden muss. Das bedeutet, dass bei ca. 6 Wasserwechsel pro Jahr der jährliche Wasserbedarf pro Doppelstranganlage auf 9.000 Liter Frischwasser reduziert werden konnte. Zusätzlich zu dieser maßgeblichen Reduzierung des Frischwasserbedarfs ist aus ökologischer Sicht des Weiteren von entscheidender Bedeutung, dass die dargestellte Reduzierung zusätzliche Umweltentlastungen entlang der Wertschöpfungskette, insbesondere im Bereich der Abwasseraufbereitung, nach sich zieht.

Biozide: Biozide werden in Extrusionsanlagen eingesetzt, um trotz der eingebrachten Verschmutzungen, Partikel etc. eine hohe Wasserqualität sicherstellen zu können. Mit der Realisierung eines geschlossenen Wasserkreislaufs sowie eines reduzierten Frischwasserbedarfs wurde diesbezüglich eine erhebliche Verringerung des jährlichen Biozideinsatzes von 359 Kilogramm auf 93 Kilogramm angestrebt. Dabei zeigte sich nach Inbetriebnahme der ECO.PROFILE-Linie im Rahmen der Erfolgskontrolle, dass auf den Einsatz von Bioziden vollständig verzichtet werden kann. Grund hierfür ist, dass das Prozesswasser laufzeitabhängig ausgewechselt wird. Aufgrund des realisierten geschlossenen Kreislaufes kommt es dabei während eines Produktionszykluses zu keinen Verunreinigungen aus der zentralen Wasserversorgung. Da darüber hinaus kein Leckagenausgleich mit Frischwasser nötig ist, kann der Einsatz von Bioziden im Fertigungsprozess vollständig vermieden werden.

Lärm: Durch die bedarfsgerechte Steuerung der Pumpen, die Reduzierung der Anlagenkomponenten und dem hiermit einhergehenden Entfall von Schläuchen und Leitungen sowie einer gezielten Verwendung eines Schalldämpfers sollte der Geräuschpegel der Anlage erheblich reduziert werden. Beim Stand der Technik betrug dieser ca. 85 dB, was bei langfristiger Einwirkung Gehörschäden verursachen kann. Ziel des Investitionsvorhabens war es, den Schalldruckpegel auf 75 dB zu reduzieren und somit das gesundheitliche Gefährdungspotenzial für die Mitarbeiter mindern zu können. Bei der Durchführung der Lärmmessungen zeigte sich jedoch, dass die Erhebung belastbarer Werte aufgrund von Umgebungsgeräuschen, ins-

besondere die in der unmittelbaren Umgebung betriebenen konventionellen Extrusionslinien, nicht möglich war. Aufgrund der Herstellerangaben und der beim Anlagenlieferant in der Laborumgebung erhobenen Daten kann aber davon ausgegangen werden, dass die Zielstellung der Lärmreduzierung erreicht wurde.

Ausschuss: Grundsätzlich entsteht Ausschuss unter anderem beim Einfahren der Anlage, bei Materialversuchen sowie der Herstellung von Musterstücken. Der größte Anteil entfällt dabei jedoch insbesondere auf Qualitätsmängel im Zuge der Produktion (beispielsweise aufgrund fehlender Prozessstabilität, siehe hierzu die Ausführungen in den Antragsunterlagen). Durch die maßgebliche Verbesserung der Prozessstabilität, die enge Abstimmung der einzelnen Anlagenkomponenten sowie den Einsatz der neuartigen Technologien (stabileres Vakuum durch konsequente Wasser-Luft-Trennung, reduzierte Fehleranfälligkeit durch neuartiges Paletten-System etc.) wurde durch die Umsetzung des Investitionsvorhabens eine erhebliche Verbesserung der Ausschussquote angestrebt. Da die Ausschussquote wesentlich vom jeweiligen Profiltyp abhängt und nach Umsetzung des Vorhabens das Rahmenprofil als Dauerläufer produziert wurde, ist eine Betrachtung der standortbezogenen Ausschussquote an dieser Stelle nicht zielführend. Viel mehr wurde im Rahmen der Erfolgskontrolle die auf der ECO.PROFILE-Linie erreichte Ausschussquote für das Rahmenprofil ermittelt und der im Beobachtungszeitraum erzielten Ausschussquote bei Einsatz eines konventionellen Kerncoex-Werkzeugs auf einer Extrusionsanlage des Stands der Technik gegenübergestellt. Dabei zeigte sich, dass für das Rahmenprofil im Betrachtungszeitraum die Ausschussquote von 7,6 Prozent auf 4,73 Prozent reduziert werden konnte. Diese maßgebliche Verbesserung ist insbesondere auch dahingehend von wesentlicher Bedeutung, da die Herstellung des Rahmenprofils mit erhöhtem Rezyklatanteil deutlich anspruchsvoller an die Prozessstabilität ist. Infolgedessen gelang es mit Umsetzung des Vorhabens, trotz des zusätzlichen Rezyklatanteils und den hiermit einhergehenden dünneren Schichten an Primär-PVC die Ausschussquote erheblich zu reduzieren, was die ökologische und ökonomische Vorteilhaftigkeit des Anlagenkonzepts unterstreicht.

Anzumerken ist an dieser Stelle, dass der Ausschuss bei aluplast größtenteils in den Produktionsprozess zurückgeführt werden kann. Als „nicht recyclingfähiger Ausschuss“ wird hingegen die anfallende PVC-Schmelze, welche aufgrund des Anfahrprozesses (Start der Extrusionslinie) vollförmig aus dem Extruder austritt und somit nicht vermahlen werden kann

(Klumpenbildung). Diese nicht-kalibrierten Vollprofilstränge können infolgedessen ebenso wie bereits mit Klebebändern oder Silikondichtungen bestückte Profilstränge nicht in den Recyclingkreislauf zurückgeführt werden.

Steigerung Rezyklatanteil

Grundsätzlich ist das Steigerungspotenzial von weißem Rezyklat im Herstellungsprozess aufgrund des geringeren Farbunterschieds zur Oberfläche höher als bei buntem Rezyklat. Bei der Verarbeitung der Typenware bunt besteht die Komplexität in den erheblichen Anforderungen an die Qualität und Stabilität, da die Oberfläche fehlerfrei und vollständig deckend mit weißem Primär-PVC geschlossen überzogen werden muss. Mit Blick auf die Einordnung der realisierten Quoten ist es wichtig an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass im Rahmen der Erfolgskontrolle ausschließlich buntes Rezyklat eingesetzt wurde. Bei der Ermittlung der jeweiligen Coex-Verteilungen sind darüber hinaus weitere Faktoren zu berücksichtigen. Beispielhaft zu nennen sind die Geometrie des Profils, die Anforderungen an die Oberflächenbeschaffenheit sowie der Anteil der sichtbaren Oberfläche. Weitere entscheidende Faktoren bei der Ermittlung der Coex-Verteilungen sind unter anderem, ob das Profil verschweißt oder mit einer Folie beklebt wird. Dabei ist es von entscheidender Bedeutung, dass bei konventionellen Extrusionslinien die einsetzbare Rezyklatmenge insbesondere durch das Ausstoßvolumen des Co-Extruders limitiert ist (maximales Ausstoßvolumen der Extruderkombination). Ziel bei der Umsetzung des ECO.PROFILE-Verfahrens war es daher, insbesondere die erhebliche Steigerung der Verarbeitungsmengen an Bunt-Regranulat zu ermöglichen. Angesichts dieser Zielstellung wurden in Vorbereitung auf das Investitionsvorhaben umfangreiche Untersuchungen bezüglich der angestrebten Coex-Verteilungen durchgeführt.

Anzumerken ist an dieser Stelle, dass im Rahmen der Erfolgskontrolle bislang ausschließlich buntes Regranulat eingesetzt wurde. Hintergrund hierfür ist zum einen, dass marktseitig deutlich größere Mengen an bunten als an weißen Regranulaten vorhanden sind, sodass aus ökologischer Sicht die Verarbeitung der bunten Rezyklatrückläufer von entscheidender Bedeutung ist. Darüber hinaus ist der Einsatz von buntem Rezyklat prozess- und anlagentechnisch deutlich anspruchsvoller. Aufgrund der erfolgreich realisierten Steigerung der Buntrezyklatanteile können zukünftig infolgedessen ohne Weiteres ebenso weiße PVC-Rückläufer mit mindestens den gleichen Anteilen eingesetzt werden. Ein Wechsel von buntem auf

weißes Rezyklat ist somit jederzeit möglich. In der nachfolgenden Abbildung ist diesbezüglich die angestrebte Verteilung für die Profilkategorie Rahmen für buntes Regranulat dargestellt.

