

Der mengen- und qualitäts- optimierte Kreislauf von Polyolefinfolien

1

Erkenntnisse aus dem FFG Collective Research Projekt „flex4loop“

März 2025



Erkenntnisse/Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt „flex4loop“ (2022 – 2025)

Gefördert durch



Koordiniert von



Forschungspartner



Wirtschaftspartner



Die Verwendung des Dokuments ist ausschließlich mit Quellenangabe möglich.

Zitiervorschlag: biz-up, OFI, MUL-AVAW, MUL-KV (2025):

Der mengen- und qualitätsoptimierte Kreislauf von Polyolefinfolien.

Die Erkenntnisse resultieren aus den Ergebnissen des Forschungsprojektes „flex4loop“. Wien, März 2025.

Impressum:

Für den Inhalt verantwortlich:

Business Upper Austria OÖ Wirtschaftsagentur GmbH, 4020Linz

OFI Forschungsinstitut für Chemie und Technik, 1030 Wien

Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft, 8700 Leoben

Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Kunststoffverarbeitung, 8700 Leoben

Grafik/Layout: Elizabeth Sharp

Redaktion: Michael Krainz, Gerald Koinig, Thomas Lucyshyn, Lorena Dorninger, Johannes Poldlehner.

Alle Angaben ohne Gewähr.

Motivation und Ausgangslage

Die Motivation des Projektes resultiert aus der Entschiedenheit aller Akteure, entlang des Wertschöpfungskreislaufes von Verpackungsfolien aus Polyolefinen, im Lebensmittelsektor einen recyclingfähigen Wertstoffstrom aufzubauen. Im Flex4loop Projekt wurde das Potential der Kreislaufschließung bei kleinteiligen Folien erforscht und somit ein wesentlicher Grundstein für die Umsetzung relevanter Entwicklungsschritte in die Praxis gelegt. Denn nur durch einen kreislaufübergreifenden Entwicklungsansatz und die erforderliche Einbindung der Akteure können die ambitionierten europäischen Recyclingziele von 50% (2025) bzw. 55% (2030) der europäischen Kreislaufwirtschaftsstrategie erreicht werden.

In dem Projekt wurden technisch praktikable und produkt- und kreislaufseitig verifizierte Verpackungen entwickelt, die zukünftig tatsächlich gesammelt, sortiert und recycelt werden können, um wieder in möglichst hochwertige Rezyklatprodukte zu resultieren.

Motivation und Ausgangslage

Im Flex4loop Projekt wurden folgende Zielsetzungen definiert:

- Branchenübergreifende Entwicklung und Umsetzung von Materiallösungen auf Polypropylen (PP)- und Polyethylen (PE)-Monomaterialbasis (Recyclingfähigkeit >90%), die qualitativ hochwertige Rezyklate aus der kleinteiligen Lebensmittel-folienfraktion ($\leq A4$), bei gleichbleibenden Produktschutz und Maschinengängigkeit, unter Berücksichtigung von kreislaurelevanten Störfaktoren (Etiketten, Bedruckung etc.), garantieren.
- Erforschung und Entwicklung praxistauglicher Lösungen, die eine effiziente Sortierung der PE- und PP-Monofolienfraktion aus der vereinheitlichten, mengengesteigerten Leichtverpackung (LVP)-Sammlung ermöglichen und die heutige Sortiertiefe von 34% maßgeblich auf 80% zu erhöhen.
- Untersuchung und Generierung von ausreichend hohen Rezyklatqualitäten zur Produktion sortenreiner PE- und PP-Verpackungen für hochwertige Einsatzbereiche (Sekundärpackmittel, Hohlkörper, Mehrschichtfolie, technische Bauteile) mit möglichst hohen Rezyklateinsatzmengen. Die heutige Recyclingausbeute soll dadurch von 72% auf 80% gesteigert werden.

1. Design4Recycling

1.1 Bewertungsmethoden

1.2 Auszug recyclingfähiger Verpackungsbeispiele der Projektpartner

1.3 Praxisnahe Bemessung der Recyclingfähigkeit nach cyclos-HTP Standard

1.4 PPWR und deren Auswirkung



1.1 Bewertungsmethoden

In den letzten Jahren haben sich am europäischen Markt viele Bewertungsmethoden zur Bemessung der Recyclingfähigkeit von Verpackungen entwickelt.

