

AUS PET WIRD WIEDER PET – ODER? DESIGN FOR RECYCLING ZUR STEIGERUNG DER PET WIEDERVERWERTUNG IN VERPACKUNGEN DES TÄGLICHEN BEDARFS

Fajtak, Astrid, FH Campus Wien

Jahn, Elisabeth, FH Campus Wien

Pfitzner, Manuel, FH Campus Wien

Abstract Weltweit werden täglich Verpackungen aus Kunststoff entsorgt. Dementsprechend hoch ist das Abfallaufkommen. Die Recyclingquoten für Kunststoffverpackungen liegen in Österreich derzeit bei 25 %. Bis 2030 müssen diese gemäß des EU-Kreislaufwirtschaftspakets auf 55 % erhöht werden. Bisher werden, abgesehen von Getränkeflaschen aus PET, keine Kunststoffverpackungen im geschlossenen Kreislauf verwertet. Da das Design von PET-Verpackungen einen Einfluss auf den Sortier- und Recyclingprozess hat, besteht ein direkter Zusammenhang mit dem Recyclingpotential. Wie recyclingfähiger Designs aussehen können, wird z. B. in der *Circular Packaging Design Guideline* der FH Campus Wien thematisiert. Ob diese Empfehlungen in der Praxis umgesetzt werden, wird durch ein Marktscreening von PET-Verpackungen überprüft. Auf Basis einer Marktrecherche wurden die wichtigsten Einzelhandelsketten am österreichischen Markt identifiziert. Vier Einzelhandelsketten wurden beprobt. Produkte für die Marktanalyse wurden anhand von Recyclingcodes oder mit Hand-NIR identifiziert. Für die Verpackungsanalyse wurde eine Methode auf Grundlage von bestehender Literatur erarbeitet. Eigenschaften wie Verpackungsfarbe, Gewicht der Einzelkomponenten, sowie die Art der Etikettierung werden dabei erhoben. Erste Ergebnisse liegen bereits vor. Dabei handelt es sich um Auswertungen zu den Verpackungstypen, den Gewichtsanteilen der Verpackungskomponenten, der Farbe und der Etikettierung. Vor allem die Farbe und Etikettierung sind wichtige Parameter im Recycling- und Sortierprozess, die die Rezyklatqualität negativ beeinflussen können. Weitere Forschungsschritte sind die Identifikation der Einzelkomponenten und das Löslichkeitsverhalten der Klebstoffe.

Keywords: PET Recycling, Circular Economy, Design for Recycling, Kreislaufwirtschaft

1 EINLEITUNG

Weltweit werden täglich Verpackungen aus Kunststoff entsorgt. Dementsprechend hoch ist das Abfallaufkommen. Die Recyclingquoten für Kunststoffverpackungen liegen in Österreich derzeit bei 25 % [1]. Bis 2030 müssen diese gemäß des EU-Kreislaufwirtschaftspakets auf 55 % erhöht werden. Bisher werden, abgesehen von Getränkeflaschen aus PET, keine Kunststoffverpackungen im geschlossenen Kreislauf verwertet [2]. Knapp 75 % des Kunststoffabfalls gehen in die thermische Verwertung, anstatt recycelt zu werden [3]. Speziell für gut recyclebare Kunststoffe, wie PET, ist das Potential für die Schließung eines Kreislaufs aber hoch: Rigid PET bietet eine sehr gute Ausgangsbasis, um Recyclingmaterial von guter Qualität nach Durchlaufen des gesamten Prozesses zu erhalten. Insgesamt kann jedoch nur bei Getränkeflaschen davon ausgegangen werden, dass food-grade PET wieder zu gleichwertigem Material recycelt wird [4]. Österreich liegt mit einer Recyclingquote bei PET bei etwa 25 % (ARA) [1] im Mittelfeld. Speziell Kunststoffverpackungen aus Haushaltsabfall sind heterogen zusammengesetzt und weisen relativ hohe Grade an Verschmutzungen durch Fremdstoffe auf [2]. Damit kann davon ausgegangen werden, dass Verpackungen aus Haushaltsmüll zu einem geringen Anteil recycelt werden - es kommt eher zu downcycling, also der stofflichen Weiterverarbeitung zu einem Produkt mit minderer Qualität. Eine Möglichkeit, downcycling von Material zu verringern, ist Verpackungen so zu designen, dass sie ideal recyclebar werden: Design for Recycling. In diesem Forschungsprojekt werden die Potentiale für verbesserte Recyclingfähigkeit anhand von PET Verpackungen aus dem österreichischen Einzelhandel untersucht.