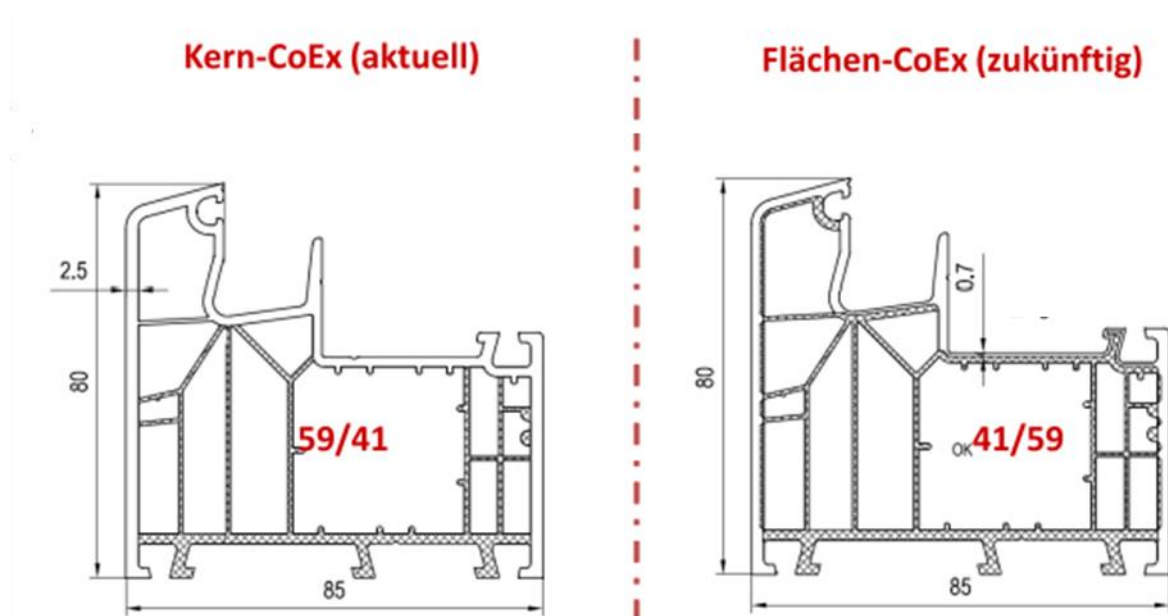


Abbildung 11: Profilkategorie Rahmen, Rezyklat bunt

Angesichts der ökologischen Vorteile bei der Verwendung von Rezyklaten war es somit Zielstellung des Vorhabens, für das Rahmenprofil den Rezyklatanteil von 41 auf zukünftig 59 Prozent zu erhöhen. Im Betrachtungszeitraum Juli 2018 bis Juni 2019 wurden dabei 3.664 Tonnen Rahmenprofile über das neue Flächencoex-Werkzeug extrudiert, welches für die angestrebte Verteilung entsprechend des vorangehend aufgezeigten Querschnitts konstruiert wurde. Verarbeitet wurden in diesem Zeitraum 1.429 Tonnen Frisch-PVC und 2.235 Tonnen Rezyklat, was einer Verteilung von 39 zu 61 Prozent entspricht. Darüber hinaus wurden als Vergleichsgröße 1.101 Tonnen mittels eines konventionellen Kerncoex-Werkzeugs extrudiert, bei welchem lediglich ein Rezyklatanteil von 43 Prozent realisiert werden konnte.

Die zentrale Zielstellung des Vorhabens, den Rezyklatanteil maßgeblich zu erhöhen, konnte somit im Rahmen der Erfolgskontrolle bestätigt werden. Wichtig ist dabei anzumerken, dass die Steigerung des Rezyklatanteils nicht zu Lasten höherer Ausschussquoten realisiert wurde, wie die erhebliche Reduzierung der Quote im Beobachtungszeitraum belegt. Die im Rahmen der Erfolgskontrolle erwiesene Steigerung des Rezyklatanteils von 43 auf 61 Prozent geht

infolgedessen mit erheblichen Umweltentlastungen und einem effizienteren Ressourceneinsatz einher.

Die nachfolgenden Abbildungen verdeutlichen diesbezüglich nochmals den Rezyklateinsatz anhand von extrudierten Rahmenprofilquerschnitten. Bei der Gegenüberstellung wird deutlich, wie durch Umsetzung des ECO.PROFILE-Verfahrens der Anteil an Primär-PVC insbesondere in den Wandbereichen deutlich reduziert werden konnte. Während bislang die äußere Kontur jeweils vollständig aus Primär-PVC hergestellt wurde, können zukünftig dünnere Oberflächen realisiert werden, sodass die innenliegenden Flächen aus Rezyklat hergestellt werden können. Um diesen Effekt bestmöglich visualisieren zu können, wurde in Abbildung 13 ein Rahmenprofil verwendet, welches aus weißem Primär-PVC und buntem Rezyklat hergestellt wurde, da hier aufgrund des Farbunterschieds die unterschiedlichen Materialien deutlich zu erkennen sind.

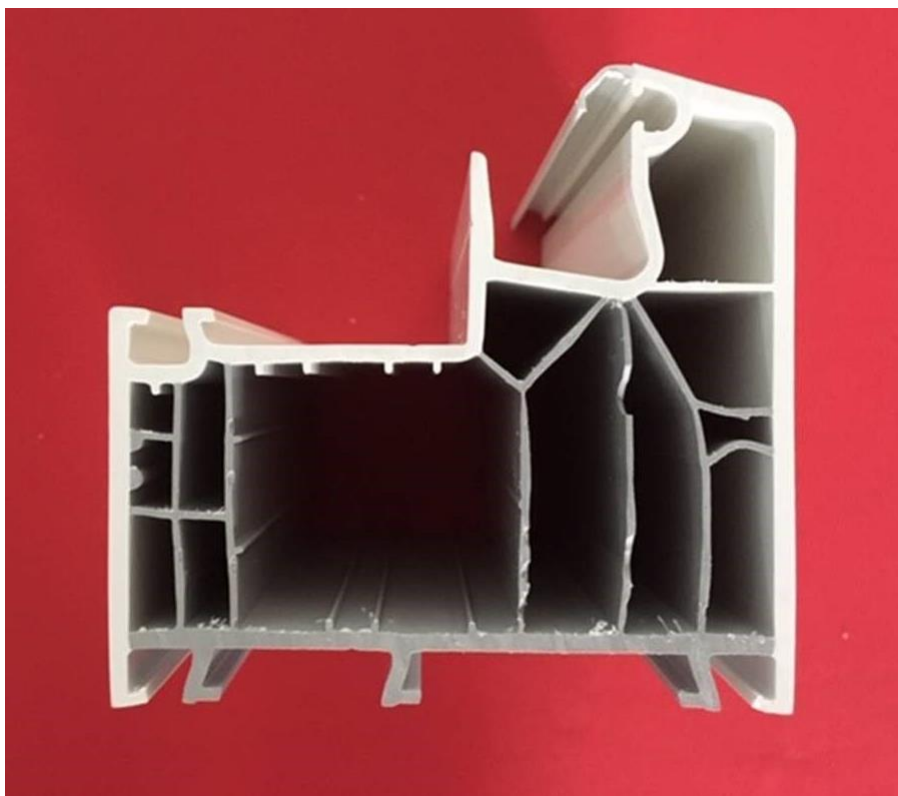


Abbildung 12: Rahmenprofil Kern-Coex buntes Rezyklat (Stand der Technik)

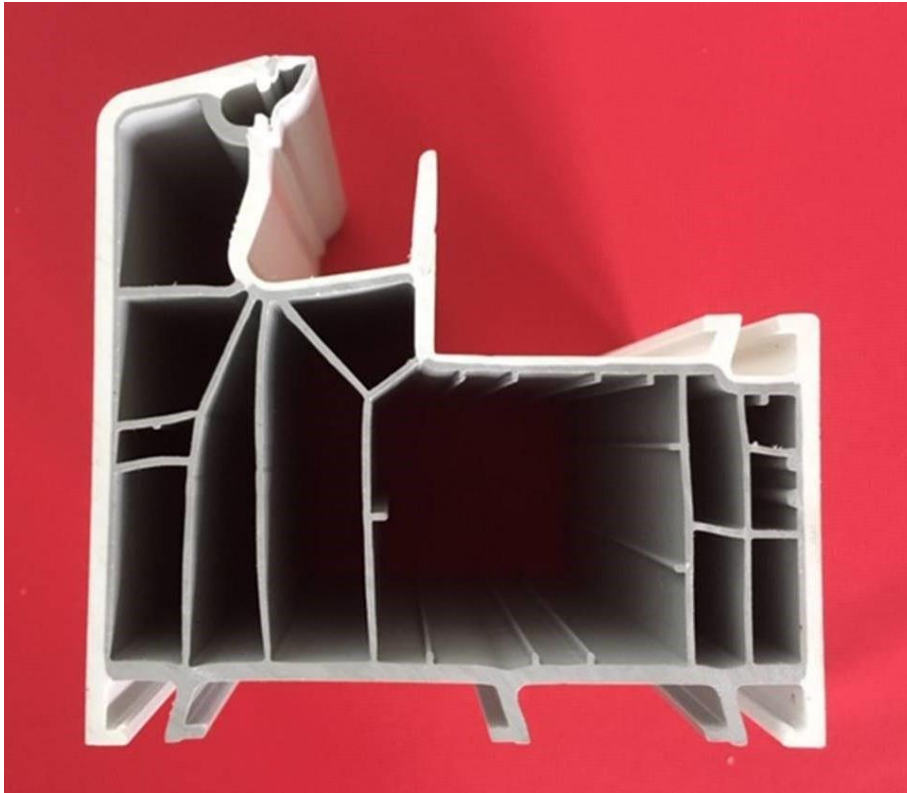


Abbildung 13: Rahmenprofil Flächen-Coex buntes Rezyklat (Investitionsvorhaben)