Design for Recycling Guidelines operieren anhand einer Kontrollliste von Recyclingfähigkeitskriterien und als Ergebnis resultiert die Kategorisierung der Recyclingfähigkeit (rot, gelb, grün) in einer Ordinalskala. Sie fungieren als Design-Leitfäden für die Entwicklung von hauptsächlich Kunststoffverpackungen, werden von verschiedenen Institutionen veröffentlicht und laufend aktualisiert.

Die **Beurteilung der theoretischen Recyclingfähigkeit** basiert auf Design for Recycling Guidelines, beschränkt sich auf vorhandenen Materialarten und beurteilt diese anhand von vorhandenen Daten und Grenzwerten. Praktische Betrachtungen individueller Verpackungen sind im Rahmen der theoretischen Bewertung nicht vorgesehen. Zudem erfolgt die Verpackungsbewertung im Originalzustand auf Basis des Werkstoffes, wodurch bspw. der Einfluss von Verunreinigungen in einer Sortieranlage nicht simuliert wird.

Im Dezember 2024 wurde die PPWR (Packaging and Packaging Waste Regulation) der EU endgültig angenommen. Hierin wird **graduelle Recyclingfähigkeitsbewertung** gefordert, die die quantitative Bemessung der technisch möglichen Recyclingfähigkeit jeder einzelnen Verpackung in Prozentpunkten darstellt. Die PPWR muss für alle Verpackungsmaterialien angewandt werden und ab 2035 nationale Sammel-, Sortier- und Recyclinginfrastrukturen berücksichtigen.



1.2 Auszug recyclingfähiger Verpackungsbeispiele der Projektpartner

Berger Schinken Verpackung 100g

Folien bestehend aus Polypropylen (PP)/Ethylen-Vinylalkohol-Copolymer (EVOH)/Polypropylen (PP), Polypropylenetikette

Bewertung der Gesamtverpackung 93% (cyclos-HTP, 2024)



Bild: ©Fleischwaren Berger

Instantina Trockenprodukte Schlauchbeutel

Folie bestehend aus Polypropylen (PP)/Polypropylen (PP)

Bewertung der Gesamtverpackung 93% (cyclos-HTP, 2024)



Bild: ©Instantina

Jodl Verpackungen Kaffee Schlauchbeutel

Folie bestehend aus Polypropylen (PP)/Polypropylen (PP) metallisiert/Polypropylen weiß, Polypropylenventil und Polypropylenetikette

Bewertung der Gesamtverpackung 91% (Circular Analytics, 2024)



Bild: ©Jodl Verpackungen

1.3 Praxisnahe Bemessung der Recyclingfähigkeit am Beispiel cyclos-HTP Standard



Bewertung der Verpackung entlang von 13 Stoffstrompfaden anhand von 10 Bewertungskriterien nach einem Prüfschema:

- Bestimmung Wertstoffanteil, Sortierpfadzuweisung (alle Verpackungsmaterialien können dabei bemessen werden)
- Identifizierbarkeit im NIR (Nahinfrarot) und Austragsverhalten, elektrische Leitfähigkeit, Ferromagnetismus
- Materialdichte (Schwimm/Sink-Analyse), Schmelzverhalten, Aufschlussverhalten in Wasser
- nicht trennbare Kontaminanten (Röstversuche, Label-Bleeding Tests, Klebstoff/Etiketten Prüfungen)
- Zusätzliche Kriterien aus individueller Pfadanalyse (bspw. Formatkriterien)

⇒ **Recyclingfähigkeit in %**

Mit Kompatibilitätstests können neue Materialien und unbekannte Kontaminanten praxisnah auf deren Recyclingverträglichkeit untersucht werden und mittels Einzelnachweis deren Recyclingfähigkeit bestätigt werden.

