

Studie zum Thema „Vergleich der Eignung verschiedener Bewertungssysteme für die Recyclingfähigkeit von Verpackungsmaterialien in Österreich“

Bestellreferenz 205000

Auftragsnummer 2002365/12814

Endbericht August 2021

Mag^a. Anja Fredriksson, MSc; Dr. Angelika Derler;

Dr. Michael Washüttl

durchgeführt für den Fachverband der chemischen Industrie
Österreichs - FCIO



26.August 2021, Dr. Michael Washüttl

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
1.1	Recyclingfähigkeit aus Sicht der Abfallwirtschaft	6
1.2	Herausforderungen in der Kreislaufwirtschaft	7
2	Ziel und Rahmen der Studie	8
2.1	Theoretische Betrachtung unterschiedlicher Bewertungssysteme der Recyclingfähigkeit in Österreich	8
2.2	Fragebogenbasiertes Interview mit den ausgewählten Bewertungssystembetreibern der Recyclingfähigkeit und der Sortier- und Verwertungsbranche	8
2.3	Theoretischer Vergleich der materialspezifischen Unterschiede der Bewertungssysteme in Form von 5 Fallbeispielen mit anschließender Ergründung via Interviews mit den Systembetreibern der Recyclingfähigkeitsbewertung	9
2.4	Praktische Durchführung von Versuchen im Labormaßstab zur Einschätzung der Problematik unterschiedlicher Klebeetiketten auf Verpackungsmaterialien	10
3	Theoretische Analyse der verschiedenen Schwerpunkte und strukturellen Unterschiede relevanter Bewertungssysteme der Recyclingfähigkeit für Österreich	12
3.1	Überblick über die 6 herangezogenen Bewertungssysteme der Recyclingfähigkeit	12
3.1.1	Recycability Rate Assessment (RecyClass)	12
3.1.2	cyclos-HTP GmbH	13
3.1.3	Packaging Sustainability Tool (Circular Analytics TK GmbH)	14
3.1.4	circulate°expert & circulate°easy (Reclay Systems GmbH)	14
3.1.5	Made for Recycling und Check for Recycling (Interseroh Austria GmbH)	15
3.1.6	Pack2Recycle (European Recycling Plattform (ERP) Austria GmbH)	16
3.2	Theoretische Berücksichtigung von österreichischen Entsorger- und Recycler-Infrastrukturen durch die Bewertungssysteme	16
3.2.1	Recycability Rate Assessment (RecyClass)	16
3.2.2	cyclos-HTP GmbH	17
3.2.3	Packaging Sustainability Tool (Circular Analytics TK GmbH)	18
3.2.4	circulate°expert (Reclay Systems GmbH)	18
3.2.5	Made for Recycling (Interseroh Austria GmbH)	18
3.2.6	Pack2Recycle (European Recycling Plattform (ERP) Austria GmbH)	19
3.3	Theoretischer Vergleich der-spezifischen Unterschiede in der Recyclingfähigkeitsbewertung mit anschließender Ergründung via Interviews mit den Bewertungssystembetreibern	19
3.3.1	Berücksichtigung der Störstoffe im Überblick	19
3.3.2	Berücksichtigung der Pfadzuteilung im Überblick	20
3.3.3	Berücksichtigung der Sortierfähigkeit im Überblick	21
4	Auswertung der Fragebögen	24
4.1	Fragebögen der Bewertungssystembetreiber	24

4.1.1	Integration der österreichischen Sammlungs-, Sortierungs- und Verwertungsstrukturen in das Bewertungssystem	24
4.1.2	Einfluss des Konsumentenverhalten im Bewertungssystem.....	25
4.1.3	Berücksichtigung von neuen Sortiertechnologien im Bewertungssystem.....	25
4.1.4	Berücksichtigung der österreichspezifischen Vorgehensweise bei Monolayer PET Schalen im Bewertungssystem.....	25
4.2	Fragebögen der Sortier- und Verwertungsstrukturen.....	26
4.2.1	Integration der Sortierer und Rezyklierer in den Aufbau der Bewertungssysteme der Recyclingfähigkeit aus Sicht der Sortier- und Verwertungsbranche	26
4.2.2	Integration der Störfaktoren in die Bewertung der Recyclingfähigkeit aus Sicht der Sortier- und Verwertungsbranche	27
4.2.3	Integration österreichspezifischer Aspekte in die Bewertung der Recyclingfähigkeit aus Sicht der Sortier- und Verwertungsbranche.....	27
5	Auswertung der 5 Fallbeispiele auf Basis von Literaturdaten und der Ergebnisse der Fragebögen.....	28
5.1	Fallbeispiel 1: PP Tiefziehschale	28
5.2	Fallbeispiel 2: PE-Beutel	34
5.3	Fallbeispiel 3: PET Schale.....	39
5.4	Fallbeispiel 4: PPK-Verbund.....	46
5.5	Fallbeispiel 5: Kunststoffverbund PP/EVOH/PP	49
5.6	Befragung zu design-spezifischen Aspekten der Bewertung der Recyclingfähigkeit	55
5.6.1	Klebeetiketten und Klebstoffe als Störfaktoren der Recyclingfähigkeit Bewertungssystembetreiber.....	55
5.6.2	Klebeetiketten und Klebstoffe als Störfaktoren der Recyclingfähigkeit - Sortierer und Recycler.....	55
5.6.3	Biobasierte Kunststoff - Bewertungssystembetreiber	56
5.6.4	Metallisierung als Störfaktor - Bewertungssystembetreiber	56
5.6.5	EVOH-Einsatz - Bewertungssystembetreiber.....	57
5.6.6	PPK-Verbund – 80/20 Prozent Einstufung - Bewertungssystembetreiber.....	57
6	Praktische Durchführung von Versuchen im Labormaßstab zur Einschätzung der Problematik unterschiedlicher Klebeetiketten auf Verpackungsmaterialien.....	58
6.1	Versuchsaufbau Klebeetiketten	59
6.1.1	IR-Spektroskopie.....	60
6.2	Praktische Analyse in der derzeit ungelösten Problematik von Etiketten und Klebstoffen.....	60
6.3	IR Spektroskopie.....	63
6.4	Praktischer Versuch zur Ermittlung des Einflusses von Klebeetiketten und Klebstoffen auf die Recyclingfähigkeit.....	64
6.4.1	IR-Spektroskopie.....	74

7	Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse	76
8	Anhang.....	85
8.1	IR-Spektren der Klebstoffe der Etiketten	85
8.2	IR-Spektrum der Etikettenaußenseite.....	86
9	Literaturverzeichnis	89

1 Einleitung

In den letzten Jahrzehnten nahm der Verpackungsmüll in Österreich stetig zu. Der aktuelle Statusbericht 2020 vom Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität und Innovation und Technologie weist auf eine Menge an jährlichen nationalen Verpackungsmüll im Referenzjahr 2018 von rund 1,38 Mio. t hin (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, 2020). Rund 0,3 Mio. t der Verpackungsabfälle sind hierbei auf Kunststoffverpackungen zurückzuführen. Der überwiegende Teil der getrennt erfassten Kunststoffverpackungsabfälle wird als Ersatzbrennstoff verwertet.