Aufbauend auf den gewonnenen Erkenntnissen im Rahmen der Erfolgskontrolle wurden auf Grund der hervorragenden Extrusionsergebnisse weitere Flächen-Coex-Werkzeuge beauftragt. Während bislang ausschließlich Rahmenprofile auf der ECO.PROFILE-Linie extrudiert wurden, soll das Produktportfolio auf dem neuen Anlagenkonzept kontinuierlich ausgebaut werden. Zum Zeitpunkt der Antragstellung wurden dabei die nachfolgenden Zielstellungen im Hinblick auf die Einsatzquoten von Rezyklat definiert.

Gegenüberstellung der Coex-Verteilungen für buntes Rezyklat		
	SdT in %	zukünftig in %
Flügel	31	43
Rahmen	40	58
Glasleisten	0	72
Pfosten	22	49
Verbreiterung	68	90
Sanierungsrahmen	28	43
Stulpprofile	0	70

Tabelle 3: Coex-Verteilungen für buntes Rezyklat im Vergleich

Stand heute gilt mit Blick auf die gewonnenen Erkenntnisse festzuhalten, dass die Umsetzung weiterer Profiltypen auf der ECO.PROFILE-Linie ohne größere Problemstellungen möglich sein sollte. Die Erfolgskontrolle zeigte für den Dauerläufer Rahmenprofil hervorragende Rezyklat-Einsatzquoten und bestätigte somit das neuartige Anlagenkonzept. Aktuell kann infolge der gewonnenen Erkenntnisse davon ausgegangen werden, dass der Einsatz zusätzlicher Profiltypen ohne weiteres möglich ist, sodass die in Tabelle 3 dargestellten Einsatzquoten aus heutiger Sicht erreicht werden. Die Extrusion sämtlicher Profiltypen war im Rahmen der Erfolgskontrolle aufgrund der hohen Werkzeugkosten in Verbindung mit den geringen Profilmengen nicht möglich, soll aber auf Grundlage des erfolgreich durchgeführten Serienbetriebs kontinuierlich realisiert 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 Extrusionslinie aufzeigt. Nachfolgend erfolgt dies für die Stromreduzierung, die Verringerung der Ausschussquote sowie die Steigerung des Rezyklatanteils.

Energie: Im Rahmen der Erfolgskontrolle konnte gezeigt werden, dass mit Umsetzung des Vorhabens der benötigte Energiebedarf pro extrudiertem Kilogramm PVC um 0,17 Kilowattstunden auf 0,38 Kilowattstunden reduziert werden kann. Als Grundlage zur Berechnung der hiermit einhergehenden Einsparung klimaschädlicher Treibhausgase wird dabei die realisierte Produktionsmenge im Rahmen der Erfolgskontrolle in Höhe von 3.664 Tonnen sowie das CO₂-Äquivalent für Strom in Höhe von 0,519 Kilogramm CO₂ pro Kilowattstunde herangezogen. Darauf aufbauend ergibt sich die nachfolgende Berechnung:

$$\text{CO}_2\text{-Einsparung}_{\text{Strom}} = 0,17 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}} \times 3.664.000 \text{ kg} \times 0,519 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}} = 323.275 \text{ kg CO}_2$$

Ausschuss: Zur Quantifizierung der durch die Ausschussreduzierung bedingten Umweltentlastung ist es zielführend, die Berechnung durch entsprechende Annahmen möglichst einfach darzustellen. Diesbezüglich wird zum einen eine 100 %-ige Recyclingquote der Ausschuss-PVC-Profile unterstellt und zum anderen wird die benötigte Energie zur Aufbereitung der Profile in verwertbares Granulat nicht berücksichtigt. Auf Basis dieser Annahmen ist es infolgedessen möglich, die Quantifizierung der Umweltentlastungen auf den Energiebedarf zu reduzieren, welcher entsprechend der jeweiligen Ausschussquoten zur Herstellung der Profile nötig ist, auch wenn die tatsächlichen Umweltentlastungen in der Serienproduktion deutlich höher ausfallen (Verringerung des nicht recyclingfähigen Ausschusses, Energie zur Aufbereitung des Granulats, bspw. Mahlprozesse, Frischwasserverbrauch etc.). Grundsätzlich ist dabei an dieser Stelle anzumerken, dass eine Verringerung der Ausschussquote darüber hinaus unmittelbar zu einer höheren Anlagenproduktivität führt. Im Vergleich zu einer konventionellen Anlage kann bei gleichem Materialeinsatz eine größere Menge an fehlerfrei extrudierten Profilen hergestellt werden, was mit Blick auf die wirtschaftliche Vorteilhaftigkeit des realisierten Anlagenkonzepts ein wesentlicher Vorteil ist. Aufbauend auf den im Beobachtungszeitraum ermittelten Ausschussquoten in Höhe von 7,6 bzw. 4,73 % sowie dem jeweils benötigten Energieeinsatz in Höhe von 0,55 bzw. 0,38 Kilowattstunden pro Kilogramm ergeben sich die folgenden Berechnungen zur Darstellung des ausschusspezifischen Einsparpotenzials:

$$\text{Energiebedarf Stand der Technik}_{\text{Ausschuss}} = 0,55 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}} \times 3.664.000 \text{ kg} \times 7,6 \% = 153.155 \text{ kWh}$$

$$\text{Energiebedarf ECO.PROFILE}_{\text{Ausschuss}} = 0,38 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}} \times 3.664.000 \text{ kg} \times 4,73 \% = 65.857 \text{ kWh}$$

$$\text{CO}_2\text{-Einsparung}_{\text{Ausschuss}} = (153.155 \text{ kWh} - 65.857 \text{ kWh}) \times 0,519 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}} = 45.308 \text{ kg CO}_2$$

Rezyklateinsatz: Zur Quantifizierung der Klimaentlastung durch Steigerung der möglichen Rezyklatmengen kann auf eine Studie der Firma RECARBON zurückgegriffen werden. Diese zeigte, dass jede Tonne PVC-Regranulat, welche anstelle von Primär-PVC in der Profilverstellung zum Einsatz kommt, rund 1,87 Tonnen klimarelevanter Treibhausgase in Form von CO₂-Äquivalenten vermeidet.⁶ Auf Grundlage der möglichen Steigerung des Regranulatanteils im Rahmen der Erfolgskontrolle um 18 Prozent ist nachfolgend das hiermit einhergehende Einsparpotenzial dargestellt:

$$\text{CO}_2\text{-Einsparung}_{\text{Rezyklat}} = 3.664.000 \text{ kg} \times 18 \% \times 1,87 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kg}} = 1.233.302 \text{ kg CO}_2$$

Mit Blick auf vorangehende Berechnung gilt es festzuhalten, dass die Umsetzung des ECO.PROFILE-Verfahrens sowie die hiermit einhergehende mögliche Steigerung des Rezyklatanteils einen erheblichen Beitrag zur Schließung des Wertstoffkreislaufes im Bereich PVC leistet. Des Weiteren basiert die Berechnung ausschließlich auf den Messergebnissen für das Rahmenprofil. Für andere Profiltypen sind aufgrund des bislang gering eingesetzten Regranulatanteils prozentual zum Teil höhere Optimierungspotenziale vorhanden.

Aufbauend auf den vorangehenden Berechnungen sind die wesentlichen Umweltentlastungen des ECO.PROFILE-Verfahrens 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 3.664.000 Kilogramm. Die angestrebte Reduzierung der anlagenbezogenen Lärmemissionen ist in der Tabelle nicht aufgeführt, da diese aufgrund der hohen Umgebungsgeräusche im Rahmen der Erfolgskontrolle nicht nachgewiesen werden konnte.