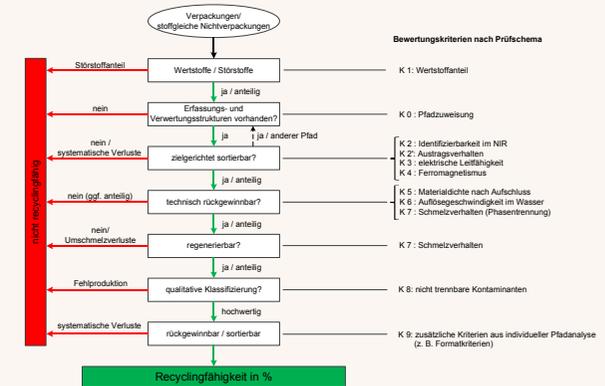


Abbildung 1: Prozedere des Assessments



1.4 PPWR und deren Auswirkung



Die am 17.12.2024 beschlossene Verpackungs- und Verpackungsabfallrichtlinie (PPWR) der Europäischen Union wird in 18 Monaten in allen Mitgliedsstaaten der EU umzusetzen sein. Nachstehend ein Auszug verpackungsrelevanter Ziele, die somit in den nächsten Jahren von den Ländern umzusetzen sind:

- Verpackungsabfallreduktion gemessen an 2018 um 5% ab 2030, um 10% ab 2025 und 15% ab 2040.
- Einsatz von recyclingfähigen Verpackungen $\geq 70\%$ Recyclingfähigkeit (Performanceklasse C) ab 2030; Verpackungen mit einer Recyclingfähigkeitsbewertung $< 70\%$ erfahren ab 2030 ein Marktverbot.
- Erfüllung von Design4Recycling-Kriterien bis 2030 (Einstufung nach Performanceklassen $A \geq 95\%$, $B \geq 80\%$, $C \geq 70\%$ Recyclingfähigkeit) sowie ausreichende Qualität für den Ersatz von Primärrohstoffen bis 2035.
- Kunststoffverpackungen müssen ab 2030 Rezyklatquoten von 10-35% in Abhängigkeit des Werkstoffes und der Anwendung erfüllen, die bis 2040 auf 50-65% weiter ansteigen.

1.4 PPWR und deren Auswirkung

- Ab 2035 müssen Verpackungen den Status „recycled at scale“ erfüllen und somit einer industriellen Sammlung, Sortierung und dem Recycling unterzogen werden und wieder als Sekundärrohstoff für die stofflich hochwertige und nachhaltige Substitution von Primärrohstoff eingesetzt werden.
- Ab 2038 wird der Schwellenwert „technisch nicht recyclingfähig“ auf die Performance Klasse C ausgeweitet, alle Verpackungen <80% Recyclingfähigkeit erfahren ein Marktverbot.





2. Sortierung

2.1 Verbesserung Spektralqualität 2D
Verpackungen

2.2 Sortiertiefe Schinken Verpackung

2.3 Sortiertiefe Trockenprodukte
Schlauchbeutel

2.4 Möglichkeiten KI in 2D Sortierung

2.1 Verbesserung Spektralqualität 2D Verpackungen

Konventionelle Nahinfrarotsortieraggregate funktionieren auf Basis von diffuser Reflektion. Die geringe Schichtdicke von 2D Verpackungen, die während der Verwendung von Vorteil war, führt in der Sortierung im Rahmen der Entsorgung zu geringer Qualität der Spektren, da durch die geringe Schichtdicke ein Großteil der Strahlungsintensität an Transmission verloren geht. Diese Spektren enthalten entweder keine Informationen oder gerade genug, um eine grobe Klassifikation des Materials zu erlauben. Die Messung in Transfektion erlaubt mehrere Strahlendurchgänge durch Partikel und reduziert Transmissionsverluste. Die so gewonnenen Spektren beinhalten Informationen über den Schichtaufbau der Verpackungsfolie und erlauben demnach auch eine Erkennung und Sortierung von Mehr- und Einschichtfolien.