Der Bedarf des Einsatzes von wiederverwertbaren Materialien in der Kreislaufwirtschaft aufgrund von gesetzlichen Vorgaben, dem wachsenden gesellschaftlichen Bewusstsein für umweltrelevanter Thematiken und dem steigenden Bedarf nachhaltigkeitsorientierter Lösungsmöglichkeiten in der Wirtschaft sowie der Notwendigkeit der Ressourcenschonung ist in den letzten Jahren deutlich gestiegen. Oft bezieht sich die gesellschaftliche Wahrnehmung der gesamten Abfallthematik lediglich auf den Bereich der Kunststoffverpackungen, obwohl dieser nur 21,3% der Verpackungsabfallmenge ausmacht. Im Bereich der Kunststoffverpackungen wird nur ein geringer Teil zur Wiederverwertung herangezogen. Die zugrundeliegende Problematik ist komplex, wobei einige Punkte angeführt werden. Einerseits existieren in Österreich mehr als 15 verschiedene Abfallsammelarten, die von 6 verschiedenen Sammelsystemen mit unterschiedlichen Ausprägungen bewältigt werden. Die Sammlungsinfrastruktur von Kunststoffverpackungsabfällen ist vorwiegend auf die Hohlkörpersammlung ausgerichtet. Nationale Sortieranlagentechnologien sind maßgeblich veraltet. Andererseits trägt die große Diversität von Verpackungen im Design, in der Materialzusammensetzung etc. entscheidend dazu bei, dass die Recyclingquote von Kunststoffverpackungen in Österreich 25 % beträgt (WKÖ 2021). Einen weiteren limitierenden Faktor stellen die technischen Anforderungen an die Verpackungen und Kunststoffprodukte dar, die oftmals nach dem Sortier- und Recyclingprozess nicht mehr eingehalten werden können (vor allem Farbvorgaben). Im Einsatz der Rezyklate stehen die Verpackungserzeuger im Wettbewerb mit Kunststoffverarbeitern aus anderen Anwendungs- und Produktbereichen. Die Verarbeiter setzen hochwertige Rezyklate (oftmals in Lebensmittelqualität und reinweiß oder hellgrau) ein und nehmen höhere Preise in Kauf. Aufgrund des Preisdruckes in der Verpackungsindustrie geraten die Verpackungshersteller hierbei ins Hintertreffen.

Der Einsatz von Recyclingmaterial im Lebensmittelbereich wird durch die Anforderungen der European Food Safety Authority (EFSA) geregelt. Diese gibt vor, dass eine getrennte Sammlung von Lebensmittel- und nicht Lebensmittelverpackungen zu erfolgen hat, wobei z.B. beim PET Recycling der Anteil aus Nicht-Lebensmittel-Verwendungen maximal 5% betragen darf (EFSA, 2012).

Die EU-Verpackungsrichtlinie 1994, nach ihrer Novelle 2018, beinhaltet das ambitionierte Ziel, bis zum Jahr 2025 eine Steigerung der Recyclingquote auf 50% zu erreichen. Bis 2030 muss die Quote weiter auf 55% angehoben werden. Diese Forderung stellt gegenüber der derzeitigen nationalen Recyclingquote von 25% eine erhebliche Steigerung dar (WKÖ 2021). Die enorme Steigerung der Anforderungen übt hierbei einen hohen Druck auf alle kreislaufbeteiligten Branchen (Handelsketten, Verpacker, Verwerter, Sortierer, Recycler) aus. Durch die 2020 vom europäischen Rat beschlossene plastic tax (Plastiksteuer) wurden die Mitgliedstaaten verpflichtet, eine Abgabe in der Höhe von 80 Cent pro kg nicht rezyklierten Verpackungskunststoff an die EU zu entrichten. Auch seitens des österreichischen Gesamtbudgets ist es nun von hohem Interesse, diese Abgabe so gering wie möglich zu halten, und somit wird der Druck auf die Hersteller von Kunststoffverpackungen,

recyclingfähige Verpackungen herzustellen und auch auf die Inverkehrsetzer (Handel), nur recyclingfähige Verpackungen in den Verkehr zu setzen drastisch erhöht.

1.1 Recyclingfähigkeit aus Sicht der Abfallwirtschaft

Der Begriff Recyclingfähigkeit eines Produkts beschreibt dessen Fähigkeit als Abfall, durch eine entsprechende getrennte Erfassung, Sortierung und anschließende abfalltechnische Aufarbeitung wieder in ein wiederverwendbares Produkt rückgeführt werden zu können. Ziel ist, durch die Steigerung der Recyclingfähigkeit Neuware (Primärmaterial) durch Sekundärrohstoffe (Rezyklate) zu ersetzen, um die Ressourcenschonung und die damit einhergehende Kreislaufwirtschaft voranzutreiben. Dieser allgemein gehaltene Begriff kann nun von unterschiedlichen Standpunkten aus betrachtet werden. Die theoretische Recyclingfähigkeit beschreibt hierbei die Prüfung des Produkts auf seine Fähigkeit, in seiner ursprünglichen Form und Zusammensetzung recycelt werden zu können, bevor es dem Entsorgungsprozess übergeben wird. Hierbei kann eine hohe Recyclingfähigkeit anhand der chemischen und physikalischen Eigenschaften des Produkts analysiert werden. Die Analyse lässt allerdings die technische Umsetzung im tatsächlichen Entsorgungsprozess außer Acht. Unter realen Bedingungen kann sich eine Verpackung mit hoch beurteilter theoretischer Recyclingfähigkeit in der Praxis als gering oder nicht recyclingfähig erweisen. Der Einbezug der technischen Recyclingfähigkeit gibt darüber Aufschluss, ob das Produkt, bzw. das Abfallprodukt, unter den regionalen Vorgaben zu den Erfassungs-, Sortier- und Recyclingprozessen zu einem Rezyklat verarbeitet werden kann. Erfüllt das Produkt sowohl theoretische als auch technische Anforderungen, kann eine real/tatsächlich fehlende oder mangelnde regionale Sammelinfrastruktur trotzdem noch dazu führen, dass eine Recyclingfähigkeit nicht umsetzbar ist. Wenn allerdings die theoretische, als auch die technische Recyclingfähigkeit des Produkts berücksichtigt sind, die regionale Ausschleußbarkeit als Wertstoff sichergestellt ist, ein realer Markt für den Wertstoff existiert und ein anschließendes Recyclingverfahren den Wertstoff in ein Sekundärprodukt überführt, spricht man von der realen Recyclingfähigkeit (Pomberger, 2020).

Um eine möglichst hohe reale Recyclingfähigkeit erreichen zu können, ist sowohl das Design der Verpackung, sowie das Vorhandensein geeigneter Erfassungs-, Sammlungs-, Sortier-, Recyclings- und Verwertungsstrukturen entscheidend.

Die falsche Zuordnung der Abfallprodukte zu den unterschiedlichen Abfallfraktionen (z.B. Restmüll, gelber Sack/Tonne) – sogenannte Fehlwürfe - auf Seiten des Konsumenten wird nach wie vor als ein wesentlicher Einflussfaktor für eine Verschwendung von potentiell recyclingfähigen Kunststoffverpackungsmaterial in Österreich angesehen. Laut einer Studie der Wirtschaftskammer Steiermark und des Amts der Steiermärkischen Landesregierung könnte unter anderem die verstärkte Bewusstseins-schaffung auf Seiten der Konsumenten Verbesserungen ermöglichen. Ebenso könnte die Schaffung einer einheitlichen Erfassung in Österreich (STW: 15 verschiedene Sammelarten) oder auch die Einführung von Pfandsystemen Anreize für eine bessere Trennung bringen (WKO Steiermark und Amt der Steiermärkischen Landesregierung 2020). Die durch die getrennte Wertstoffsammlung erhaltenen Kunststoffverpackungsabfälle werden in Sortieranlagen in weitgehendst sortenreine Sortierfraktionen (entsprechend den Vorgaben der jeweilig beauftragenden Sammelsysteme) aufgetrennt. Diese Konzentrate (Sortierfraktionen) werden an Recyclingunternehmen zur weiteren Verarbeitung zu Rezyklaten übergeben.