Um Bewertungen zur Recyclingfähigkeit im Kontext von Green Transition treffen zu können, beantworten wir die beiden folgenden Forschungsfragen:

Wie gut sind PET Verpackungen tatsächlich recyclebar?

Wie groß ist das Potential für die Verbesserung der Recyclingfähigkeit durch verbessertes Verpackungsdesign?

Verbesserungspotential wird direkt in die *Design for Recycling Guideline* der FH Campus Wien eingearbeitet, um so die Ergebnisse der Industrie auf praktikable Weise zur Verfügung zu stellen.

2 METHODEN

In unserem Projekt zur Untersuchung von PET-Verpackungen im Einzelhandel wurden unterschiedlichste Designs und Zusammensetzungen aus dem heimischen Lebensmitteleinzelhandel erhoben.

Die gesamte Recyclingfähigkeit einer Verpackung wird durch das Zusammenspiel einzelner Teilkomponenten beeinflusst. Im Vorfeld wurden diese Teilkomponenten zur genauen Analyse des Recyclingpotentials erhoben (s. Abb. 1):

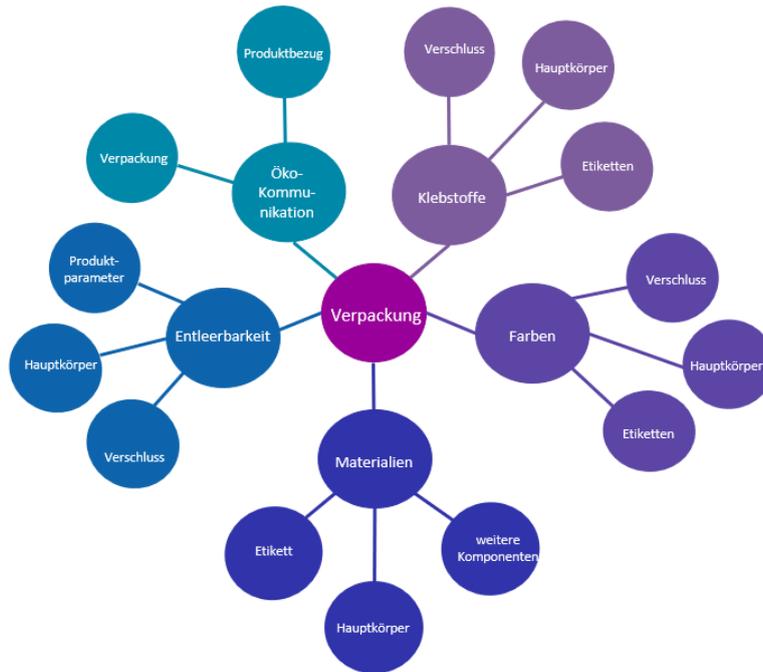


Abbildung 1: Teilkomponenten der Recyclingfähigkeit. Die gesamte Recyclingfähigkeit eines Gebindes setzt sich aus verschiedenen Teilen zusammen, die die gesamte Packung umfassen. Die einzelnen Teile werden im Rahmen des Projektes ausgewertet.

2.1 Markterhebung

Der österreichische Markt wird von wenigen Einzelhandelsketten geprägt [5]: Spar Österreich, Rewe International mit Billa und Billa Plus, Hofer und Lidl erwirtschaften zusammen etwa 90 % des Umsatzes aus dem Einzelhandel in Österreich. Der Drogeriemarkt wird in Österreich hauptsächlich von den beiden Fachhändlern dm und Bipa geprägt [6]. Anhand eines Marktscreenings an den größten österreichischen Einzelhandelsketten wird einerseits beurteilt, wie hoch die potenzielle Menge an rigid-PET (im weiteren Verlauf als PET bezeichnet) ist, die in den Recyclingkreislauf zurückgeführt werden kann.

Aus den drei größten österreichischen Einzelhandelsketten (Spar Österreich, Rewe International und Hofer), sowie dem größten Drogeriemarkt-Anbieter (dm) wurden sämtliche in PET verpackte Produkte in Stichproben aufgenommen, gekauft und analysiert. Wir konnten entweder visuell durch Recyclingcodes feststellen, welcher Kunststoff den Hauptkörper formt. Bei Verpackungen, bei denen keine Recyclingcodes am Hauptkörper zu finden oder vorhanden waren, haben wir direkt mittels handheld *Near Infrared analyser* (NIR) die Kunststoffzusammensetzung gemessen.

Es wurde je eine Ausfertigung der betreffenden PET verpackten Produkte erworben,

Variationen wurden ebenfalls erhoben. Bei den Variationen handelt es sich beispielsweise um verschiedene Geschmacksrichtungen von Trinkjoghurts, unterschiedliche Düfte von Weichspülern (s. Abb. 2) oder andere Sorten von Fleischzuschnitten.