⁶ Vgl. Flyer der Rewindo GmbH (2015), abrufbar unter:
https://www.pvch.ch/wp-content/uploads/2014/08/Rewindo_CO2_Flyer_2015.pdf

	Konventionelle Extrusionsanlage	ECO.PROFILE-Linie	Differenzbetrachtung / Umweltentlastung
Energie			
<i>Energiebedarf pro Kilogramm</i>	0,55 kWh/kg	0,38 kWh/kg	0,17 kWh/kg
<i>Energiebedarf pro Jahr</i>	2.015.200 kWh/a	1.392.320 kWh/a	622.880 kWh/a
<i>Entsprechendes CO₂-Äquivalent</i>	1.045.889 kg CO ₂ /a	722.641 kg CO ₂ /a	323.275 kg CO₂/a
Ausschuss			
<i>Ausschussquote</i>	7,6 %	4,73 %	2,87 %
<i>Ausschussmenge pro Jahr</i>	278.464 kg/a	173.307 kg/a	105.157 kg/a
<i>Energiebedarf Ausschuss</i>	153.155 kWh/a	65.857 kWh/a	87.298 kWh/a
<i>Entsprechendes CO₂-Äquivalent</i>	79.488 kg CO ₂ /a	34.180 kg CO ₂ /a	45.308 kg CO₂/a
Rezyklat			
<i>Rezyklateinsatz i.d. Erfolgskontrolle</i>	43 %	61 %	18 %
<i>Rezyklateinsatz pro Jahr</i>	1.575.520 kg/a	2.235.040 kg/a	659.520 kg/a
<i>Entsprechendes CO₂-Äquivalent</i>			1.233.302 kg CO₂/a
Wasser			
<i>Wasserbedarf pro Jahr</i>	144 m ³ /a	9 m ³ /a	135 m³/a
Biozid			
<i>Biozidbedarf pro Jahr</i>	359 kg/a	0 kg/a	359 kg/a

Tabelle 4: Umweltbilanz ECO.PROFILE-Linie gegenüber einer Extrusionslinie des Stands der Technik

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 ECO.Profile-Verfahren eine optimale Kombination aus Ressourceneinsparung, Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit. Die entscheidenden Kosteneinsparungen basieren diesbezüglich insbesondere auf der Verwendung von Rezyklaten sowie der Reduzierung der Ausschussquoten. Des Weiteren ermöglicht die verbesserte Ausschussquote wirtschaftliche Einsparungen hinsichtlich des benötigten Ressourceneinsatzes in Form von Strom, Wasser und Bioziden. 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	90.318	bei 0,145 €/kWh
Strom durch Ausschussreduzierung	12.658	bei 0,145 €/kWh
Ausschuss	58.888	bei 0,56 €/kg (Rückführung und Aufbereitung des Ausschusses)
Rezyklatsteigerung	246.660	bei 0,2 €/kg Einsparung
Jährliches Einsparpotenzial	408.524	€/a

Tabelle 5: 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 ECO.PROFILE-Verfahrens betrug dabei 1.597.487 EUR, wobei aluplast ein Zuschuss aus dem Umweltinnovationsprogramm in Höhe von 479.246 EUR gewährt wurde. Die Investitionskosten setzten sich dabei aus den zwei zentralen Bestandteilen Extruderkombination und Extrusionslinie (Werkzeug, Kalibrierung,

Abzug etc.) zusammen. Aufbauend auf der Investitionshöhe sowie den zukünftig ermöglichten Ressourceneinsparungen ist in der folgenden Tabelle die Berechnung der Amortisationszeit dargestellt.

Amortisationsrechnung	
Investitionskosten	1.597.487 EUR
- Zuwendung aus dem UIP	479.246 EUR
Tatsächliche Investitionskosten	1.118.241 EUR
÷ Einsparpotenzial auf Basis der Ressourceneinsparungen	408.524 EUR
Amortisationszeit	2,74 Jahre

Tabelle 6: Amortisationszeit auf Basis der dargestellten Ressourceneinsparungen

Ohne eine entsprechende Zuwendung aus dem UIP würde die Amortisationszeit nahezu 4 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

In Abbildung 14 sind die entsprechenden Anlagenkomponenten einer Extrusionslinie schematisch dargestellt. Darauf aufbauend erfolgt nachfolgend die Darstellung der prozess- und anlagenseitigen Innovationen im Vergleich zum Stand der Technik.

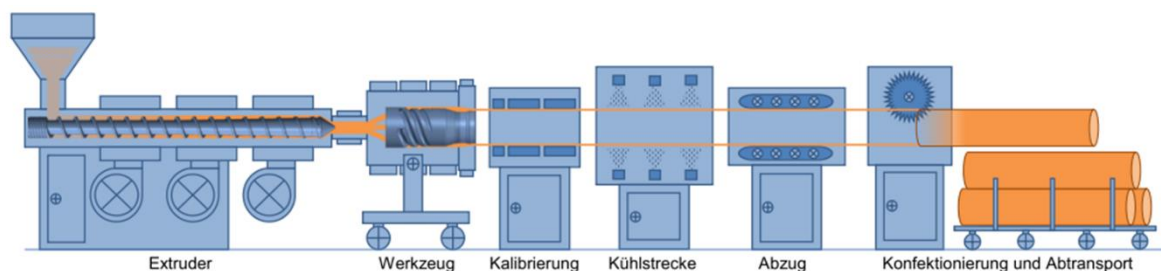


Abbildung 14: Prinzip einer Extrusionslinie

Im Bereich des Extruders wurde eine Neuentwicklung in Kooperation mit dem Lieferanten realisiert, um den erheblichen Anforderungen mit Blick auf die hohen Regranulatanteile zu

erfüllen. Aufgrund der erhöhten Durchsatzmenge an Rezyklat musste dieser größer und hinsichtlich der Schnecken geometrie und -dimensionierung neu ausgelegt werden. Des Weiteren war für die Prozessstabilität und -sicherheit von entscheidender Bedeutung, dass der Extruder exakt auf die nachfolgenden Prozesse abgestimmt wurde. Infolgedessen wurde die Anlage zunächst im Hause Greiner aufgebaut und getestet sowie anschließend nach der erfolgten Auslieferung im Rahmen einer umfangreichen Inbetriebnahme eingefahren und optimiert. Aufgrund der Zielsetzung eines hohen Rezyklatanteils und der somit benötigten hohen Prozessstabilität, war diese präzise Abstimmung der Komponenten beim Lieferanten als auch im Hause aluplast notwendig.

In der nachfolgenden Anlagenkomponente, dem Extrusionswerkzeug, besteht beim Stand der Technik eine entscheidende Problemstellung hinsichtlich der regelmäßig anfallenden Werkzeugwechsel. Bei herkömmlichen Anlagenkonzepten bedingt das manuelle Anschließen der zahlreichen Verbindungen und Schläuche sowie die damit einhergehende Komplexität des Vorgangs eine hohe Fehleranfälligkeit, welche wiederum unmittelbar hohe Ausschussquoten nach sich zieht. Dabei wird bei Werkzeugwechseln der Fertigungsprozess zunächst gestoppt, um daraufhin die einzelnen Kaliber bzw. Werkzeuge auszutauschen. Das bedeutet ein manuelles Abstecken, Abbauen, Montieren und Anschließen der einzelnen Kaliber während die gesamte Anlage steht. Aufgrund der Komplexität des Werkzeugwechsels beträgt die Umbauzeit ca. zwei Stunden, was aufgrund des Energiebedarfs im Stand-by-Betrieb zulasten der Energieeffizienz geht und die Maschinenverfügbarkeit erheblich reduziert. Aufgrund dieser Problemstellung sowie der daraus resultierenden Ressourcenineffizienz wird im ECO.PROFILE-Verfahren ein innovatives Palettensystem eingesetzt. Im Gegensatz zum Stand der Technik kann dabei das gesamte Trockenkaliber in einem Prozessschritt getauscht und auf der Anlage montiert werden, ohne dass jedes Element einzeln gewechselt und angeschlossen werden muss. Dabei kommen für den Werkzeugwechsel zwei Adapterplatten zur Werkzeugaufhängung und -sicherung zum Einsatz, in welchen die Verteilung des Kühlwassers und des Vakuums erfolgt (eine Adapterplatte unterhalb des Extrusionswerkzeuges und eine Grundplatte in der Anlage). Die komplette Werkzeugpalette kann dabei mittels Kran auf der Extrusionsnachfolge fixiert werden. Durch diese technische Neuerung entfällt das aufwendige manuelle Anschließen mittels Schlauchverbindungen auf der Extrusionsanlage, sodass der gesamte Werkzeugwechsel in ca. 3 Minuten realisiert werden kann. Die Komplexität des Umrüstvorgangs und somit insbesondere die Fehleranfälligkeit mit Blick auf die Vielzahl der

Medienanschlüsse beim Stand der Technik wird durch die ECO.PROFILE maßgeblich reduziert. In der nachfolgenden Abbildung sind diesbezüglich die beiden Adapterplatten dargestellt.