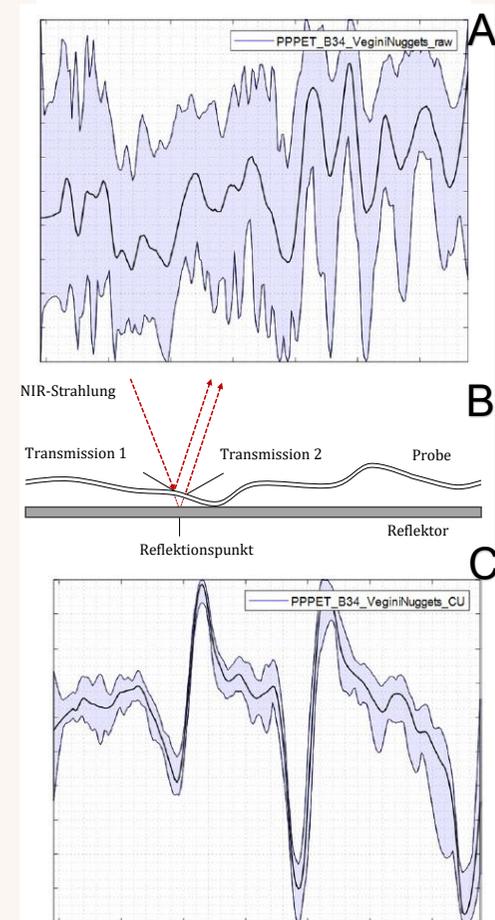


Abbildung 2:
[A] Darstellung der Schwankungsbreite von in Reflektion aufgenommenen Spektren einer dünnsschichten PPET Verpackungsfolie;
[B] Funktionsprinzip Transfektionsmessung;
[C] Darstellung der Schwankungsbreite von in Transfektion aufgenommenen Spektren einer dünnsschichten PPET Verpackungsfolie.

2.2 Sortiertiefe Schinken Verpackung

Im Rahmen des semiindustriellen Upscale und Verifizierung des Polyolefinfolienkreislaufes in der Leichtverpackungsfraction wurde die verbesserte Berger Schinken Verpackung, bestehend aus Polypropylen(PP)/ Ethylen-Vinylalkohol-Copolymer (EVOH)/Polypropylen(PP) mit Polypropylenetikette, Sortierversuchen im Technikumsmaßstab unterzogen. Hierbei wurde das Verhalten der recyclingfähigen Verpackung im realen Abfallstrom untersucht. Die Versuche mit einer Beschickungsmenge von etwa 10.000 Objekten zeigten eine Sortiertiefe von etwa 80%. Es konnte weiters beobachtet werden, dass die Sortiertiefe von der Art der Bedruckung abhängt. Wie bereits bei Spektralanalysen im Projektverlauf beobachtet, führen etwa dunkelgrüne Bedruckungen zu schlechteren NIR-Spektren und damit zu einem vergleichsweise geringeren Austrag.

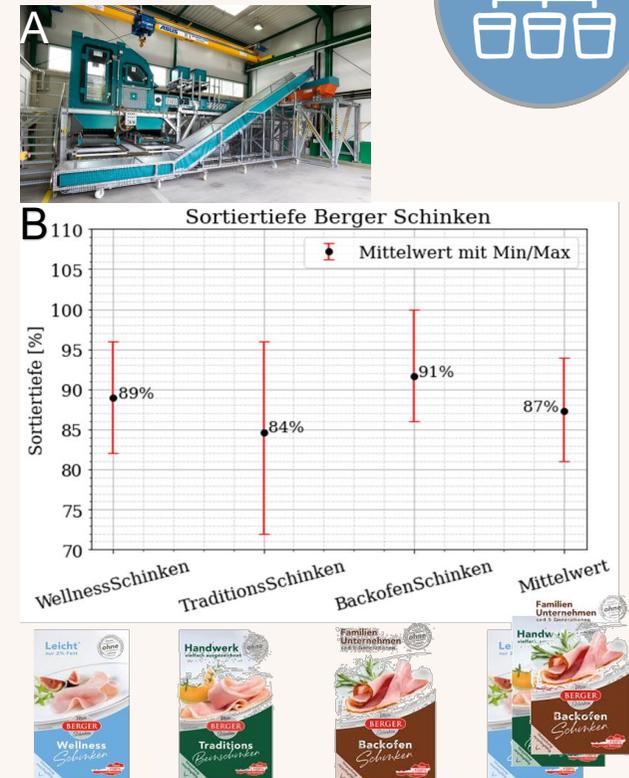


Bild: ©Fleischwaren Berger

Abbildung 3: [A] Darstellung der verwendeten Technikumsinfrastruktur; [B] Darstellung der erreichten Sortiertiefe je Verpackungstyp mit Mittelwert und Schwankungsbereich während der mehrfach wiederholten Versuche.