Abbildung 2: Variationen eines Produkts, Bsp. Weichspüler. Die Variationen wurden erhoben, zur Analyse wurde eine Stichprobe genommen. Die Varianten fließen in die Datenanalyse ein.

Die Tiefe der Analyse ist bis dato in der Literatur nicht zu finden und verspricht ein umfassendes Bild über das Recyclingpotential zur Schließung des PET-Kreislaufes.

2.2 Materialien

Die Laboranalysen werden in unterschiedlichen Teilen durchgeführt, um ein umfassendes und tief gehendes Bild der potenziellen und tatsächlichen Recyclingfähigkeit aus dem Design der Verpackungen zu schaffen:

Neben Verunreinigungen eines reinen PET-Stroms durch verschiedene Kunststoffe stellt die Menge an Füllgut, wie Lebensmittelreste eine Herausforderung für die Recyclingfähigkeit dar. Nach der Einwaage der entleerten Packungen werden sie gewaschen, getrocknet (wieder eingewogen) und zerlegt.

Anschließend haben wir jede Einzelkomponente getestet: Neben Gewichtsanteil und Färbung haben wir jede Teilkomponente auf ihre Materialzusammensetzung untersucht. Hierfür wurden einerseits visuelle Beurteilungen vorgenommen (Farbe, Recyclingcodes auf Verschlüssen und Etiketten). Um die genaue Materialzusammensetzung zu analysieren, haben wir auf Fourier-Transform-Infrarot-Spektroskopie (kurz FTIR) zurückgegriffen. Diese Methode wurde vor allem bei Komponenten angewandt, auf denen kein Recyclingcode gefunden werden konnte.

2.3 Etiketten und Sleeves

Etiketten, die aufgeklebt sind, und umhüllende Etiketten, sogenannte *sleeves*, stellen gutes Design for Recycling vor spezielle Herausforderungen: aufgeklebte Etiketten benötigen Waschprozesse zur Ablösung; sleeves gelten gemein hin als die bessere Alternative, müssen jedoch vor dem Recyclingprozess abgetrennt werden.

Klebeetiketten wurden im Rahmen von Ablöseversuchen im Labormaßstab an PET-Trays auf den Einfluss verfahrenstechnischer Kenngrößen auf ihre Ablösbarkeit hin untersucht. Hier wurde der Industriestandard in Kooperation mit einem Industriepartner (Anm: Firma Starlinger & Co. Gesellschaft, Österreich) im Labormaßstab nachgebildet (s. Abb.

PET-Trays wurden zu flakes von ca. 1 cm² Größe geschnitten [recy class]. Die flakes wurden anschließend in Natronlauge (NaOH) gewaschen, geröstet und verfärbte flakes wurden ausgezählt. Um den Zusammenhang von verfahrenstechnischen Kenngrößen auf das Auftreten von Klebstoffresten zu untersuchen, wurden die folgenden Größen variiert [10]: Konzentration NaOH (European Pet Bottle Plattform (EPBP): 2 %), Temperatur (EPBP: 80 °C), Agitationsgeschwindigkeit (Industriestandard: 15 Min. bei 500 – 1000 rpm (abh. v. NaOH-Konzentration)). Nach einer Nachwäsche mit Wasser wurden die flakes bei 210 °C für 30 Min. geröstet. Verfärbungen stellen sich bei diesem Prozess an den Stellen ein, an denen Klebstoffe zurückgeblieben sind.

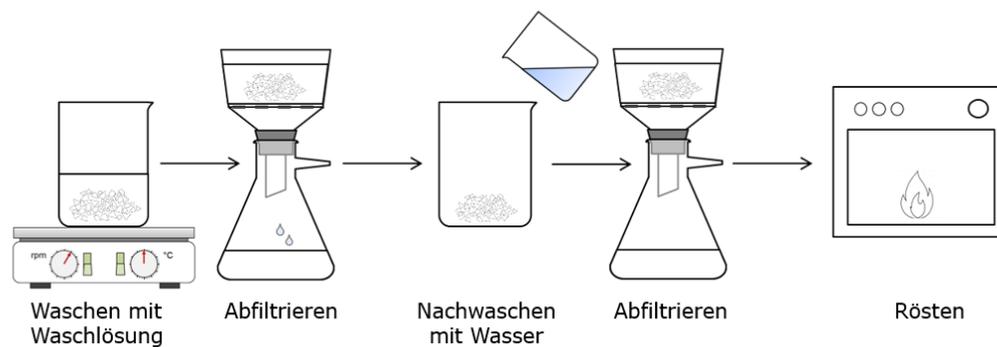


Abbildung 3: Versuchsaufbau Ablöseversuche von Etiketten an PET trays im Labormaßstab [10].