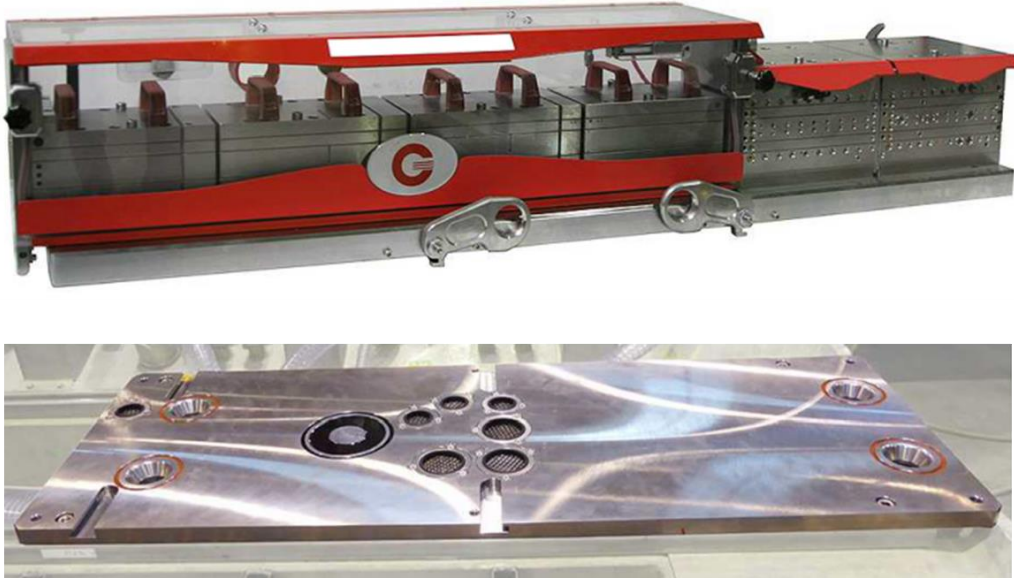


Abbildung 15: Werkzeug-Palette und Grundplatte

Wie vorangehend bereits skizziert, tritt das Kunststoffprofil beim Stand der Technik zwar in der gewünschten Form aus dem Werkzeug aus, ist dabei aber noch weich und forminstabil. Infolgedessen wird das Extrudat im Rahmen der Kalibrierung in Form gehalten bzw. in seiner Form verbessert. Hierzu wird eine Vakuumtechnik eingesetzt, wobei das Profil an die Innenkontur der Kalibrierung gezogen und gekühlt wird. In der folgenden Abbildung ist das Funktionsschema der Kunststoffprofilkalibrierung dargestellt.

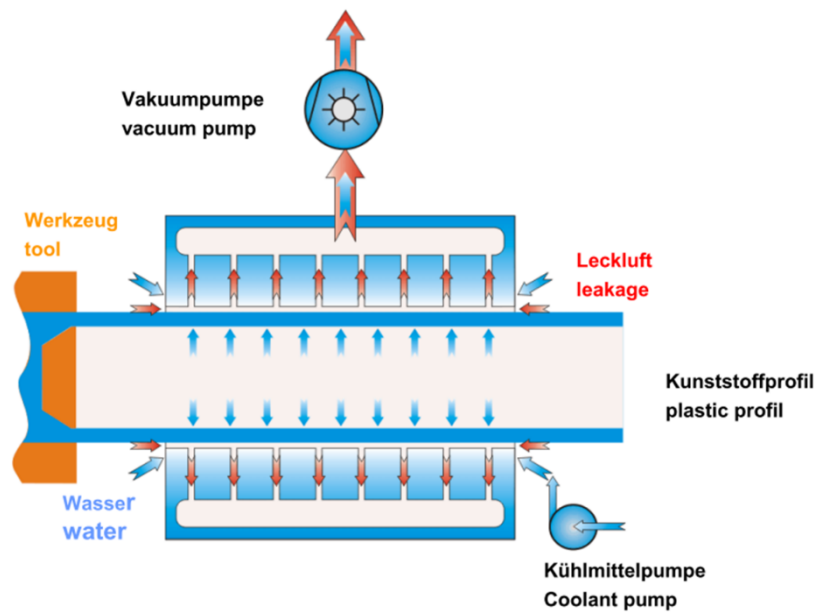


Abbildung 16: Funktionsschema Kunststoffprofilkalibrierung

Die zwei zentralen Problemstellungen beim Stand der Technik sind zum einen die Regelung der Vakuulleistung und zum anderen die Trennung des abgesaugten Wasser-Luft-Gemisches. Dabei wird die Vakuulleistung bei den bisherigen Anlagenkonzepten über Falsch- bzw. Zusatzluft geregelt. Das heißt, dass die Pumpen je Druckniveau fest installiert werden, wobei die Vakuulleistung auf den größten benötigten Bedarf an dieser Stelle ausgelegt wird, was wiederum eine maßgebliche Energieverschwendung bedingt. Die Regelung des entsprechenden Vakuums erfolgt im Herstellungsprozess dann über die Zuführung von Falschlufft. In Bezug auf das abgesaugte Wasser-Luft-Gemisch werden beim Stand der Technik entweder leistungsstärkere Pumpen eingesetzt, welche die Austragung der entsprechende Wassermenge zusammen mit der Luft ermöglichen, oder aber es erfolgt eine vorgelagerte Wasser-Luft-Trennung mittels Zyklontank. Benötigt werden hierbei zwei bis drei Zyklontanks je Linie, wobei je Tank eine Wasserpumpe und ein Seitenkanalverdichter installiert werden. Die beim Stand der Technik verwendeten Lösungsansätze eröffnen insbesondere im Bereich der Ressourcen- und Energieeffizienz sowie der Prozesssicherheit des Systems erhebliche Verbesserungsmöglichkeiten. Beispielhaft zu nennen wäre diesbezüglich die Störungsanfälligkeit des Seitenkanalverdichters, wenn Wasser in den Vakuumkreislauf gerät. Im Zuge der Realisierung von ECO.PROFILE wurde aufbauend auf den skizzierten Problemstellungen ein neuartiges System zur Wasser-Luft-Trennung für Vakuumtanks eingesetzt. In der nachfolgenden

Abbildung ist das angestrebte Grundkonzept dargestellt, welches im Rahmen des Investitionsvorhabens erstmalig eingesetzt wurde.

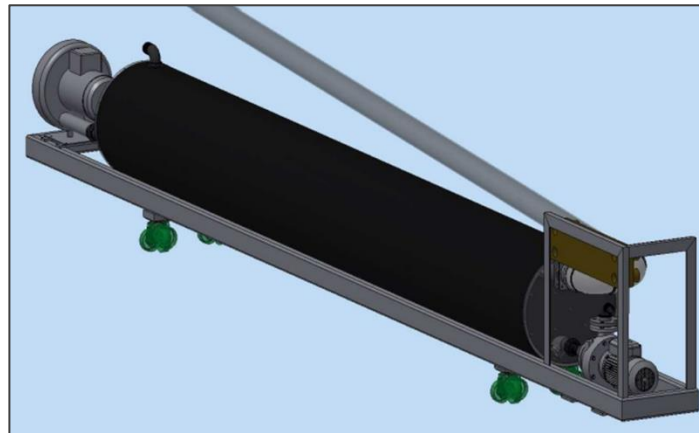


Abbildung 17: Wasser-Luft-Trennung über Multischlauch und Gefälle

Grundsätzlich erfolgt die Wasser-Luft-Trennung im innovativen ECO.PROFILE-Verfahren nicht mehr über entsprechende Zyklontanks, sondern mittels Multischlauch und Gefälle (Eliminierung einer möglichen Siphon-Wirkung) unter Verwendung einer Wasserpumpe und einem Seitenkanalverdichter. Der Lösungsansatz greift auf das Prinzip zurück, dass das Wasser aufgrund des Gefälles nach unten abfließt und die Luft im System aufsteigt. Im Vergleich zum Stand der Technik kann diesbezüglich die Anzahl der eingesetzten Aggregate reduziert und somit der Energiebedarf verringert werden. Da im Rahmen der Umsetzung des Investitionsvorhabens ein geschlossener Wasserkreislauf realisiert wurde (siehe nachfolgende Beschreibung), greift das neuartige Lösungskonzept auf den an der Linie vorhandenen Wassertank für die Rückführung des Wassers zurück. Dabei ist von entscheidender Bedeutung, dass auf Grundlage der konsequenten Wasser-Luft-Trennung vor den Vakuumpumpen eine frequenzgeregelte Steuerung des Saugvermögens bzw. des Vakuumdrucks ermöglicht wird. Infolgedessen kann ein konstantes und auf die tatsächlichen Anforderungen abgestimmtes Vakuum sichergestellt werden, was mit Blick auf die angestrebte Prozessstabilität von entscheidender Bedeutung ist. Die Regelung der Pumpen erfolgt über die Speicherprogrammierbare Steuerung der Anlage. Da demzufolge die Saugleistung nicht mehr auf den höchsten Bedarf ausgerichtet und anschließend mit Falschlucht an die Prozessbedingungen angepasst werden muss, können kleinere und effizientere Vakuumpumpen eingesetzt werden, was eine maßgebliche Energieeinsparung ermöglicht. Durch die anforderungsbezogene Steuerung der

Pumpen kann entsprechend der Herstellerangaben darüber hinaus in Kombination mit einem integrierten Schalldämpfer der Geräuschpegel an der Anlage reduziert werden.