1.2 Herausforderungen in der Kreislaufwirtschaft

Österreich hat sich seit der Einführung der erweiterten Produzentenverantwortung für Verpackungen im Jahr 1993 im Recycling mit Platz 3 ins europäische Spitzenfeld gebracht. (WKÖ 2021). In Abbildung 1 wird deutlich, dass insbesondere beim Recycling von Kunststoffen noch viele Herausforderungen ökologischer, wirtschaftlicher, gesellschaftlicher und vor allem technischer Art zu bewältigen sind. Die nationale Kunststoffrecyclingquoten lag 2020 bei 25% (Ansatz der neuen, verschärften EU-Berechnungsmethode) und entsprach einer jährlichen Gesamtmenge von 75.000 t. Bis 2025 muss diese Menge auf 150.000 t/a verdoppelt werden, um die geforderten Recyclingquoten der EU zu erzielen (WKÖ 2021). Der gesamte Kreislauf, von der Produktion über die Nutzung und die Entsorgung bis hin zur Wiederaufbereitung und Verwendung für neue und in neue(n) Produkte(n), muss analysiert, optimiert und innoviert werden. Hierbei ist zu erwähnen, dass der Wertschöpfungskreislauf bereits enorme Anstrengungen unternimmt, um die Optimierung des Kreislaufes herbeizuführen. Nicht nur die Wirtschaft stellt einen Schlüsselfaktor der Zielerreichung dar, sondern Politik und Gesellschaft müssen die Umsetzung der circular economy proaktiv unterstützen. Es wird darauf ankommen, dass sich die entscheidenden politischen und industriellen Stakeholder schulterschießend klar werden, wie und von wem die großteils bereits definierten zielgerichteten Maßnahmen, Regelwerke und Investitionen umgesetzt werden. Industrieseitig müssen sich die wichtigsten Branchen der Kunststoff- und Verpackungsindustrie, der Entsorgungs- und Recyclingbranche sowie kreislaufschießend der stofflichen Verwertungsindustrie (Verpackungsindustrie) vernetzen und detailliert abstimmen. Die Umsetzung / Ermöglichung der Kreislaufwirtschaft beginnt schon beim Design von Produkten, das bereits auf die unterschiedlichen „Leben danach“ ausgerichtet sein muss. Im Produktdesign gilt es sowohl das Design for Recycling, als auch das Design from Recycling bereits einzukalkulieren. Die im Lebenszyklus genau dazwischen liegenden Prozessschritte wie Erfassung, Sammlung, Sortierung, Recycling und der Wiedereinsatz als Sekundärrohstoff sind ausschlaggebende Faktoren, ohne deren Inbezugnahme eine reale Recyclingfähigkeit nicht umsetzbar ist und bleibt.

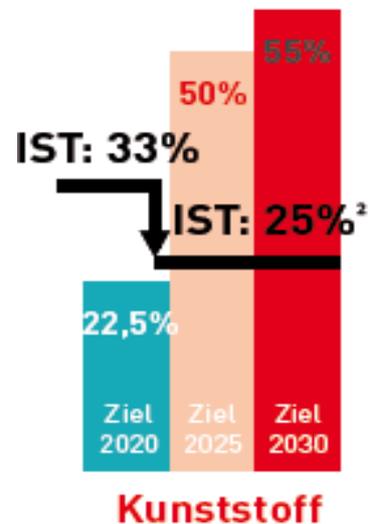


Abbildung 1: Vergleich der Kunststoffrecyclingquoten IST 2017 mit den EU-Zielen 2020, 2025, 2030 (Quelle: WKÖ 2021)

Genau aus diesem Grund wird in diesem Bericht versucht - zusätzlich zu der Gegenüberstellung der relevantesten Bewertungssysteme für Österreich - die kreislaufbeteiligten Branchen miteinzubeziehen. Es wurde eine qualitative Befragung der Bewertungssysteme, der Sortierer und Recycler durchgeführt, um die Erfolge, Schwachstellen, Wünsche und Zukunftsvisionen der befragten Branchen in Bezug auf die Ausgestaltung der Bewertung der Recyclingfähigkeit zu erheben. Die Erkenntnisse dienen sowohl den Betreibern und Ausgestaltern von Bewertungssystemen als auch all jenen Industrien, die am Kreislauf von (Kunststoff-)Verpackungen mitwirken.

2 Ziel und Rahmen der Studie

2.1 Theoretische Betrachtung unterschiedlicher Bewertungssysteme der Recyclingfähigkeit in Österreich

Im Zuge der vorliegenden Studie wurden verschiedene Bewertungssysteme, welche die Recyclingfähigkeit von Verpackungen in Österreich beurteilen, verglichen. Es erfolgte eine theoretische Analyse der verschiedenen Schwerpunkte und strukturellen Unterschiede der Bewertungssysteme der Recyclingfähigkeit für Österreich. Hierfür wurde zuerst mittels einer umfassenden Literaturrecherche erhoben, welche Bewertungssysteme für den österreichischen Markt zugänglich sind und unter welchen grundsätzlichen Kriterien eine Evaluierung stattfindet.

Nach der Literaturrecherche sowie auf Basis des derzeitigen Stands des Wissens und Stand der Technik der Systeme, wurden die folgenden 6 gelisteten Bewertungssysteme für Österreich identifiziert:

- Recycability Rate Assessment (RecyClass)
- cyclos-HTP GmbH
- Packaging Sustainability Tool (Circular Analytics TK GmbH)
- circulate°expert & circulate°easy (Reclay Systems GmbH)
- Made for Recycling und Check for Recycling (Interseroh Austria)
- Pack2Recycle (European Recycling Platform (ERP) Austria GmbH)

Aufgrund der Ergebnisse wurde festgestellt, dass sich die Systembetreiber äußerst inkongruent in der Informationsfreigabe bezüglich ihrer Bewertungssysteme verhalten. Bei 3 der 6 Systeme war die Informationsbeschaffung einfach. Diese Systembetreiber legen besonderen Wert darauf, ein transparentes Bewertungstool anzubieten. Bei einem Bewertungssystem konnte durch längere Recherchen weitere Literatur gesichtet werden, die einen tieferen Einblick in die Strukturen des Systems zuließen. Zwei Bewertungssysteme erlaubten trotz intensiver Nachfrage kaum Einsicht, wodurch nur auf die Inhalte der Homepage zurückgegriffen werden konnte. Ziel der theoretischen Analyse war es, einen schematischen Überblick über die in Österreich vorherrschenden Bewertungssysteme zu erhalten.

2.2 Fragebogenbasiertes Interview mit den ausgewählten Bewertungssystembetreibern der Recyclingfähigkeit und der Sortier- und Verwertungsbranche

Aufbauend auf den Erkenntnissen der Literaturrecherche wurden in einem ersten Schritt die Betreiber der ausgewählten 6 Bewertungssysteme zu ihrer Methodik zur Bewertung der Recyclingfähigkeit mittels Fragebogen befragt. Es konnte ein Rücklauf von 80% (5 von 6 befragten Systemen) erzielt werden. Im Zuge des Interviews wurde herausgearbeitet, inwiefern Bewerter auf österreich-spezifische Erfassungs-, Sammlungs-/Sortierungs- und Recyclinginfrastrukturen eingehen.