Da die Sortierbarkeit von Kunststoffverpackungen in industriellen Anlagen durch Färbung von den Hohlkörpern selbst oder nicht abgetrennten sleeves abhängt, wurde dieser Zusammenhang unabhängig untersucht: Es lag auf der Hand, bei Sortierversuchen zu testen, wie unterschiedlich gefärbte sleeves die Sortierbarkeit von PET Verpackungen beeinflussen.

Dazu wurden PET-Proben in enger Zusammenarbeit mit einem Industriepartner (Anm.: Firma Tomra Leergutrücknahme, Deutschland) auf ihre Sortierbarkeit mit automatisierten Sortiergeräte untersucht. Die Proben wurden in eine definierte Menge Leichtverpackungsfraction untergemischt und mittels Near Infrared Spectroscopy auf PET detektiert.

2.4 Entleerbarkeit

Produktreste im Hauptkörper verschlechtern die Rezyklatqualität einerseits durch eine notwendige Ausdehnung des Waschvorgangs. Um beispielsweise fettige Saucenreste oder hochviskosen Honig von PET flakes rückstandslos zu lösen sind hohe Waschttemperaturen und der Einsatz von Waschmitteln, wie NaOH, notwendig. Dadurch besteht das Potential, dass die Materialqualität des Rezyklats leidet. Andererseits verschlechtern Produktrückstände direkt die Qualität von Rezyklat. Dem entsprechend wird die Entleerbarkeit der diversen erhobenen PET-Verpackungen getestet. Für Flaschen, Becher und Trays mit mittel- (Geschirrspülmittel) bis hochviskosen (Honig) Flüssigkeiten wird dafür nach Wohner et al. [7] vorgegangen. Mit gezielten Tests und

Analysemethoden wird die Restentleerbarkeit der PET-Gebinde erhoben. Mit Hilfe der grundlegenden Methodik zur Entleerung nach Wohner wurde für die in der Literatur noch fehlenden Verpackungen, wie Trays mit Aufstrichen oder sog. *squeezebottles* (z. B.: Ketchupflaschen) für Würzmittel, eine standardisierte Methodik weiterentwickelt. Mit den Entleerungsmethoden können wir die Restmenge an Produkt in der Packung messen.

Die Inhalte von Flaschen weisen als Flüssigkeiten unterschiedliche Eigenschaften auf. Hier ist besonders die Viskosität hervorzuheben, da sich ein direkter Zusammenhang zwischen der auf die Verpackung aufzubringenden Kraft zur Entleerung des Produkts und der Viskosität des Produkts herstellen lässt [11]: Die meisten Produkte sind scherverdünnenden Flüssigkeiten zuzuordnen. Wird eine Flasche also umgedreht oder gequetscht und erfährt so der Inhalt eine Kraft, werden die Produkte weniger zähflüssig und fließen leichter aus den Gebinden. Eine Verpackung sollte sich demnach im Design des Verschlusses an der Viskosität des Produkts im Zusammenspiel mit einer guten Dosierbarkeit orientieren. Um im Weiteren Empfehlungen für das Design abgeben zu können werden die Viskositäten von flüssigen Produkten wie Geschirrspülmittel, Honig oder Würzsaucen mit einem Scherviskosimeter erhoben.

3 Ergebnisse

3.1 Markterhebung

Von 153 erhobenen Flaschen sind 76 aus dem food-Bereich und 77 aus dem non-food Bereich. (s. Abb. 4):