Eine weitere entscheidende Innovation wurde im Bereich der Wasserversorgung der Extrusionslinie realisiert. Prozesswasser fällt im Rahmen der Kühlung als auch bei der vorangehend beschriebenen Luft-Wasser-Trennung an, wobei beim Stand der Technik die Kühlung und Aufbereitung zentralisiert erfolgt. Dabei sind die einzelnen Linien über einen Kreislauf mit zentraler Wasserversorgung verbunden, welche über das Hauswassersystem gespeist wird. Die entscheidenden Problemstellungen sind dabei zum einen der hohe Prozess- und Frischwasserbedarf und zum anderen die Verschleppung von Verschmutzungen in der gesamten Produktion. Das heißt, dass in das System eingebrachte Verschmutzungen sowie die daraus resultierenden Profilbeschädigungen auf andere Extrusionslinien übertragen werden. Das ECO.PROFILE-Verfahren greift diese Problemstellungen auf und realisiert einen geschlossenen und separaten Wasserkreislauf je Extrusionslinie. Infolgedessen kann zum einen die Verschleppung von Verschmutzungen zwischen den Linien eliminiert und somit der qualitätsbedingte Ausschuss reduziert werden, zum anderen gelingt es, die im Gesamtsystem vorhandene und somit mit PVC in Kontakt gekommene Wassermenge zu verringern (weniger Puffervorhaltung und kürzere Leitungssysteme). Im Rahmen des Serienbetriebs hat sich dabei gezeigt, dass das Prozesswasser der ECO.PROFILE-Linie lediglich einmalig nach einem Produktionslauf von bis zu 60 Tagen vollständig ausgetauscht werden muss.

Grundsätzlich wird im Bereich der Kühlstrecke eine Temperierung des Kühlwassers benötigt, um die vom Extrudat abgegebene Wärme abzuführen. Beim Stand der Technik wird dies über die Zuführung von Frischwasser sichergestellt. Angesichts der angestrebten Ressourcenschonung werden im ECO.PROFILE-Verfahren hingegen Wärmetauscher eingesetzt, welche die Temperierung des Kühlwassers realisieren. Infolgedessen kann die Frischwasserzufuhr vollständig eingespart werden. In den folgenden Abbildungen ist der ursprüngliche Aufbau der Anlagentechnik im Technikum der Firma Greiner dargestellt.



Abbildung 18: Testaufbau Wasserkreislauf und Wassertank

Die Realisierung eines geschlossenen Wasserkreislaufes ohne die benötigte Zuführung von Frischwasser ermöglicht darüber hinaus, dass auf Biozide im Kühlwasser zukünftig vollständig verzichtet werden kann. Diese werden bei konventionellen Anlagen eingesetzt, um eine hohe Wasserqualität trotz der eingebrachten Verschmutzungen, Partikel etc. sicherzustellen. Darüber hinaus wird durch die stark verringerten Abwassermengen eine Entlastung der Kläranlagen erzielt.

Im Bereich des Abzugs wird beim Stand der Technik für Fensterprofile auf das Prinzip des Raupenabzugs zurückgegriffen, welcher das Profil kontinuierlich durch die Kalibrierung und Kühlstrecke zieht. Entscheidende Zielstellung des Vorhabens ist es, die sichtbare Oberfläche des Profils aus Frischmaterial (PVC Dryblend) zu reduzieren und den Anteil an Regranulat im Profilkern zu erhöhen. Die angestrebte Schichtdickenreduzierung der sichtbaren PVC-Oberfläche erfordert dabei jedoch eine Verringerung des Anpressdruckes im Abzug, um die durch Druck verursachte Belastung an der Profiloberfläche möglichst zu minimieren. Um den mit der Rezyklatsteigerung einhergehenden Anforderungen gerecht zu werden, wurde im Rahmen der Realisierung des ECO.PROFILE-Verfahrens erstmals auf einen innovativen Bandabzug zurückgegriffen. Im Gegensatz zum herkömmlichen Raupenabzug, welcher unter anderem Oberflächenbeschädigungen in Form von Stollenabdrücken bedingt, kann dabei der Anpressdruck als begrenzender Faktor hinsichtlich der Profilwanddickenstärke reduziert werden.

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 im Extrusionsprozess erheblich reduziert sowie der mögliche Regranulatanteil maßgeblich gesteigert 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.

Zusätzlich zu den vorangehend aufgezeigten ökologischen Vorteilen hat die zwölfmonatige Erfolgskontrolle mit Blick auf den geschlossenen Wasserkreislauf gezeigt, dass ohne Zuführung von Frischwasser ein stabiler Produktionsprozess von bis zu 60 Tagen erzielt werden kann. Nach einem solchen Produktionsprozess wird die Anlage gestoppt, das Prozesswasser ausgetauscht sowie Wartungsarbeiten durchgeführt. Konventionelle Anlagentechniken erreichen aktuell lediglich Produktionszyklen von ca. 14 Tagen. Infolgedessen konnte der Wasserbedarf nicht nur substantiell verringert sowie der Biozideinsatz vermieden, sondern darüber hinaus die Produktivität des realisierten Anlagenkonzepts im Vergleich erheblich verbessert werden. Mit Blick auf die Produktivität ist an dieser Stelle noch die erfolgreiche Realisierung des Palettensystems zu nennen, was eine erhebliche Reduzierung der Rüstzeiten ermöglicht. Infolgedessen kann zusätzlich zur dargestellten Ausschussreduzierung flexibel auf kleinere Stückzahlen und Kundenwünsche reagiert werden.

Wie in der dargestellten Umweltbilanz im Vergleich zu einer konventionellen Anlagentechnik ersichtlich ist, konnte der Regranulatanteil für das Rahmenprofil erheblich gesteigert werden. Da der realisierte Extrusionsprozess im Dauerbetrieb keine anderweitigen Rückschlüsse zulässt, ist aktuell davon auszugehen, dass der Rezyklatanteil auch auf weitere Produktgruppen übertragen werden kann. Angesichts des erfolgreich durchgeführten Dauerbetriebs wurden infolgedessen bereits drei weitere Flächencoex-Werkzeuge budgetiert, um zukünftig weitere Profiltypen mit hohem Rezyklatanteil fertigen zu können. Hinsichtlich der Verfügbarkeit des Input-Materials ist dabei aktuell von keinen Engpässen auszugehen. Das

Bestreben der Industrie, PVC aufzubereiten und den Werkstoffkreislauf möglichst zu schließen, sorgt in Kombination mit einer zunehmenden Verfügbarkeit von beispielsweise alten Fenster- oder Türelementen für ein ausreichendes Angebot des Ausgangsmaterials. Mit Blick auf die angestrebte kontinuierliche Steigerung der Regranulatanteile ist somit angebotsseitig von keinen Restriktionen auszugehen.

Aufbauend auf den Ergebnissen der im Rahmen der Erfolgskontrolle durchgeführten Profilextrusion im Serienbetrieb wurde ein Regranulatanteil von 61 Prozent erreicht. Die hierbei extrudierten und im Markt platzierten Rahmenprofile lassen bereits erste Rückschlüsse auf die marktseitigen Reaktionen zu. Stand heute gilt es diesbezüglich festzuhalten, dass der erhöhte Rezyklatanteil in den Hauptmärkten akzeptiert wird, ohne dass dabei Bedenken bezüglich der Profilqualität geäußert wurden (dünnere Primär-PVC-Oberflächen). Vor dem Hintergrund der zunehmenden Umweltschutzbemühungen der Branche half die Umsetzung des ECO.PROFILE-Verfahrens darüber hinaus sogar, die Akzeptanz in Märkten zu steigern, die bislang von hohen Regranulatanteilen abgeneigt waren. Mit Umsetzung des Vorhabens konnte aluplast dabei nicht nur seine Stellung als Innovationsführer weiter stärken, sondern des Weiteren die kunden- und marktseitige Wahrnehmung unter ökologischen Gesichtspunkten weiter verbessern.