2.3 Sortiertiefe Trockenprodukte Schlauchbeutel



Weiters wurden Schlauchbeutelverpackungen mit erhöhter Recyclingfähigkeit bestehend aus Polypropylen(PP)/Polypropylen(PP) in Sortierversuchen auf ihre Sortierbarkeit mittels NIR und ihr Verhalten in realem Abfallstrom hin im Technikumsmaßstab untersucht. Die hohe Bewertung der Recyclingfähigkeit der neuen Verpackung selbst hat sich ebenfalls in diesen industrienahen Gegebenheiten gezeigt. Selbst bei Beschickung der Technikumsanlage mit realem Leichtverpackungsabfall konnte eine Sortiertiefe der neuen Verpackung von etwa 80% erreicht werden. Die Wahl der Bedruckung, des Materials und der Schichtdicke führten zu guter Erkennung. Die etwas geringere Sortiertiefe dieser Verpackungsart ist der problematischeren Austragung per Druckluft (Industriestandard) geschuldet.

A



B

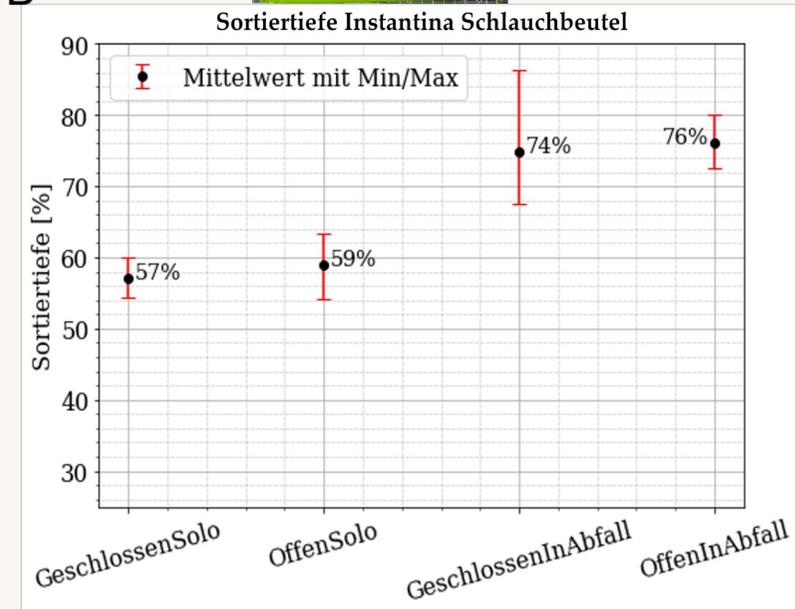


Abbildung 4: [A] exemplarische Darstellung der getesteten Schlauchbeutel vor den Sortierversuchen; [B] Darstellung der in den mehrfach durchgeführten Sortierversuchen erreichten Sortiertiefe. Punkte stellen den erreichten Mittelwert in den Versuchen dar. rote Balken die Schwankungsbreite der erreichten Sortiertiefe. geschlossen bedeutet, dass die Schlauchbeutel ungeöffnet verwendet wurden. Offen bedeutet, dass die Verpackungen aufgerissen verwendet wurden. Solo bedeutet, dass eine Reinfraktion der Partikel aufgegeben wurde. InAbfall bedeutet, dass eine LVP Fraktion mit Schlauchbeuteln gespiked wurde und diese anschließend sortiert wurde wobei Schlauchbeutel die Zielfraktion dargestellt haben.

2.4 Möglichkeiten KI in 2D Sortierung

Die Anwendung von Machine Learning Methoden, um Monolayer- von Multilayer-Materialien zu unterscheiden, ohne die NIR-Fingerabdrücke jeder Multilayerkombination gesondert in einer Bibliothek hinterlegen zu müssen, setzt voraus, dass zwischen diesen beiden Klassen übergeordnete Unterschiede bestehen. Diese Unterschiede müssen vom Schichtaufbau herrühren, und nicht von einzelnen Materialarten abhängen. Gibt es diese Unterschiede, kann die Klassifikation zwischen diesen beiden Klassen auf einer höheren Abstraktionsebene stattfinden und ist nicht vom tatsächlichen Schichtaufbau der Partikel abhängig. Es hat sich gezeigt, dass ebensolche Unterschiede existieren. Um eine Inline-Klassifikation zu ermöglichen, ist es weiters notwendig, Modelle zu erstellen, die einen Kompromiss aus Genauigkeit und Geschwindigkeit liefern. Durch die Anwendung von Auswahlmethoden, die die Inputkanäle nach ihrer Relevanz ordnen, ist es möglich, dies zu erreichen.