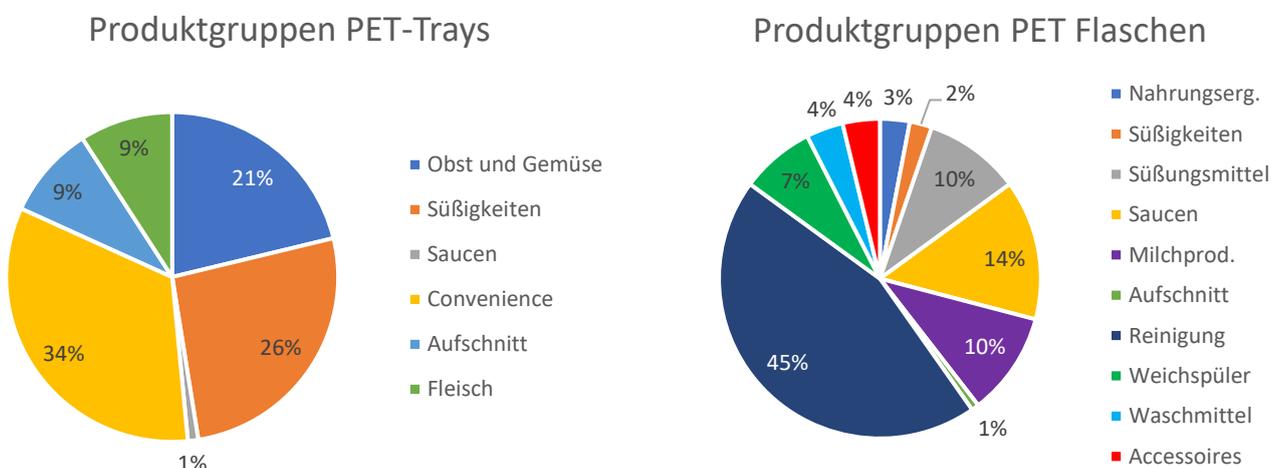


Abbildung 4: Produktgruppen PET Trays und Flaschen aus dem österreichischen Einzelhandel. Bei Trays finden sich nur food-Produkte, bei Flaschen sind auch non-food Produkte in PET verpackt.

Im mittel wiegen food-Flaschen 32 g, non-food 50 g inklusive aller Einzelkomponenten (Abb. 5). Den Hauptteil des Gewichts machen die PET-Hauptkörper aus, gefolgt von Verschlüssen. Zusatzkomponenten sind hauptsächlich bei non-food Flaschen zu finden. Sprayflaschen haben beispielsweise Metallfedern oder Strohhalm verbaut.

Es wurden 99 Trays aus dem food-Bereich erhoben, non-food trays konnten in keinem der

beprobten Märkte gefunden werden. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei Trays wobei hier zusätzlich bei zahlreichen Trays sogenannte *inlays* erhoben wurden. Inlays sind beispielsweise Saugtücher bei Fleischprodukten oder Trennblätter bei Aufschnitt. Bei 99 food-Trays haben diese im Schnitt 21 % des Gewichts ausgemacht.