Aufbauend auf den vorangehend skizzierten Erfahrungen wurden mittlerweile bereits drei weitere Flächencoex-Werkzeuge budgetiert, um zukünftig zusätzliche Profiltypen mit erhöhtem Rezyklatanteil herstellen zu können. Des Weiteren ist aktuell in Planung, aufgrund der erfolgreichen Investitionsumsetzung die Extrusionslinien am Produktionsstandort sukzessive auf das ECO.PROFILE-Verfahren umzustellen. Dabei dient das Investitionsvorhaben zum einen bei Neuanschaffungen als Benchmark, wobei zum anderen bei Anlagenumrüstungen oder -umbauten Bestandteile des ECO.PROFILE-Verfahrens implementiert werden sollen. Dies betrifft unter anderem die Realisierung dezentraler geschlossener Wasserkreisläufe, um die hiermit einhergehenden Umweltentlastungen auf weitere Anlagentypen übertragen zu können.

4.2 Modellcharakter und Übertragbarkeit

Mit der erstmaligen Realisierung des ECO.PROFILE-Verfahrens konnte aluplast demonstrieren, wie durch maßgebende Prozess- und Anlageninnovationen Nachhaltigkeit in der Profilextrusion 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 in der nachfolgenden Übersicht zusammengefasst dargestellt sind.

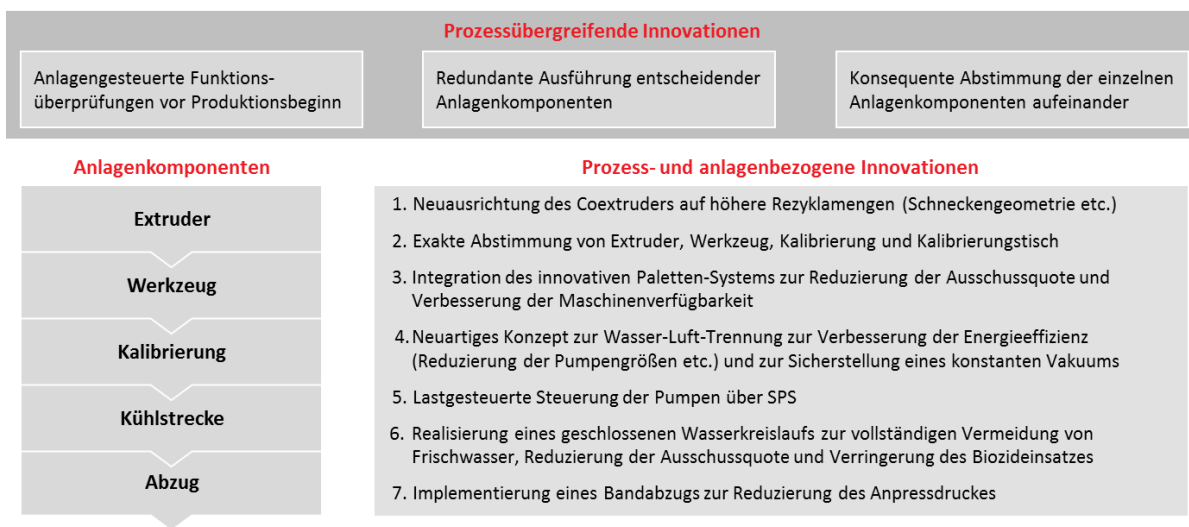


Abbildung 19: Realisierte Innovationen im ECO.PROFILE-Verfahren

Die Realisierung der unterschiedlichen Innovationen im ECO.PROFILE-Verfahren zeigen angesichts der enormen Umweltentlastungen das zuvor bestehende große Verbesserungspotenzial in der Extrusionstechnik auf. Dabei ist das neuartige Verfahren mit Blick auf die zukünftig zunehmenden Recyclingströme im Bereich der Altfenster und Türen, die mittlerweile ihre Lebensdauer erreicht haben, optimal ausgelegt, um das vorhandene Umweltentlastungspotenzial in Form des Regranulateinsatzes auszuschöpfen. Charakteristisch für das ECO.PROFILE-Verfahren und von entscheidender Bedeutung für den wirtschaftlichen Einsatz zuvor unerreichter Rezyklatanteile ist die hohe Prozessstabilität, welche sich zusätzlich in einer wesentlich verringerten Ausschussquote und verbesserten Maschinenverfügbarkeit widerspiegelt.

Die kunststoffverarbeitende Industrie verzeichnet in Deutschland seit Jahren ein enormes und konstantes Wachstum. Die Übertragbarkeit der Technik sowie die hieraus abgeleiteten Multiplikatoreffekte können mit Hilfe der nachfolgenden Abbildung über die Entwicklung der kunststoffverarbeitenden Industrie seit 2002 näher beleuchtet werden. Um das substanzielle Wachstum nachhaltig zu gestalten, kommt der Rezyklatverwendung eine entscheidende Bedeutung zu. Die langfristige Schließung des Werkstoffkreislaufes durch Verwendung von Regranulaten reduziert dabei die Verwendung von Primärrohstoffen und ermöglicht aufgrund der wirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit eine breite Multiplikatorwirkung.

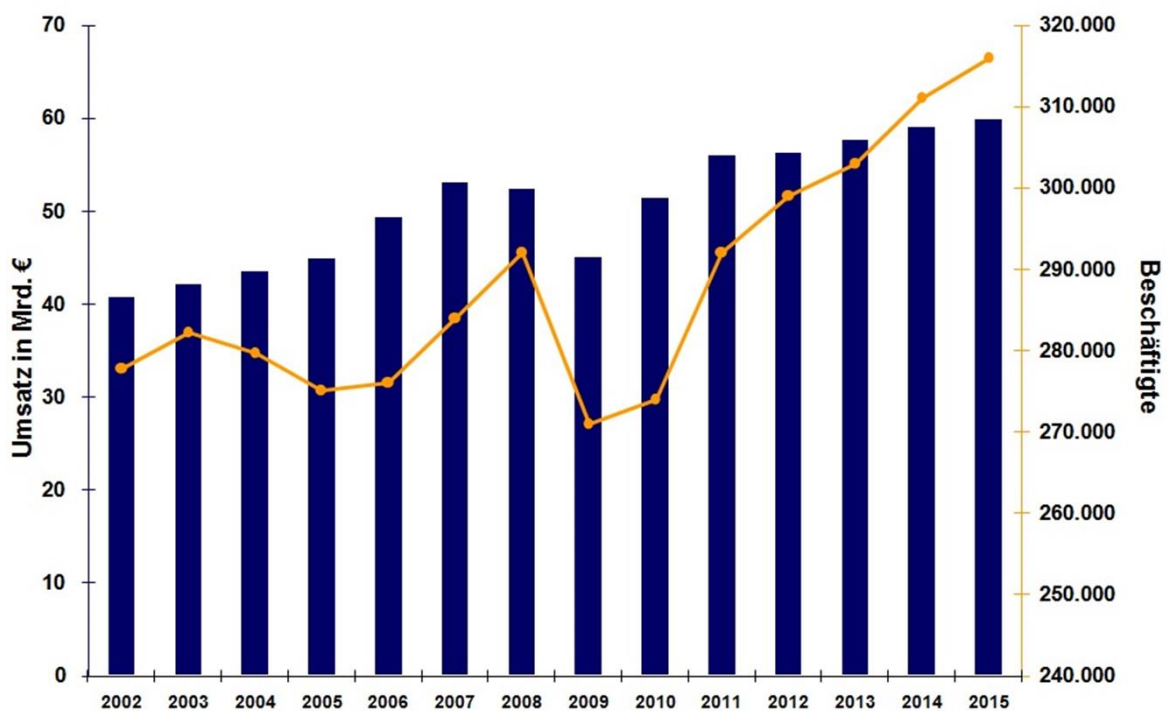


Abbildung 20: Umsatz und Beschäftigung der kunststoffverarbeitenden Industrie⁷

Die Übertragbarkeit der Technik sowie die enormen Multiplikatorwirkungen werden insbesondere bei Betrachtung der verarbeitenden Kunststoffmengen deutlich. Dabei gehört der für die Fensterprofilextrusion entscheidende Kunststoff PVC zu den wichtigsten Kunststoffen weltweit. Die PVC-verarbeitende Industrie in Deutschland ist insbesondere mittelständisch geprägt und ausgesprochen leistungsfähig. Zahlreiche dieser PVC-Verarbeiter führen mit ihren Produkten den Weltmarkt an, wobei Fensterprofile mengenmäßig besonders relevant

⁷ Quelle: Gesamtverband Kunststoffverarbeitende Industrie e.V. (2016).

sind. Betrachtet man diesbezüglich den deutschen Markt genauer, ist insbesondere das Baugewerbe für PVC als Einsatzfeld von entscheidender Bedeutung. In der folgenden Abbildung werden unterschiedliche Kunststoffarten und ihre Einsatzfelder gegenübergestellt.