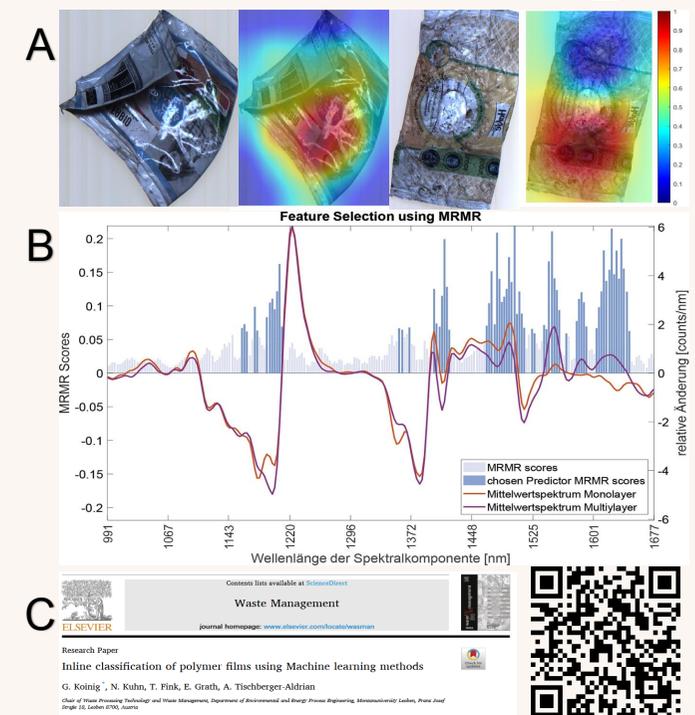


Abbildung 5: [A] Class Activation Maps der Klassifikation von Folienverpackungen mittels Bildklassifikation. Rot: Hoher Informationsgehalt. Blau: Geringer Informationsgehalt; [B] Mittelwertspektren von Mono- und Multischichtverpackungen. Blaue Balken stellen den Informationsgehalt der jeweiligen Wellenlänge dar; [C] Publikation zum Thema Klassifizierung von Folienverpackungen mittels KI-Methoden.

3. Recyclingoptimierung

- 3.1 Erkenntnisse nach einmaligem Recyclingzyklus im Spritzguss
- 3.2 Folien und Flaschen
- 3.3 Ergebnisse einer Beispielpackung



3.1 Erkenntnisse nach einmaligem Recyclingzyklus im Spritzguss



- **Kaschierklebstoffe und Farbsysteme** hatten einen **geringen bis keinen Einfluss** auf die untersuchten **mechanischen Festigkeiten oder den MFR** (Schmelze-Massefließrate) von 100% Polypropylen (PP)-Rezyklaten in Spritzgussanwendungen gezeigt.
- **Kein signifikanter Einfluss des EVOH-Gehaltes zwischen 2% und 5%** auf PP-Rezyklate in Spritzgussanwendungen im Zugversuch sowie in der Kerbschlagzähigkeit erkennbar.
- Der Mix aus PP/EVOH/PE mit 2% EVOH-Gehalt und PE/EVOH/PE mit 10% EVOH-Gehalt beim untersuchten Verpackungssystem wies grundsätzlich bei 100% Regranulatgehalt im Zugversuch und hinsichtlich Kerbschlagzähigkeit gut vergleichbare Kennwerte auf, woraus **kein signifikanter Einfluss des EVOH-Gehaltes** abgeleitet werden kann.
- Der MFR zeigte eine leicht abfallende Tendenz mit zunehmendem EVOH-Gehalt.
- Aus den im Projekt durchgeführten Untersuchungen **an 100% Rezyklat** von PP- und PE-basierten Verpackungsfolien mit EVOH- und Polyvinylalkohol (PVOH)-Gasbarrieren, Metallisierung, Kaschierklebstoffen und Bedruckungen kann 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.

