

## flex4loop

Realisierung eines qualitätsoptimierten Kreislaufes für PO Folien aus der mengengesteigerten Leichtfraktionssammlung

<b>Programm / Ausschreibung</b>	IWI 24/26, IWI 24/26, Basisprogramm Ausschreibung 2024	<b>Status</b>	abgeschlossen
<b>Projektstart</b>	01.06.2024	<b>Projektende</b>	31.03.2025
<b>Zeitraum</b>	2024 - 2025	<b>Projektlaufzeit</b>	10 Monate
<b>Keywords</b>			

### Projektbeschreibung

In diesem Projekt wird das Potential der Kreislaufschließung bei kleinteiligen Folien erforscht und die für die Umsetzung relevanten Entwicklungsschritte in die Praxis übergeleitet. Nur durch einen kreislaufübergreifenden Entwicklungsansatz und die erforderliche Einbindung der Akteure können die ambitionierten europäischen Recyclingziele von 50% (2025) bzw. 55% (2030) erreicht werden.

In dem Projekt werden technisch praktikable und produkt-, und kreislaufseitig verifizierte Verpackungen entwickelt, die tatsächlich gesammelt, sortiert und recycelt werden und wieder in möglichst hochwertige Rezyklatprodukte resultieren. Mit den Sammlern werden die strukturellen Voraussetzungen erforscht, die es benötigt, um die Leichtverpackungsfraction (LVP) möglichst sortenrein sortieren zu können. In der Sortierung werden die notwendigen technischen Maßnahmen zur Gewinnung hochwertig verarbeitbarer Fraktionen erforscht und praktikable Umsetzungsstrategien entwickelt. Die Recycler werden durch neue und adaptierte Prozesse qualitätsstandardisierte Rezyklate generieren, die durch das Design from Recycling erstmalig in hochwertigen Rezyklatprodukten eingesetzt werden können. Die gesamten Projekterkenntnisse resultieren in evidenz-basierte Empfehlungen für alle Stakeholder entlang des Wertschöpfungskreislaufes.

Hauptziel:

Erforschung und Entwicklung der technischen Voraussetzungen im gesamten Folienkreislauf zur Generierung hochwertiger Rezyklate aus der mengengesteigerten Leichtverpackungssammlung durch die Erforschung des Potentials sortenreiner PE- und PP-Folienfraktionen für kleinteilige Lebensmittelverpackungen.

### Endberichtkurzfassung

Zusammenfassung der 3 Forschungsjahre des Projektes flex4loop:

In diesem Projekt wird das Potential der Kreislaufschließung bei kleinteiligen Polyolefinfolien für Lebensmittelverpackungen erforscht und die für die Umsetzung relevanten Entwicklungsschritte in die Praxis übergeleitet. Nur durch einen kreislaufübergreifenden Entwicklungsansatz und die erforderliche Einbindung der Akteure können die ambitionierten europäischen Recyclingziele von 50% (2025) bzw. 55% (2030) erreicht werden. In dem Projekt werden technisch praktikable

und produkt-, und kreislaufseitig verifizierte Verpackungen entwickelt, die tatsächlich gesammelt, sortiert und recycelt werden und wieder in möglichst hochwertige Rezyklatprodukte resultieren. Mit den Sammlern werden die strukturellen Voraussetzungen erforscht, die es benötigt, um die Leichtverpackungsfraction (LVP) möglichst sortenrein sortieren zu können. In der Sortierung werden die notwendigen technischen Maßnahmen zur Gewinnung hochwertig verarbeitbarer Fraktionen erforscht und praktikable Umsetzungsstrategien entwickelt. Die Recycler werden durch neue und adaptierte Prozesse qualitätsstandardisierte Rezyklate generieren, die durch das Design from Recycling erstmalig in hochwertigen Rezyklatprodukten eingesetzt werden können. Die gesamten Projekterkenntnisse resultieren in evidenzbasierte Empfehlungen für alle Stakeholder entlang des Wertschöpfungskreislaufes. Dies erfolgt in Form eines Berichtes (Leitfaden) der als frei zugänglicher Download von einigen Webseiten (Projektkoordinator, Forschungsdienstleistern, Projektpartnern) allen Interessierten Personen zur Verfügung steht. Im Projekt wurden sehr viele recyclingfähige Lösungen oder Lösungsansätze mit den Projektpartnern gemeinsam erarbeitet, die überwiegend bereits zu einer hohen Recyclingfähigkeitsbewertung von >90% führen. Zudem konnten einige Optimierungsschritte und Verpackungsumstellungen erreicht werden. Es wurde auch eine Fülle an interessanten Daten in Bezug auf den Einfluss einzelner Verpackungskomponenten auf die Recyclingfähigkeit im Spritzguss und der Extrusion erhalten. So zeigen die Versuche, dass die eingesetzten Klebstoffe und Farbsysteme einen geringen bis keinen Einfluss auf die mechanischen Festigkeiten oder den MFR von 100% Rezyklaten haben. Bei den Untersuchungen des Einflusses des EVOH-Gehaltes auf PP-Rezyklate in Spritzgussanwendungen zeigte sich, dass zwischen den beiden direkt vergleichbaren PP/EVOH/PE-Folien mit 2% und 5% EVOH-Gehalt keine Unterschiede im Zugversuch sowie in der Kerbschlagzähigkeit bei Betrachtung von 100% Rezyklatgehalt erkennbar waren. Der MFR wies eine leicht abfallende Tendenz mit zunehmendem EVOH-Gehalt auf. Auch bei einem hohen EVOH-Gehalt von 12% (Mix aus PP/EVOH/PE-Unterfolie mit 2% EVOH-Gehalt und PE/EVOH/PE-Oberfolie mit 10% EVOH-Gehalt) zeigten sich grundsätzlich bei 100% Regranulatgehaltbetrachtung im Zugversuch und hinsichtlich Kerbschlagzähigkeit gut vergleichbare Kennwerte zu einem Neuwarengranulat eines PP-Copolymers. Auch der MFR der unvernetzten PE/EVOH/PE-Oberfolie lag im Bereich der beiden PP/EVOH/PE-Folien mit 2% bzw. 5% EVOH-Gehalt. Weiters konnte gezeigt werden, dass eine Metallisierung bei Polypropylenbeutel in der Mittelschicht bzw. die untersuchte PVOH (Polyvinylalkohol)-Barrierschicht bei einer Polyethylenfolie als Gasbarriere weder signifikante mechanische Auswirkungen auf den Recyclingprozess hat noch einen Einfluss auf die Detektierbarkeit im NIR zeigt. Aus den im Projekt durchgeführten Untersuchungen an 100% Rezyklat von PP- und PE-basierten Verpackungsfolien mit EVOH- und PVOH-Gasbarrieren, Metallisierung, Kaschierklebstoffen und Bedruckungen kann somit abgeleitet werden, dass bei vielen PP- oder PE-basierten Verpackungsfolien keine signifikante Beeinträchtigung des Stoffstromes bei Betrachtung relevanter mechanischer Parameter oder des MFR in Spritzgussanwendungen erkennbar ist.