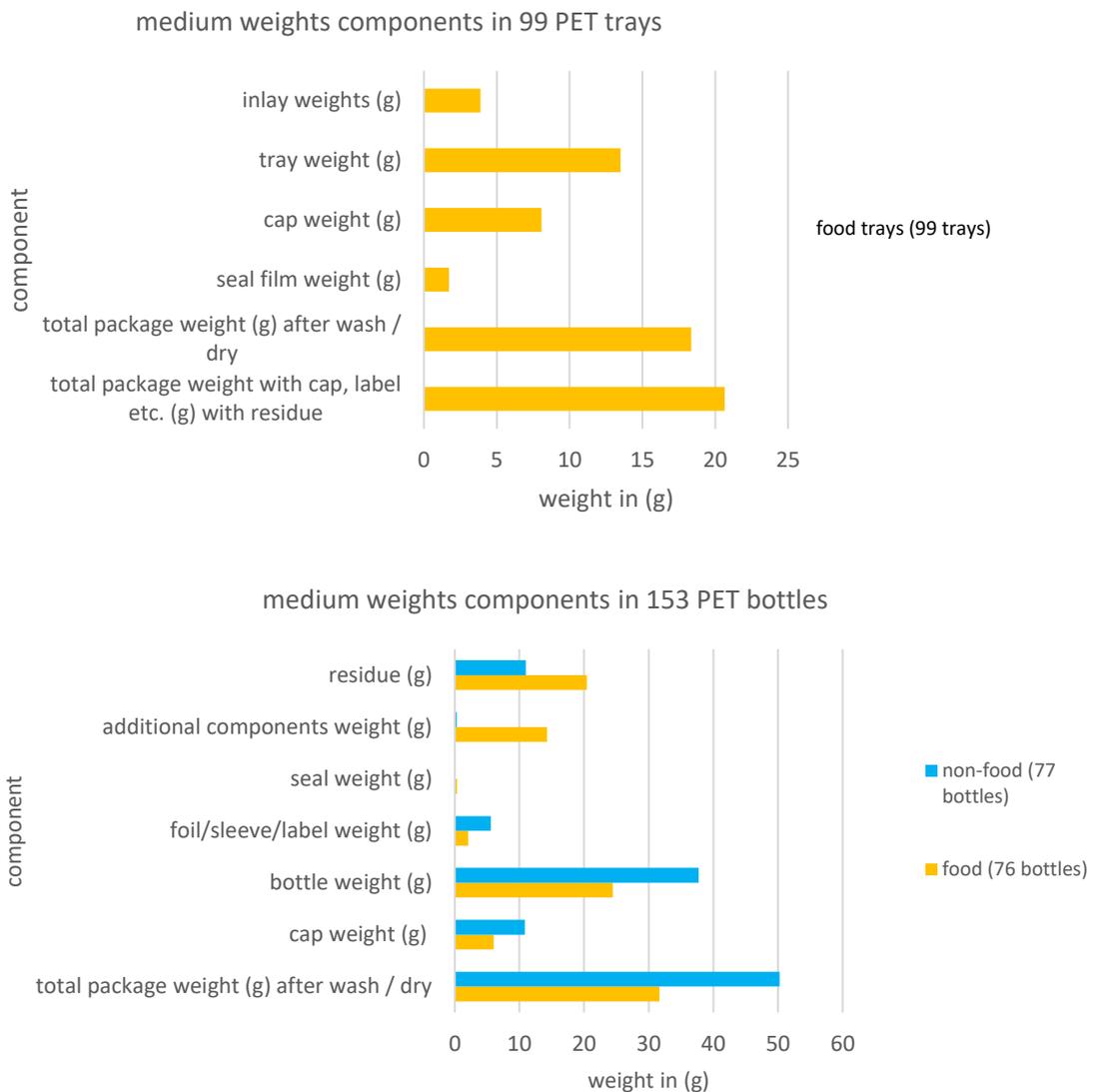


Abbildung 5: mittlere Gewichtsanteile der Einzelkomponenten aus den erhobenen PET-Flaschen. Der Hauptkörper hat sowohl bei food, als auch bei non-food Flaschen den größten Gewichtsanteil an der Verpackung. Danach folgt bereits der Verschluss. Das Gesamtgewicht der Flaschen liegt im food Bereich bei ca. 30 g, im non-food Bereich bei 50 g.

3.2 Materialien

Neben den Hauptkörpern aus PET wurden die folgenden Materialien identifiziert:

- Verschlüsse: PE, HDPE, PP, Silikone
- Etiketten und Sleeves: Papier, LDPE, PVC, Bio-Kunststoffe
- sonstige Komponenten: Metall, PET, PP, PE, LDPE

Es wurden keine Verpackungen erhoben, bei denen nicht mindestens eine Komponente eingefärbt ist. Lediglich 79 % der food- bottles waren klar und nicht eingefärbt, der Rest hatte einen sichtbaren Farbanteil.

3.3 Etiketten und Sleeves

Die ersten Ergebnisse der Ablöseversuche von Etiketten zeigen, dass Klebstoffe von Papieretiketten zu Verfärbungen im Rezyklat führen. Mit Hilfe der Versuchsreihe konnten wasserbasierte Kleber identifiziert werden. Bei erhöhter Temperatur sind diese Aufkleber im Wasser leicht abtrennbar. Diese Produkte ermöglichen ein Recycling ohne hohen Chemiaklieneinsatz. Papieretiketten sind mit einer 2 % NaOH-Lösung gut abtrennbar, die verwendeten Klebstoffe jedoch nicht.

Sleeves sind unterschiedlich gut sortierbar. Nach der Sortierung wurden die Fraktionen von PET und nicht-PET per Hand ausgewertet und es konnte festgestellt werden, in welche Fraktion die Proben bei der automatisierten Sortierung geworfen wurden (Abb. 6):