Im nächsten Schritt wurden Branchenvertreter von Sortier- und Recyclingunternehmen zu ihrer Einschätzung bewertungsrelevanter Aspekte befragt. Die Auswahl der befragten Betriebe berücksichtigte nach Möglichkeit den Einbezug von Unternehmen unterschiedlicher

Bundesländer, um Einblicke in unterschiedliche regionale Gegebenheiten zu erhalten und somit ein gesamtösterreichisches Bild darzustellen. Es wurden 5 Sortier- und 6 Recyclingunternehmen befragt. Bei den Sortierern konnte ein Rücklauf von 80%, bei den Recyclern ein Rücklauf von 67% erzielt werden. 4 Sortier- und 4 Recyclingunternehmen erklärten sich bereit, aktiv an der Umfrage teilzunehmen.

Die Auswertung der Fragebögen wird in Kapitel 4 anhand von themenverwandten Fragestellungen abgehandelt und geclustert. Die Befragungen der unterschiedlichen Stakeholdergruppen wurden verglichen. Die Antworten der Sortier- und Recyclingunternehmen wurden für die Studie anonymisiert.

2.3 Theoretischer Vergleich der materialspezifischen Unterschiede der Bewertungssysteme in Form von 5 Fallbeispielen mit anschließender Ergründung via Interviews mit den Systembetreibern der Recyclingfähigkeitsbewertung

In diesem Kapitel werden auf Basis von 5 Fallbeispielen die Bewertungssysteme theoretisch miteinander verglichen. Hierfür wurden 5 handelsübliche Verpackungen ausgewählt, die aus verschiedenen Kunststoffen bestehen. Die hierbei absichtlich gewählte Diversität des Materials Materialdiversität soll dazu dienen, einen Überblick über die Recyclingfähigkeitsbewertung verschiedener Kunststoffverpackungen zu erlangen. Zusätzlich wurden zwei verschiedene Verbundverpackungen gewählt, um eventuelle Unterschiede in der Recyclingfähigkeitsbewertung aufzuzeigen.

Die 5 Fallbeispiele werden durch die 5 Verpackungsarten mit beschriebenen Spezifikationen (siehe Tabelle 1) repräsentiert. Aus dem bereits angeführten Grund wurden Verpackungen mit folgender Zusammensetzung als repräsentative Stichprobengruppe gewählt: Kunststoff-Monomaterialien (PP, PE, PET), Papier-Pappe-Kunststoff (PPK)- und Kunststoffverbund. Ein folgerichtiger Vergleich unterschiedlicher Bewertungssysteme konnte vor allem aufgrund der freien Zugänglichkeit des Bewertungskatalogs von RecyClass und cyclos- HTP durchgeführt werden. Um das Packaging Sustainability Tool in den Vergleich miteinzubeziehen, wurde als Basis die Circular Packaging Design Guideline herangezogen. Stellvertretend für andere Bewertungssysteme wurden die gewählten Bewertungssysteme mit dem Mindeststandard § 21 Abs. 3 VerpackG der Stiftung Zentrale Stelle Verpackungsregister (Deutschland) verglichen.

Resümierend konnte der theoretische Vergleich der materialspezifischen Unterschiede konkret nur für folgende 3 Bewertungssysteme RecyClass, cyclos-HTP und das Packaging Sustainability Tool angestellt werden.

Tabelle 1: Spezifikationen der gewählten Verpackungen für die 5 Fallbeispiele

Fallbeispiel	Verpackungsart	Spezifikation
<p>1</p> 	PP-Tiefziehschale	Tiefziehschale und Siegelfolie PP transparent, Etiketle aus Papier auf Siegelfolie
<p>2</p> 	PE-Beutel	PE Folie mit Papieretikette auf Vorderseite und Rückseite, trennbarer Metallclip mit Kunststoffüberzug
<p>3</p> 	PET-Tiefziehschale	Tiefziehschale aus Mono-PET, Siegelfolie mit coex. Sperrschicht aus PE/PA/EVOH/PA/PP
<p>4</p> 	PPK Verbund	Oberfolie: PET/PE 73 (Bi-axially oriented PET, laminated to PE with or without AF) Unterfolie: Papier: 80.3 % - KS: 19.7 %
<p>5</p> 	Verbundmaterial aus biaxial orientiertem Polypropylen mit einer coextrudierten Siegelsperrschicht aus EVOH und Polypropylen	Coextrudierte Tiefziehfolie mit der Struktur Polypropylen/EVOH/Polypropylen

2.4 Praktische Durchführung von Versuchen im Labormaßstab zur Einschätzung der Problematik unterschiedlicher Klebeetiketten auf Verpackungsmaterialien

Die Versuchsreihe zielte darauf ab, durch eine Testung möglichst unterschiedlicher Einflussfaktoren, wie unterschiedliche Kunststoffverpackungen und Etikettenmaterialien, das Spektrum der derzeitigen realen industriellen Situation darzustellen.

Hierbei wurde versucht, konventionell erhältliche Verpackungsmuster mit recyclingfähigen Verpackungsmuster zu vergleichen. Um mögliche Unterschiede in Etikettenmaterialien feststellen zu können, wurden sowohl Kunststoff- als auch Papieretiketten als Proben vorbereitet.

Ziel des Laborversuchs war es, das Ablöse- und Trennverhalten unterschiedlicher Etiketten an unterschiedlichen Verpackungsmaterialien feststellen zu können. Hierfür wurde anhand

von Waschbedingungen, welche von Bewertungssystemen als Grundlage ihrer Evaluierungen vorausgesetzt werden, getestet. Meist beschränken sich die Bewertungssysteme auf ein Ablöseverhalten, welches unter wässrigen oder wässrig alkalischen Bedingungen erfolgt (Institut cyclos-HTP GmbH, 2020). Der Einsatz von Detergenzien könnte allerdings die Ablösung vom Verpackungsmaterial deutlich erleichtern.

Alle gewählten Proben wurden folglich in zwei Versuchsansätzen mit und ohne Zusatz eines Detergens zur Waschlösung behandelt, um Rückschlüsse auf die derzeit gängigen Beurteilungsbedingungen der Bewertungssysteme zu erhalten. Durch die zusätzliche Erprobung der Waschlösung mit Detergens wurde bezweckt, eine begleitende Potentialerhebung durchzuführen.

3 Theoretische Analyse der verschiedenen Schwerpunkte und strukturellen Unterschiede relevanter Bewertungssysteme der Recyclingfähigkeit für Österreich

3.1 Überblick über die 6 herangezogenen Bewertungssysteme der Recyclingfähigkeit

In diesem Kapitel werden die 6 Bewertungssysteme erstmals beschrieben. Anschließend wird die spezifische Ausrichtung der Bewertungssysteme auf die österreichische Sortier- und Verwertungsstruktur erläutert. Abschließend in diesem Kapitel erfolgt eine Detaillierung der Unterschiede zwischen den Bewertungssystemen, die durch die Interviews mit den Bewertungssystembetreibern vertieft werden.

3.1.1 Recyclability Rate Assessment (RecyClass)

Mit RecyClass werden ausschließlich Kunststoffverpackungen bewertet und hinsichtlich ihrer Recyclingfähigkeit eingeteilt. Die Methodik umfasst eine qualitative (Design-for-Recycling-Zertifizierung) sowie eine quantitative (Zertifizierung der effektiven Recyclingfähigkeit in spezifischer Region) Analyse.