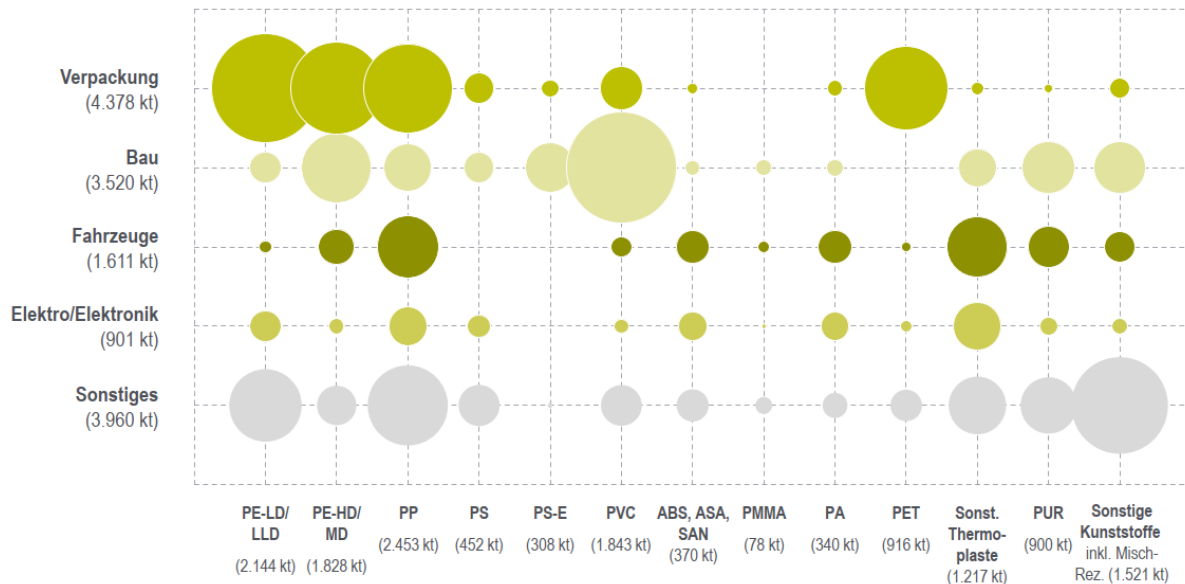


Abbildung 21: Kunststoffe und ihre Einsatzfelder 2017 (Angaben in Kilotonnen)⁸

Die vorangehende Abbildung zeigt, dass die verarbeitete Menge an PVC im Jahr 2017 über 1,8 Millionen Tonnen betrug. Dabei wird deutlich, welche mengenmäßige Relevanz mit dem realisierten Investitionsprojekt einhergeht. Insbesondere vor dem Hintergrund konstant wachsender Nachfragemengen in Höhe von 5 % jährlich zwischen 2009 und 2015,⁹ ist die Implementierung nachhaltiger Produktionsprozesse in der Branche essenziell. Mit der Umsetzung des ECO-PROFILE-Verfahrens zeigte aluplast unterschiedliche Ansätze auf, wie Extrusionsprozesse nachhaltig gestaltet werden können. Mit Blick auf die Steigerung des Rezyklatanteils ist zu betonen, dass dies insbesondere durch das Zusammenspiel der einzelnen Innovationen sowie die dabei erzielte Prozessstabilität ermöglicht wurde.

Aufgrund der erreichten Ergebnisse mit dem ECO.PROFILE-Verfahren sollen bei aluplast zukünftig die bestehenden Anlagen sukzessive umgestellt bzw. umgerüstet werden. Als einer der weltweiten Marktführer im Bereich der Profilextrusion und der demzufolge verarbeiteten

⁸ Quelle: Conversio Market & Strategy GmbH (2018): Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2017.

⁹ Quelle: PVCplus Kommunikations GmbH: Alles über PVC.

PVC-Mengen, kann aluplast selbst als großer Multiplikator gesehen werden, wobei zukünftig sowohl Neuanlagen auf Basis des ECO.PROFILE-Verfahrens ausgelegt als auch bestehende Anlagen sukzessive umgerüstet werden sollen. Allein an den Produktionsstandorten in Karlsruhe und Ettlingen betreibt aluplast 33 bzw. 26 Extrusionslinien. Weltweit verfügt aluplast über insgesamt ca. 100 Extrusionslinien. Eine entsprechende Multiplikatorwirkung wird somit bereits durch die bereits vorhandenen Eigenanlagen von aluplast erreicht, wobei darüber hinaus aufgrund der Einsatzmengen von PVC sowie durch das bestehende Netzwerk, beispielsweise die Rewindo-Initiative, zusätzliche Ansätze zur Adaption der realisierten Anlagentechnik gegeben sind.

5. Zusammenfassung/Summary

Das Recycling von Kunststoffabfällen und der Einsatz von Kunststoffrezyklaten in Neuprodukten schonen Primärstoffe und sparen gegenüber der Produktion aus Rohöl Energie und CO₂-Emissionen ein. Im Bereich der Kunststoffextrusion von Fenster-, Tür- und Rollladenprofilen wird insbesondere hochwertiges Polyvinylchlorid eingesetzt, welches sich durch eine hervorragende Recyclingfähigkeit auszeichnet. Darauf aufbauend konnte aluplast im Rahmen des Investitionsvorhabens zur erstmaligen Umsetzung des ECO.PROFILE-Verfahrens aufzeigen, dass Umweltschutz und Nachhaltigkeit durch innovative Anlagen- und Lösungskonzepte bei gleichzeitiger Wirtschaftlichkeit realisiert werden können. Als zentrale Zielstellung des Vorhabens galt es dabei, im Vergleich zum aktuellen Stand der Technik zum einen die möglichen Rezyklatanteile maßgeblich zu erhöhen sowie zum anderen den Ressourceneinsatz im Produktionsprozess substantiell zu reduzieren.

Nach der erfolgreichen Durchführung der Erfolgskontrolle gilt es diesbezüglich festzuhalten, dass mit Umsetzung des ECO.Profile-Verfahrens der Energiebedarf pro extrudiertem Kilogramm PVC im Vergleich zu einer konventionellen Anlage um über 30 Prozent reduziert werden konnte. Darüber hinaus konnten mit Realisierung eines geschlossenen Wasserkreislaufes Produktionszyklen von bis zu 60 Tagen erreicht werden, wobei auf eine Frischwasserzufuhr sowie auf einen Biozideinsatz vollständig verzichtet werden konnte. Mit Blick auf die angestrebte Steigerung der Rezyklatanteile zeigte sich darüber hinaus, dass mit Umsetzung des ECO.PROFILE-Verfahrens im Serienbetrieb der Anteil um 18 Prozent bei Rahmenprofilen gesteigert werden konnte. Bei der im Rahmen der Erfolgskontrolle realisierten Produktionsmenge von 3.664 Tonnen entspricht dies einem zusätzlichen Regranulateinsatz von 660 Tonnen.

Auf Basis der durchgeführten Messdatenerhebung wird deutlich, welche substantiellen Umweltentlastungen mit der erstmaligen großtechnischen Realisierung des ECO.PROFILE-Verfahrens verbunden sind. Dabei konnte das angestrebte Anlagenkonzept sowie die realisierten Innovationen vollumfänglich bestätigt werden, sodass unter ökologischen Gesichtspunkten ein neuer Branchenbenchmark in der Profilextrusion etabliert werden konnte.

Compared to the use of fresh granulates made out of crude oil, the recycling of plastic waste and the use of plastic recyclates in new products conserves primary materials and saves energy and CO₂ emissions. In the field of plastic extrusions of window, door and shutter profiles, particularly high-quality polyvinylchloride is used, which is characterized by excellent recyclability. In the course of the investment project, aluplast was able to show with the first implementation of the ECO.PROFILE process, that environmental protection and sustainability are possible while at the same time achieving economic efficiency by implementing innovative machinery and solutions. In comparison to the current state of the art, the main objective of the project was, on the one hand, to increase the proportion of recycled material in PVC profiles and, on the other hand, to substantially reduce the use of resources in the production process.

After the successful completion of the success monitoring, it must be acknowledged that through the implementation of the ECO.PROFILE process, the energy requirement per extruded kilogram PVC could be reduced by 30 percent in comparison to a conventional system. Furthermore, with the conception of a closed water circulation, a production cycle of up to 60 days could be reached completely without a fresh water supply and the usage of biocides. With consideration of the desired increase of the use of recyclates, implementing the ECO.PROFILE process in serial production increases the proportion of recycled material in frame profiles by 18 percent. With the production capacity of 3,664 tons reached during the success monitoring this corresponds to an additional usage of 660 tons of regrgranulates.

On the basis of the acquisition of measurement data, it becomes clear that a substantial environmental relief can be attributed to the first industrial implementation of the ECO.PROFILE process. Thereby the desired system concept as well as the implemented innovations could be fully approved so that, under environmental considerations, a new industry benchmark for the extrusion of profiles could be established.