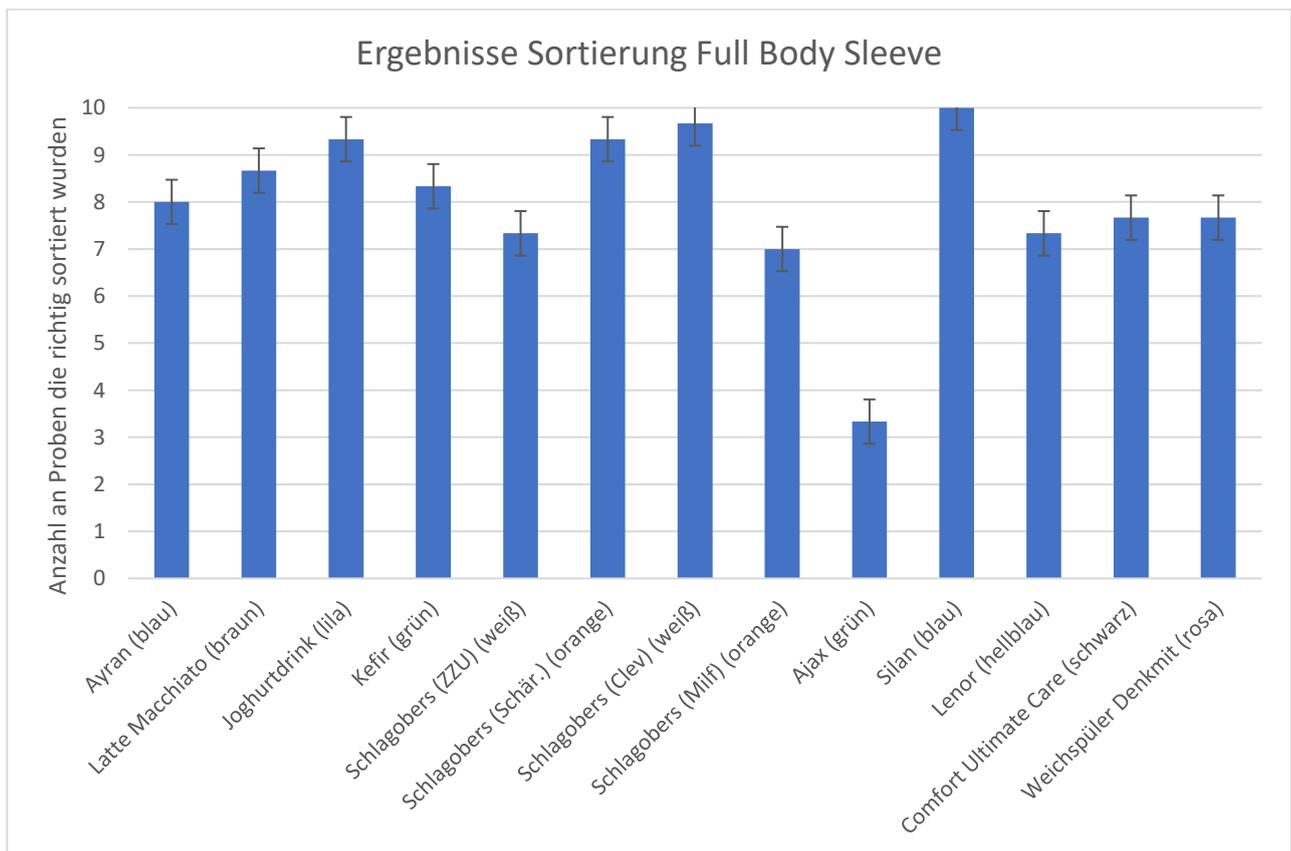


Abbildung 6: Sortierversuch von bedruckten full-body-sleeves. Es zeigt sich, dass starke Farben bei fast allen Produkten dazu führen, dass die Flaschen nicht vollständig als PET identifiziert werden.

3.4 Entleerbarkeit

Wie in Abb. 5 ersichtlich ist die mittlere Restmenge an Produkt bei Trays kleiner als 5,0 g. Bei Flaschen im food Bereich wurde die höchste mittlere Restmenge mit knapp über 20,0 g festgestellt, im non- food Bereich beträgt die Restmenge etwas über 10,0 g.

4. Diskussion

Im Sinne einer systematischen Nachhaltigkeitsdebatte ist es notwendig, über die Steigerung von bereits im Umlauf befindlichen Kunststoffen im Recycling nachzudenken. Stoffstromanalysen zeigen, dass ein großer Teil der Kunststoffabfälle in die thermische Verwertung gehen [1]. Rigid PET bietet ein hohes Potential zur Erhöhung des Rezyklatanteils, wenn die Qualität stimmt. Dafür ist der Rücklauf entsprechend gut recycelbarer Verpackungen notwendig. Da ökonomische Faktoren, wie ein Flaschenpfand, bei den meisten Verpackungen kaum umsetzbar sind, ist es sinnvoll, über gutes Design für Recycling nachzudenken. Qualitätskriterien wie Reinheit oder toxikologische Eigenschaften sind bestimmend für den Einsatz von PET Rezyklat [4]. Diese können durch gutes Design gesteigert werden [8], [9]. In unserer Erhebung zeigt sich aber, dass das Potential für verbessertes Design bei Verpackungen im Einzelhandel hoch ist.

Ein Problem bei der Wiederverwendung von PET ist die Qualität des Ausgangsmaterials: PET, das im Einsatz bei food-Verpackungen war, ist wahrscheinlicher wieder zu food-grade Material zu verarbeiten. Die toxikologischen Eigenschaften von non-food PET lassen kein upcycling zu. Eine bessere Erkennbarkeit von food- und non-food Einsatz ist dem entsprechend in der Sortierung notwendig.

Zusätzlich verhindern Störstoffe, wie andere Kunststoffe aus Folien oder Sleeves oft die Erkennung von PET in der sensorgestützten Sortierung [12]. Im Sortierversuch mit Flaschen, die zur Gänze von sleeves umhüllt sind (s. 3.3) wird ersichtlich, dass selbst gute sensorgestützte Sortierung Probleme mit eingefärbten Materialien hat. Um eine saubere PET Fraktion in der Sortierung zu gewährleisten, sind Material und Farbe also entscheidende Faktoren. Dies gilt nicht nur für sleeves, sondern auch für sonstige Einzelteile [8], [9]. Da 21 % der untersuchten food-Flaschen eingefärbt waren, ist davon auszugehen, dass es sehr schwer ist, einen reinen, ungefärbten PET-Strom im Recyclingprozess zu gewährleisten. Zusätzlich stellen Klebeetiketten durch die Verwendung von schlecht löslichen Substanzen in den Klebstoffen erhebliche Verunreinigungen dar.