3.1 Erkenntnisse nach einmaligem Recyclingzyklus im Spritzguss



- In der Leichtverpackungsfraction kommt es jedenfalls durch den Verpackungsmix zu einer wesentlichen Reduktion möglicher Störstoffe im betrachteten Stoffstrom (Verdünnung), wodurch eine mechanische Parameterveränderung im Rezyklat deutlich abgeschwächt wird.
- Sensorisch kommt es vor allem bei bedruckten oder kaschierten Folien zu einer deutlichen Geruchsabweichung des 100% Regranulates. Diese Proben wurden allerdings keiner Geruchsentfernung bei der Extrusion unterzogen, wie es heute durchaus üblich ist. Dadurch resultiert ein noch relevanteres Optimierungspotential.
- Mögliche gesundheitsrelevante Auswirkungen eingesetzter Druckfarben und Klebstoffe von Rezyklaten aus PP- und PE-basierten Lebensmittelverpackungen auf den Menschen bei oberflächlichem Kontakt sind derzeit nicht ausreichend bekannt, was beim Einsatz in Betracht gezogen werden sollte.
- Ebenfalls wurden noch keine ausreichenden Untersuchungen des Einflusses von materialidenten Etiketten bei PP- und PE-Verpackungen im Projekt vorgenommen, was in zukünftigen Projekten noch zu untersuchen ist.

3.2 Folien und Flaschen



- Aus den 100% Rezyklaten der untersuchten PP- und PE-Verpackungen war es nicht bei allen Proben möglich, extrudierte Monomaterialfolien in zufriedenstellender Qualität herzustellen.
- Extrusionsblasgeformte Flaschen waren nur bei sehr wenigen Proben aus 100% Rezyklat produzierbar.
- Auch beim Einsatz von 10-30% Rezyklatanteil, in Kombination mit handelsüblichem post-consumer PP- und PE-Rezyklat, konnten nur bei wenigen Verpackungsrezyklaten zufriedenstellende Folien- und Flaschenqualitäten hergestellt werden.
- Bei den produzierbaren Folien und Flaschen aus den PP-Verpackungen zeigte sich eine ähnliche Tendenz wie im Spritzguss. Druckfarben und Kaschierklebstoffe hatten bei 100% Rezyklateinsatz keinen wesentlichen Einfluss auf die untersuchten mechanischen Kennwerte.
- Da die Anforderungen an die Produktion von Folien und Flaschen im Extrusionsprozess deutlich höher liegen als bei vielen Spritzgussanwendungen, ist die Menge und Möglichkeit des eingesetzten Rezyklats hier deutlich stärker von der für den jeweiligen Einsatz benötigten Rezyklatqualität abhängig.

3.3 Ergebnisse einer Beispielverpackung

Nachstehend sind die Ergebnisse der mechanischen Untersuchung an Spritzgussprüfstäben aus 100% Rezyklat unterschiedlicher Verpackungsmaterialzusammensetzungen (Einfluss der Bedruckung und des Klebstoffes der Siegelfolie, unterschiedliche Materialzusammensetzung der Siegelfolie und der tiefgezogenen Unterfolie) der recyclingfähige PP/EVOH/PP-Verpackung für Berger Schinken angeführt. Aus den Ergebnisse geht hervor, dass **keine signifikanten Unterschiede in An- oder Abwesenheit der betrachteten potentiellen Störstoffe** erkannt wurden. Zudem ist die Mechanik vergleichbar mit einem handelsüblichen PP-Copolymerrezyklat ohne Störstoffanteile.

	Handels- übliches PP- Copolymer Rezyklat	20% Berger Oberfolie PP/EVOH/PP bedruckt (80µm) mit 80% Berger Unterfolie PP/EVOH/PP transparent (300µm)	100% Berger Unterfolie PP/EVOH/PP transparent (300µm)	15% Berger Oberfolie PP/EVOH/PP unbedruckt (60µm) mit 85% Berger Unterfolie PP/EVOH/PP transparent (300µm)
E-Modul [MPa]	648+/-11	1094+/-22	1153+/-11	1032+/-15
Zugfestigkeit [MPa]	20,5+/-0,2	27+/-0,4	28+/-0,2	27+/-0,2
Bruchdehnung [%]	592+/-0,5	716+/-75	770+/-13	612+/-147
Kerbschlagzähigkeit [kJ/m²]	6,0+/-0,6	5,7+/-0,4	5,4+/-0,2	4,2+/-0,6

Tabelle 1: Mechanische Kenndaten von 100% Rezyklat unterschiedlicher Verpackungsmaterialzusammensetzungen einer PP/EVOH/PP-Verpackung