Die qualitative Analyse, bezeichnet als Design for Recycling Assessment, betrachtet die Recyclingfähigkeit anhand des aktuellen (durchschnittlichen) Stands der Technik von Sortier- und Recyclingtechnologien sowie Wiederverwendung in Europa. Die bewerteten Verpackungen werden in Klassen von A (komplett recyclingfähig) bis F (nicht recyclingfähig) eingeteilt. Bei diesem Assessment kann der/die Kund*in auch das Online-Self-Assessment-Tool (<https://recyclclass.eu/tool/account/>) nutzen, für dessen Gebrauch nur eine kostenlose Registrierung notwendig ist. Die Ergebnisse des Online-Tools können jedoch von einer detaillierten Bewertung durch die Expert*innen von RecyClass abweichen, da alle Bewertungskriterien nur im Vollmodus freigeschaltet sind. Weitere Details zur Einstufung und dem Modus Operandi des Tools finden sich in der RecyClass Recyclability Methodology (2020).

(Link: https://recyclclass.eu/wp-content/uploads/2021/04/RecyClass_methodology_UPDATED-1.pdf)

Die quantitative Analyse ist die Ermittlung der Recyclingfähigkeitsrate (Recyclability Rate Assessment) und wird als Verhältnis zwischen dem Gewicht des recyclingfähigen Kunststoffs aus der Verpackung und dem Gesamtgewicht der Verpackung berechnet und angegeben. Hier werden Erfassung, Sammlung, tatsächliche Verfügbarkeit von Sortier- und Recyclinginfrastruktur und Wiederverwendung im spezifischen Gebiet miteinbezogen. Die praktischen Prüfungen der zu bewerteten Verpackung werden, gemäß den Protokollen sowie den Empfehlungen des RecyClass Fachausschusses, durch ein unabhängiges Labor durchgeführt. Dieses Zertifikat enthält sowohl die Recyclingfähigkeitsklasse A - F als auch eine prozentuelle Angabe der Recyclingfähigkeit. Details zur Formel sowie den Unvereinbarkeiten hinsichtlich des Recyclings sind ebenfalls in der Guideline zu finden. Somit kann eine Verpackung, welche anhand ihrer Qualität des Wertstoffs und der prozentualen Recyclingfähigkeitsrate (prozentuale Angabe) die Kategorie A-C bzw. 50-100% erreicht, als recyclingfähig definiert werden. Die dann vorliegende Qualität des Recyklats kann einen neuen Rohstoff als Sekundärwert(roh)stoff im neuen Produkt ersetzen und schließt damit den Kreislauf.

Eine Zertifizierung bei RecyClass ist nur durch die Beauftragung der Prüfung durch deren Expert*innen zu erreichen, welche dann für 3 Jahre Gültigkeit hat. Zertifikate werden nicht von RecyClass direkt ausgestellt, sondern von akkreditierten Zertifizierungsstellen des jeweiligen Ziellandes. Die Kosten für eine Recyclingfähigkeitsbewertung liegen bei handelsüblichen Verpackungen zwischen 600 - 800 €.

Sowohl die qualitative als auch die quantitative Analyse berechtigen zum Aufdruck eines entsprechenden Labels auf der Verpackung. Der Vorschlag eines ISO 14021-konformen Labels/Logos sowie zuverlässige Aussagen zum Label werden derzeit von RecyClass erarbeitet und nach Abschluss zeitnah bekannt gegeben.

3.1.2 cyclos-HTP GmbH

cyclos-HTP und ARA haben den Anforderungs- und Bewertungskatalog der Recyclingfähigkeit von Verpackungen in Kooperation für Österreich angepasst und veröffentlicht. Die Bewertung erfolgt anhand von zwei Parametern: der Beschaffenheit und den realen Verwertungswegen nach Gebrauch. Die wesentlichen Merkmale der zugrundeliegenden Methode umfassen die Recyclingfähigkeit im Vergleich zu materialidentischer Neuware, Verfügbarkeit von Referenzprozessen im industriellen Maßstab, die gesamte Verwertungskette einschließlich quantitativer Bewertung des möglichen Nutzens einer Schließung von Stoffkreisläufen. Die Bewertung durch cyclos-HTP erfolgt durch die Zuordnung der zu beurteilenden Erzeugnisse in sogenannte Pfade. Derzeit werden 13 Pfade unterschieden und sie simulieren die dahinterliegenden Referenzprozessketten. Im sogenannten Recyclinglabor hat cyclos-HTP anerkannte Prüfmethode für Prüfungen der Recyclingfähigkeit entwickelt, die Teil der Bewertung sind. Die hier entwickelten CHI-Methoden beinhalten Sortierungs- und Recyclingprozesse in teilweiser Kooperation mit Universitätslabors. Im Interview wurden die Bedingungen und die Gültigkeit einer erfolgreichen Recyclingfähigkeit erfragt. cyclos-HTP verweist auf seine beschriebene Bewertungsgrundlage des Katalogs. Soweit der Durchlauf der einzelnen Pfade keine ausschließenden Bewertungskriterien festgestellt hat, wird ein von „Null“ abweichendes Ergebnis erstellt. Für ein Zertifikat ist eine individuelle Prüfung der Verpackung inklusive praktischer Labortests (CHI Methoden) anhand von Verpackungsmuster sowie Verpackungsspezifikationen notwendig. Das Zertifikat weist die Recyclingfähigkeit in Prozent aus.

Es können alle Verpackungen mit Hilfe des Katalogs auf Recyclingfähigkeit geprüft werden. Die Bewertung endet in Form von Kennziffern zwischen 0% (nicht recyclingfähig) und 100% (vollständig recyclingfähig). Das Prüfzeugnis beinhaltet ebenfalls eine Klassifizierung, welche sich nach der prozentualen Recyclingfähigkeit in AAA+ bis C staffelt. Die Zertifizierung beinhaltet die Benutzung des Prüfsiegels des Instituts cyclos-HTP. Das erlangte Zertifikat ist max. 2 Jahre gültig, sofern keine qualitative oder quantitative Änderung der Verpackungskomponenten erfolgt. Die Kosten für eine Recyclingfähigkeitsbewertung liegen bei handelsüblichen Verpackungen, ohne spezielle Laboruntersuchung, jedoch inklusive NIR-Labor, bei 980€.

Für den österreichischen Markt wurde eine Kooperation zwischen der ARA und dem Institut cyclos-HTP aufgebaut. Das ARA Circular Design Team hat umfassende Kompetenz in der Erfassung, Sammlung, Sortierung und Verwertung und beim Einsatz von Rezyklaten in Österreich. Cyclos HTP hat die österreichspezifischen Daten in den Anforderungs- und Bewertungskatalog, folglich in die Recyclingfähigkeitsbewertungen integriert.