Da es aber nach der Sortierung zu einer starken Verdünnung mit anderen PP- oder PE-Folien mit und ohne Barrieren sowie Bedruckungen und Klebstoffen kommt, werden dadurch auch allfällige negative Parameterveränderungen durch einige Verpackungsmaterialien weiter stark reduziert. Sensorisch kommt es vor allem bei bedruckten oder kaschierten Folien zu einer deutlichen Geruchabweichung des 100% Regranulates, allerdings wurden diese Proben nicht einer Geruchsentsfernung bei der Extrusion, wie heute durchaus üblich, unterzogen, weshalb hier noch weiter optimiert werden kann. Bei der Folienextrusion sowie der Herstellung von geblasenen Flaschen wurde erkannt, dass im Vergleich zum Spritzguss nur wenige der untersuchten Rezyklate aus den Verpackungen mit einem Rezyklatgehalt von 100% in einer zufriedenstellenden Qualität herstellbar waren. Auch durch eine Reduktion des Rezyklatgehaltes dieser rezyklierten Verpackungen auf 10-30% in einem materialidenten PCR-Regranulat konnten die Ergebnisse nur bei polyethylenbasierten Folien verbessert werden. Daraus kann abgeleitet werden, dass die Qualitätsanforderungen für die Extrusion deutlich höher sind als für den Spritzguss und somit

auch die zu erreichenden Rezyklatgehalte bei vielen Anwendungen auch wesentlich niedriger sein werden.

Im Projekt wurde durch die MUL-AVAW eine Datenbank erstellt, um die umfangreichen Daten der NIR-Untersuchungen und einer manuellen Analysekampagne zu sammeln. Parallel dazu wurden Sortierversuche mit Folienverpackungen am NIR-Sorter des Lehrstuhls durchgeführt. Die Anwendung von Klassifikationsmodellen auf Basis von KI-Methoden, wie etwa Neuronalen Netzwerken, um Monolayer von Multilayer zu unterscheiden konnte gezeigt werden. Die Anwendbarkeit dieser Modelle in Line war anfangs noch nicht gegeben. Dieser Zustand rührte vom hohen Rechenaufwand der Klassifizierung her. Durch Dimensionsreduktion und Ermittlung der relevanten Wellenlängen für die Unterscheidung konnten interpretierbarere, leichtgewichtige, aber dennoch genaue Klassifikationsmodelle erstellt werden. Diese Arbeit basiert auf der Erkenntnis, dass Folienspektren besonders dann ausreichend Informationsgehalt für derartige Verwendung besitzen, wenn sie in Transfektion aufgenommen wurden. Die Hardwareadaption des NIR-Sortierers, um dies zu ermöglichen, wurde mittels eigens angefertigten Reflektoren aus Kupfer realisiert.

Im Projekt wurden Herausforderungen identifiziert, die die Sortierung beeinträchtigen, wie etwa Bedruckung und Etikettierung, die zu Fehlklassifikationen führen, sowie die geringe Schichtdicke der Verpackungen, die zu Intensitätsverlusten und geringer Spektralqualität führt. Um diese Probleme zu lösen, wurde eine neue Aufnahmemethode implementiert, die auf Transfektion basiert und den Verlust an Strahlungsintensität minimiert. Diese Methode verbessert die Qualität der spektralen Fingerabdrücke der Verpackungen. Auf Grundlage der verbesserten Spektralinformationen wurden KI-Methoden, insbesondere neuronale Netzwerke und Support Vector Machines, trainiert, um die 2D-Leichtverpackungen in Monomaterial- und Multimaterialklassen einzuteilen. Die Ergebnisse wurden in einem peer-reviewten Artikel veröffentlicht und ermöglichen eine präzise Sortierung, die eine hochwertige Monomaterialfraktion für das mechanische Recycling ermöglichen kann. Die verbleibende Multimaterialfraktion kann als Rohstoff für chemische Recyclingmethoden genutzt werden. Dies trägt zur Erhöhung der Recyclingquote von 2D-Leichtverpackungen bei und verbessert die Kreislaufwirtschaft von Kunststoffen.

## **Projektpartner**

- Business Upper Austria - OÖ Wirtschaftsagentur GmbH