Abbildung 6:
Spritzgussprüfstab



Bild: ©Fleischwaren Berger

Zusammenfassung

- Es hat sich gezeigt, dass eine Verarbeitung kleinteiliger PE- und PP-Lebensmittelverpackungsfolien in vielen Fällen auch mit vermeintlichen Störstoffen (Gasbarriere, Bedruckung, Kaschierklebstoffe, ...) in einem einmaligen Recyclingzyklus zu hochwertigen Rezyklaten möglich ist. Diese können dann in Spritzgussanwendungen, welche die Hauptanwendung aus derzeitiger Sicht der Sortierung darstellt, bis zu 100% Primärrohstoff ersetzen, abhängig von den mechanischen Bauteilanforderungen und dem Einsatzgebiet.
- Einen wesentlichen Einfluss auf die Rezyklatqualität hat das Design4Recycling der Verpackungen. Die Bewertungsmethoden der Recyclingfähigkeit sind aktuell vielfältig und erstrecken sich von theoretisch basierten Guidelines bis hin zu technisch basierten Methoden, die Teile der industriellen Praxis bereits abdecken. Zukünftig fordert die PPWR die graduelle Bewertung der Recyclingfähigkeit in Prozent vorzunehmen. Nur dadurch kann eine genaue Aussage über die Recyclingfähigkeit erfolgen, sofern die Methodik auch möglichst alle praxisrelevanten Einflussparameter erfasst.
- Es wurde auch erkannt, dass Kunststoffverpackungen mit hohen Recyclingfähigkeitsbewertungen >90% auch zu guten Rezyklatqualitäten in einem einmaligen Recyclingzyklus führen.

Zusammenfassung

- Durch den Einsatz von Messungen in NIR Transfektion kann die Qualität der Spektren von dünnstschichtigen 2D Verpackungsfolien dahingehend verbessert werden, dass Schichtaufbau und Schichtdicke erkennbarer werden.
- Die PP-basierte Schinkenverpackung zeigte gutes Verhalten in einem simulierten realen Abfallstrom. Es konnten Sortiertiefen von etwa 80% erreicht werden. Weiters wurde sichtbar, dass die Art und Farbe der Bedruckung ebenfalls in großtechnischen Versuchen starken Einfluss auf die Sortierbarkeit der Verpackung ausübt.
- Die Trockenprodukte Schlauchbeutelverpackung zeigte ebenfalls gute NIR-Sortierbarkeit. Hier wurde das Design4Recycling erfolgreich umgesetzt.
- Zukünftig wird es wichtig werden, eine tiefere Sortierentscheidung auf Basis von Schichtzusammensetzung und Polymertyp zu erlauben, um hochwertiges Rezyklat zu produzieren. Hierbei können Methoden des maschinellen Lernens helfen, um hochdimensionale Daten, wie etwa die der NIR, zu nutzen. Es konnte im Projekt gezeigt werden, dass diese Methoden in der Lage sind Mono- von Multimaterialfolienverpackungen gut zu unterscheiden.

Quellenverzeichnis:

1. G. Koing et al., Inline classification of polymer films using Machine learning methods, December 2023

Quellenlink: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X2300716X>

Weitere hilfreiche Links:

Deutscher Mindeststandard, [Mindeststandard_VerpackG_2024.pdf](#)

Institut cyclos-HTP GmbH, Institut für Recyclingfähigkeit und Produktverantwortung,

<https://www.cyclos-htp.de/>

Mag^a. Anja Fredriksson, MSc; Dr. Angelika Derler; Dr. Michael Washüttl: Studie zum Thema „Vergleich der Eignung verschiedener Bewertungssysteme für die Recyclingfähigkeit von Verpackungsmaterialien in Österreich“, August 2021, durchgeführt für den Fachverband der chemischen Industrie Österreichs – FCIO, [2021-ofi-studie-wko.pdf](#)

Bildquellen:

OFI, MUL AVAW, Fleischwaren Berger, Jodl Verpackungen, Instantina GmbH, Institut cyclos-HTP



Business Upper Austria OÖ Wirtschaftsagentur GmbH, 4020Linz
Kontakt: Dorninger Lorena Maria, lorena.dorninger@biz-up.at
Poldlehner Johannes, johannes.poldlehner@biz-up.at

OFI Forschungsinstitut für Chemie und Technik, 1030 Wien
Kontakt: Michael Krainz, michael.krainz@ofi.at

Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft, 8700 Leoben,
Kontakt: Gerald Koinig, gerald.koinig@unileoben.ac.at

Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Kunststoffverarbeitung, 8700 Leoben,
Kontakt: Thomas Lucyshyn, thomas.lucyshyn@unileoben.ac.at