3.1.3 Packaging Sustainability Tool (Circular Analytics TK GmbH)

Die Circular Packaging Design Guideline wurde 2020 von der FH Campus Wien, dem Institut für Verpackungs- und Ressourcenmanagement, erarbeitet. Sie enthält Designempfehlungen für eine bessere Recyclingfähigkeit, mit stärkerem Fokus auf Kunststoffverpackungen. Die Guideline stellt kein Bewertungssystem per se dar. Verpackungen werden quantitativ nach Massenprozent (wie viel % materialidenten Neuwere kann das Rezyklat ersetzen) und qualitativ über eine Skala von sehr gut/gut bis nicht recyclingfähig (basierend auf Materialzusammensetzung, Farbe, usw.) eingestuft. Für die Recyclingfähigkeit werden Faktoren wie Erfassungsgrad, Sortierbarkeit, Verarbeitbarkeit und Marktpotenzial miteinbezogen. Die dafür herangezogenen Kriterien und auch jene Kriterien zur Gestaltung recyclingfähiger Verpackungen (und damit durchaus Grundlagen für ein Bewertungssystem) können der Circular Packaging Design Guideline direkt entnommen werden. (Link: https://www.fh-campuswien.ac.at/fileadmin/redakteure/Forschung/FH-Campus-Wien_Circular-Packaging-Design-Guideline_FIN_DE_Web.pdf)

Die Umsetzung der Circular Packaging Design Guideline in Form der Berechnung der Recyclingfähigkeit sowie die optionale Lebenszyklusanalyse erfolgt durch das mit der FH Campus Wien in Kooperation stehende Unternehmen Circular Analytics TK GmbH. Das Packaging Sustainability Tool der Circular Analytics TK GmbH umfasst die Bewertung des Verpackungssystems, Empfehlungen für die Optimierung desselbigen und ein Gutachten zur Recyclingfähigkeit und eine Lebenszyklusanalyse. Es können alle Verpackungen mit Hilfe des Packaging Sustainability Tool auf Recyclingfähigkeit geprüft werden. Auf Nachfrage wurde mitgeteilt, dass aktuell Gutachten ausgestellt werden können, die vorläufig für ein Jahr gültig sind. Durch die Vorgaben der EU zur Umsetzung der SUP-RL muss durch die österr. Regierung bis 1.7.2021 die Novelle der Verpackungs-VO veröffentlicht werden. Ein Entwurf der Verpackungsverordnungsnovelle 2021 wurde veröffentlicht (verfügbar unter: https://www.wko.at/service/ooe/umwelt-energie/Entwurf_Verpackungsverordnung-Novelle_2021.pdf). Die Überarbeitung der Novelle erfolgt bereits. Durch diese Novelle werden Änderungen in der Erfassung, Sammlung-, Sortierung und dem Recycling erwartet. Diese Änderungen müssen in das Tool entsprechend eingearbeitet werden. Nach dieser Umstellung soll die Gültigkeit auf 3 Jahre ausgeweitet werden. Die Kosten für eine Recyclingfähigkeitsbewertung für handelsübliche Verpackungen betragen 750€.

3.1.4 circulate°expert & circulate°easy (Reclay Systems GmbH)

Das Unternehmen bietet mit den zwei Ausführungen, „circulate°expert“ und „circulate°easy“, Benutzer*innen die Möglichkeit, Verpackungen auf ihre Recyclingfähigkeit bewerten zu lassen (<https://circulate.eco/>).

Bei „circulate°expert“ erfolgen Berechnung und Analyse durch das Tool, in Kombination mit einem Team von Verpackungsexpert*innen. Es besteht die Möglichkeit, mit dem/der Verpackungsexpert*in von Reclay Systems verschiedene Szenarien der Sortier- und Verwertungsstruktur zu modellieren. Die Ergebnisdarstellung ist von der/dem Kund*in in folgenden 4 Stufen frei wählbar: a.) Ergebnis in % b.) + Zertifikat, c.) + Zertifikat und Kurzbericht, d.) + Zertifikat und Kurzbericht und ausführlichen Report mit möglichen Handlungsempfehlungen.

Bei dem Online-Tool „circulate°easy“ können Kund*innen in Eigenregie arbeiten. In diesem Fall ist eine Registrierung notwendig und mit einer Gebühr von 95€ im Jahr können beliebig viele Verpackungen bewertet werden. Reclay Systems GmbH spricht davon, dass es keine Verpackung gäbe, die in der Online Version nicht bewertet werden könne. Die Bewertung

basiert auf einer „Unzahl an Vorlagen für markttypische Verpackungen“, die einfach individuell durch den/die Nutzer*in angepasst werden. (Reclay Systems GmbH)

Die Bewertung basiert auf den Angaben der Stiftung Zentrale Stelle Verpackungsregister und resultiert in einer Bewertung von A+++ bis C. Details zu den Mindeststandards und verwendbaren Verpackungsmaterialien finden sich in der diesjährigen Ausgabe (2020) der Mindeststandards zur Bemessung der Recyclingfähigkeit von Verpackungen und wurden ebenfalls von der Stiftung veröffentlicht (Stiftung Zentrale Stelle Verpackungsregister). Auf Nachfrage im Rahmen der Interviews wurde uns zusätzlich mitgeteilt, dass die Recyclingfähigkeit auf einem prozentualen Einstufungsmodell basiert und wie in Abbildung 2 ersichtlich kategorisiert wird.

Kategorie	Ergebnisbereich [%]	Bedeutung
A+++	95 bis 100	Beste Recyclingfähigkeit
A++	91 bis 94	Exzellente Recyclingfähigkeit
A+	85 bis 90	Sehr gute Recyclingfähigkeit
A	75 bis 84	Gute Recyclingfähigkeit
B	50 bis 74	Moderate Recyclingfähigkeit
C	0 bis 49	Geringe bis keine Recyclingfähigkeit

Abbildung 2: Bewertungsschema von Reclay circulate°expert

3.1.5 Made for Recycling und Check for Recycling (Interseroh Austria GmbH)

Das Unternehmen Interseroh Austria GmbH bietet das Service „Made for Recycling“ an, das sich aus einem 5-schrittigen Prozess zur Verpackungsoptimierung zusammensetzt. In dessen Rahmen wird auch die Recyclingfähigkeit der jeweiligen Verpackungen bewertet und zertifiziert. Dabei handelt es sich um einen Prüfkatalog, der in Zusammenarbeit mit dem bifa Umweltinstitut GmbH erarbeitet wurde und aus einem 3-stufigen Punktesystem mit einer Skala von 0-20 besteht. Je mehr Punkte eine Verpackung erhält, desto einfacher und besser ist diese zu recyceln. Die erste Stufe definiert, wie einfach es für den/die Verbraucher*in ist, die Verpackung dem richtigen Erfassungssystem zukommen zu lassen. Die zweite Stufe eruiert die Sortierbarkeit in Sortieranlagen, und die dritte Stufe besteht aus einem Eignungstest für die werkstoffliche Verwertung, der im firmeninternen Labor durchgeführt wird. Interseroh verknüpft das Service mit einer Beratungsdienstleistung, die eine individuelle Beratung des Auftraggebers beinhaltet. Es erfolgt eine persönliche Beratung zur Optimierung der Verpackung hinsichtlich der Recyclingfähigkeit unter Einbeziehung des unternehmensspezifischen Maschinenparks. Die optimierte Verpackung wird anschließend einer erneuten Bewertung unterzogen, und das Ergebnis an den/die Auftraggeber*in übermittelt. Das Interseroh Siegel „Made for Recycling“ darf nach der Bewertung „sehr gut“ verwendet werden. Das Zertifikat ist 2 Jahre nach Ausstellungsdatum gültig, sofern keine Veränderung der Verpackungskomponenten erfolgt.