Die Entwicklung einer standardisierten Methode zur Entleerung von PET-Gebinden stellt unsere Forschungsgruppe vor interessante Herausforderungen. In engem Zusammenspiel hat sich so rasch eine fluidmechanische Betrachtung der vorhandenen Probleme herauskristallisiert, die zu deutlichen Verbesserungen von anwendungsorientierten Designempfehlungen führt. Durch die verbesserte Entleerbarkeit können Ressourcen im Waschprozess bei der Wiederaufbereitung des Kunststoffes geschont werden.

4 CONCLUSIO & AUSBLICK

Die Produktpalette der in rigid PET verpackten Lebens- und Reinigungsmittel im österreichischen Einzelhandel ist groß. Wir sehen ein eindeutiges Potential, dass mit der Schließung des Recyclingkreislaufs aus den untersuchten Produktgruppen, mehr Rezyklat zur Verfügung steht. Im laufenden Projekt werden die Daten noch durch eine Hochrechnung auf die Duplikate verbessert werden.

Im Rahmen des laufenden Forschungsprojekts sind weitere Erhebungen und Versuche geplant: Auf Seite der Entleerung ist eine fluidmechanische Aufarbeitung des Problems zwischen Materialeinsatz und Entleerung nach Vorbild von [7] und [11] geplant. Eine

Korrelation zwischen sleeve Farben und Materialien zur genaueren Bestimmung der Ursachen, warum farbliche sleeves schlechter sortierbar sind, ist ebenfalls in Planung.

Solide statistische Ergebnisse und daraus abgeleitet Empfehlungen für das Design for Recycling [9] werden schlussendlich nach Ergänzung der Duplikate möglich sein.

5 REFERENZEN

- [1] ARA Recyclingbericht 2020: <https://transparenzbericht.ara.at/was-uns-ausmacht/stoffstrome/#kennzahlen-materialstroeme>
- [2] M.K. Eriksen, J.D. Christiansen, A.E. Daugaard, T.F. Astrup, Closing the loop for PET, PE and PP waste from households: Influence of material properties and product design for plastic recycling, *Waste Management*, Volume 96, 2019, Pages 75-85, ISSN 0956-053X, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.07.005>.
- [3] Emile Van Eygen, David Laner, Johann Fellner, Circular economy of plastic packaging: Current practice and perspectives in Austria, *Waste Management*, Volume 72, 2018, Pages 55-64, ISSN 0956-053X, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.11.040>
- [4] Einzelhandlesstatistik Österreich Statista.com 2023: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/215847/umfrage/umsatz-der-groessten-haendler-in-oesterreich/>
- [5] Einzelhandelsstatistik Österreich Statista.com 2023: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/73421/umfrage/umsatz-der-fuehrenden-unternehmen-im-lebensmittelhandel-in-oesterreich-im-jahr-2008/>
- [6] Wohner, B.; Pauer, E.; Heinrich, V.; Tacker, M. Packaging-Related Food Losses and Waste: An Overview of Drivers and Issues. *Sustainability* **2019**, *11*, 264. <https://doi.org/10.3390/su11010264>
- [7] RecyClass, Design for Recycling Guideline, 2023: <https://recyclclass.eu/recyclability/design-for-recycling-guidelines/>
- [8] FH Campus Wien, Circular Packagin Design Guideline, 2022: <https://digital.obvsg.at/obvfcwacc/download/pdf/8086818?originalFilename=true>
- [9] Jahn, E.: Analyse von Selbstklebeetiketten auf PET Trays und deren Ablösbarkeit, FH Campus Wien Bachelorarbeit 2023 (in review)
- [10] Yoxall A, Kamat SR, Langley J, Rowson J. Squeezability. Part 2: Getting stuff out of a bottle. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*. 2010;224(6):1261-1271. doi:[10.1243/09544062JMES1772](https://doi.org/10.1243/09544062JMES1772)
- [11] Xiaozheng Chen, Enhancing plastic bottle sorting through shrink sleeve detection with near-infrared spectroscopy by validation of machine learning algorithms, *Schriftenreihe zur Aufbereitung und Veredlung*, 80 Shaker Verlag, Düren, 2022 ISBN: 9783844084481