Zusätzlich dazu bietet Interseroh Austria GmbH auch das Online-Tool „Check for Recycling“ an, womit eine Erstabschätzung der Recyclingfähigkeit von Produktverpackungen möglich ist. Dabei gibt der Benutzer Größe, Gewicht, Zusammensetzung und Komponenten der Verpackung ein und erhält anschließend eine Bewertung. Dieses Online-Service wird kostenlos für Bestandskunden der Interseroh Austria GmbH angeboten, eine Registrierung ist erforderlich (<https://www.interseroh-portal.de/c4r/>). In beiden Fällen sind keine

Einschränkungen hinsichtlich des Verpackungsmaterials angegeben. (Interseroh Austria GmbH)

3.1.6 Pack2Recycle (European Recycling Plattform (ERP) Austria GmbH)

ERP Austria GmbH gibt bezüglich seines Bewertungssystems Pack2Recycle keine öffentlichen Informationen frei. Auf Nachfrage im Rahmen des Interviews wurde ermittelt, dass es möglich ist, gemäß Pack2Recycle, unterschiedliche Materialien mit einem besonderen Schwerpunkt im Kunststoffbereich bewerten zu lassen. Auf der Homepage bietet ERP Austria GmbH seinen Kunden an, bei Optimierungswünschen bezüglich ihrer Verpackung sowie der Bewertung der Recyclingfähigkeit mit ihnen Kontakt aufzunehmen.

3.2 Theoretische Berücksichtigung von österreichischen Entsorger- und Recycler-Infrastrukturen durch die Bewertungssysteme

3.2.1 Recyclability Rate Assessment (RecyClass)

Das Design for Recycling Assessment wird unter Berücksichtigung des durchschnittlichen Stands der Technik der Sortier- und Recyclinginfrastruktur in Europa bewertet, während die Recyclability Rate Assessment unter Berücksichtigung der Sammelsysteme sowie der effektiven Verfügbarkeit von Sortier- und Recyclinginfrastrukturen in der geprüften Region bewertet wird.

Die Berechnungsformel von RecyClass berücksichtigt hierfür:

- ob die Verpackung gesammelt wird (lokal oder auf europäischer Ebene)
- ob die Verpackung sortiert und recycelt wird (lokal oder auf europäischer Ebene)
- ob das Verpackungsdesign mit den Sortier- und Recyclingverfahren kompatibel ist (Anwendung der gleichen Methodik wie zur Erreichung des Design for Recycling Assessment)
- ob und in welchem Umfang der recycelte Kunststoff verwendet werden kann, um Neuware als Rohkunststoff zu ersetzen (Anwendung der gleichen Methodik wie zur Erlangung der Zertifizierung der Recyclingfähigkeitsrate)

Eine Detaillierung der Information erfolgt in einer Befragung des Systembetreibers mittels des angehängten Fragebogens.

RecyClass gibt im Interview an, seinen Kund*innen eine österreichspezifische Bewertung anbieten zu können. Im Rahmen der Zertifizierung werden von den Experten die gegebenen Sammlungsstrukturen und lokalen Sortierungs- und Verwertungsinfrastrukturen miterfasst. Nationale Zertifizierungsstellen sind auf die Recyclingfähigkeitsbewertung für Österreich nach dem RecyClass Recyclability Methodology Leitfaden ausgelegt.

3.2.2 cyclos-HTP GmbH

Der Anforderungs- und Bewertungskatalog von cyclos-HTP verfolgt den Anspruch eines europäischen Geltungsbereichs auf nationalstaatlicher Ebene. Es werden die Erfassungs- und tatsächlich vorhandenen und belieferten Verwertungsstrukturen für die Testierung der Recyclingfähigkeit herangezogen. Im Anforderungs- und Bewertungskatalog wird dies genau beschrieben:

„Für die Feststellung des Vorhandenseins von Recyclingkapazitäten (Erfassung- und Verwertungsstrukturen) ist eine nationalstaatliche Systemgrenze zu beachten. Es reicht nicht aus, dass eine Verpackung z. B. in den Niederlanden tatsächlich rezykliert wird, um dies für alle Nationalstaaten der EU zu testieren.“ (Institut cyclos HTP GmbH 2019)

Seitens cyclos-HTP erfolgt hierfür eine kontinuierliche Anpassung an die Vorgaben der EU-Verpackungsrichtlinien. Im Katalog wird darauf verwiesen, dass cyclos-HTP nicht gewährleisten kann, stets am neuesten Stand der Technik zu sein. Im Prüfzeugnis wird ausgewiesen, für welche Länder die entsprechenden Voraussetzungen gesichert gegeben sind.

Der derzeitige Stand der Technik von cyclos-HTP soll hier kurz erläutert werden:

Der Anforderungs- und Bewertungskatalog beinhaltet im Anhang dezidiert, für welche Länder die Verwertungsstrukturen der einzelnen Pfade bereits erfasst wurden. Von insgesamt 13 Pfaden gewährleistet cyclos-HTP, dass 12 Pfade in der europäischen Union erfasst wurden und ohne weitere Prüfung übernommen werden können. Für den fehlenden Pfad 12: PPK Verbunde wurde die Verwertungsstruktur derzeit nur für Deutschland erfasst. Für Österreich wurden 6 Pfade etabliert und sind im Katalog ausgewiesen:

- Pfad 1: Kst. Folie
- Pfad 2, 3: PE und PP
- Pfad 4: PS
- Pfad 6: MKS (formstabil) / MPO rigid
- Pfad 7: MKS / MPO (flexibel)

Die ARA erwähnt in dem Folder ARA Circular Design (ARA 2021) die Bewertung der Recyclingfähigkeit unter den aktuellen Bedingungen von Sammlung, Sortierung und Verwertung anhand objektiver Prüfstandards in Österreich. Genauere Informationen konnten in der Literaturrecherche nicht gefunden werden. Die Detaillierung der Information erfolgte in einer Befragung des Systembetreibers mittels des angehängten Fragebogens.

cyclos-HTP verweist im Interview darauf, seine österreichspezifische Methodik auf Dokumente und Erfassungsstrukturen aufgebaut zu haben, welche von der ARA zur Verfügung gestellt wurden. Weiters wurden Angaben zu Sortieranlagen, Sortierspezifikationen und Recyclinganlagen gesammelt und durch eine erste Erhebung vor Ort bei den Rezyklierern spezifiziert. Weiters verweist cyclos-HTP auf sein demnächst erscheinendes Software Tool CHIRA. Mit Hilfe des neuen Tools kann geprüft werden, ob Recyclinginfrastrukturen für grundsätzlich (physikalisch) recyclingfähige Verpackungen in einem Nationalstaat vorausgesetzt werden können.

3.2.3 Packaging Sustainability Tool (Circular Analytics TK GmbH)

Die Circular Packaging Design Guideline, auf der das Packaging Sustainability Tool basiert, betont, dass strukturelle Einschränkungen durch die jeweiligen länderspezifischen Erfassungsstrukturen im Sinne der Circular Design Bestrebungen (möglichst einheitliche Materialströme) berücksichtigt werden sollten. Die Guideline wurde mit einem Expertenrat abgestimmt und mit dem Fokus auf österreichische Rahmenbedingungen erstellt.

In der Guideline wird die Gültigkeit auf Deutschland und Länder mit ähnlichen abfallwirtschaftlichen Strukturen ausgedehnt. Es wird explizit darauf verwiesen, dass länderspezifische Gegebenheiten jedoch auch auf nationaler Ebene betrachtet werden müssen. In einem angeforderten Berechnungsblatt der Circular Analytics TK GmbH wird durch die erforderliche Angabe des Vertriebslandes ersichtlich, dass eine länderspezifische Bewertung erfolgen kann.

Eine Detaillierung der Information erfolgte in einer Befragung der FH Campus Wien mittels des angehängten Fragebogens. Aufgrund der Tatsache, dass die FH Campus Wien die Circular Packaging Design Guideline erstellt hat, welche die Bewertungsgrundlage des Packaging Sustainability Tool bildet, wurde der Fragebogen von der FH Campus Wien beantwortet.

Die Abstimmung mit RecyClass sowie der ECR Guideline wird im Interview mit der FH Campus Wien bestätigt, gibt aber als Grundlage für die angewandte Methodik der Recyclingfähigkeit von Circular Analytics den Circular Packaging Design Leitfad an.

3.2.4 circulate°expert (Reclay Systems GmbH)

In der Literaturrecherche konnten keine Informationen bezüglich der nationalen Eignung des Bewertungssystems von Reclay ermittelt werden. Auf der Homepage <https://circulate.eco/circulate-mission/> wird lediglich erwähnt, dass circulate die Möglichkeit bietet, gemäß verschiedenen internationalen Vorgaben zu bewerten.

Die Detaillierung der Information erfolgte in einer Befragung des Systembetreibers mittels des angehängten Fragebogens. Aus dem Interview wird ersichtlich, dass Reclay Systems GmbH sich bei seinen Erfassungsstrukturen am deutschen Mindeststandard orientiert, da die technischen Voraussetzungen und Sortierschritte laut Reclay Systems GmbH als Standardprozesse verstanden werden können. Zusätzlich erfolgt die Zuordnung in die österreichischen Sortierfraktionen inklusive der jeweiligen Fraktionsnummern.

3.2.5 Made for Recycling (Interseroh Austria GmbH)

In der Literaturrecherche konnten von Interseroh Austria GmbH ausschließlich Informationen von der Homepage gezogen werden, da keine Rückmeldung auf die gestellten Anfragen erfolgte. In einer tiefgreifenderen Literaturrecherche in Kontextualisierung mit dem bifa Umweltinstitut konnte der Bericht Recyclingfähigkeit von Verpackung gefunden werden. Bezüglich der länderspezifischen Erfassungs- und Verwertungsprozesse soll folgender Textabschnitt Aufschluss geben:

„Die Bewertung der Recyclingfähigkeit erfolgt in Anlehnung an DIN EN 13430 (Verpackung - Anforderungen an Verpackungen für die stoffliche Verwertung) anhand der heute in Deutschland relevanten und industriell eingesetzten Erfassungs- und Verwertungsprozesse (Status-quo).“ (bifa Umweltinstitut, 2019)

Die Detaillierung der Information erfolgte in einer Befragung des Systembetreibers mittels des angehängten Fragebogens. Da leider keine Rückmeldung zum Fragebogen erhalten wurde, kann Made for Recycling im Zuge der Erhebung nicht weiter berücksichtigt werden.

3.2.6 Pack2Recycle (European Recycling Plattform (ERP) Austria GmbH) ()

Die Informationen auf der Website des Unternehmens ERP Austria GmbH sind eingeschränkt. Durch das Interview mittels Fragebogen sollen österreich-spezifische Fragen geklärt werden.

ERP Austria GmbH gab bei der Befragung an, gerade an einer Berücksichtigung der in Österreich spezifischen Sammlungs- und Verwertungsstrukturen zu arbeiten.

3.3 Theoretischer Vergleich der spezifischen Unterschiede in der Recyclingfähigkeitsbewertung mit anschließender Ergründung via Interviews mit den Bewertungssystembetreibern

3.3.1 Berücksichtigung der Störstoffe im Überblick

Die Berücksichtigung der Störstoffe konnte aufgrund der schwierigen Informationsbeschaffung nur für folgende 3 Bewertungssysteme ermittelt werden:

3.3.1.1 *Recyclclass - Störstoffe*

RecyClass stuft bei der Ermittlung möglicher Störstoffe zuerst mittels seiner Abfragen im Freeware RecyClass-Tool ein. Hier werden zuerst die Rahmenbedingungen für eine Bewertung festgelegt. Eine Verpackung kann in diesem Fall nur bewertet werden, wenn ein prozentualer Anteil von mindestens 50 Gewicht- und Oberflächenprozent Kunststoff vorliegt, die Verpackung frei von gefährlichen Stoffen ist und keine biologisch oder oxoabbaubaren Kunststoffen verwendet worden sind. Nach der Beantwortung der ersten Fragestellungen wird dem Kunden mitgeteilt, ob sein Produkt generell für die Bewertung geeignet ist. Der Mindeststandard für die Bemessung der Recyclingfähigkeit von systembeteiligungspflichtigen Verpackungen gemäß § 21 Abs. 3 VerpackG legt 3 Mindestkriterien für die Recyclingfähigkeit fest:

- Die Verpackung muss einer Sortier- und Verwertungsinfrastruktur zuordenbar sein
- Die Verpackung muss zusätzlich die notwendigen Eigenschaften für eine reale Sortierbarkeit und Trennbarkeit aufweisen.
- Die Verpackung darf keine Recyclingunverträglichkeiten aufweisen, welche die Recyclingfähigkeit verhindern würden.

3.3.1.2 *Cyclos-HTP- Störstoffe*

cyclos-HTP beruft sich bezüglich seiner Bewertungsgrundlage auf die Einhaltung der Anforderungen gemäß der Zentrale Stelle ‚Mindeststandard zur Bemessung der Recyclingfähigkeit von systembeteiligungspflichtigen Verpackungen‘. Der Bewertungskatalog und die Informationen der Homepage des Prüflabors von cyclos-HTP führen Testverfahren und Methoden zur praktischen Feststellung der Sortierfähigkeit via NIR- und jene für die Bewertung der Recyclingfähigkeit mittels materialspezifischen CHI-Testmethoden an. Ein genereller Leitfaden anhand des den Prüfungsablaufs ist als Flussdiagramm im Bewertungskatalog ersichtlich.

Zuerst wird der Anteil möglicher Stör- und Wertstoffe abgefragt. Hierbei stuft cyclos-HTP die Störstoffe in drei Kategorien ein. Die genaue Einordnung der Störstoffe gemäß ihrem Anteil an der Minderung der Recyclingfähigkeit bis zu einer Bewertung der vollständigen Unbrauchbarkeit des Produkts erfolgt über cyclos-HTP: Grob kann hier allerdings der Kunde anhand der Abtrennbarkeit des Störstoffes und seines Gewichtsanteils zum Gesamtprodukt erkennen, wie stark ein Störstoff die Recyclingfähigkeit beeinflussen wird.

3.3.1.3 *Circular Analytics TK GmbH - Störstoffe*

Die CA TK GmbH wendet die Methode an, das Design for Recycling einer Verpackung aufbauend auf den möglichen Einschränkungen im praktischen Sortier- und Recyclingprozess zu evaluieren. Ein Überblick über die Störstoffe konnte in der Literatur nicht gefunden werden. Verpackungsübergreifende Empfehlungen werden in den allgemeinen Designempfehlungen der Circular Packaging Design Guideline kurz angesprochen. Verpackungsspezifisch (und materialspezifisch) werden die Störstoffe detailliert gelistet und in das Packaging Design Tool zur Berechnung der Recyclingfähigkeit herangezogen.

3.3.2 Berücksichtigung der Pfadzuteilung im Überblick

In einem nächsten Schritt wird abgeklärt, ob das vorhandene Produkt einer Sammel- und Verwertungsstruktur zugeordnet werden kann. Auch in diesem Punkt war die Informationsbeschaffung beschwerlich und ergab folgende Ergebnisse:

3.3.2.1 *RecyClass-Pfadzuteilung*

RecyClass gibt nach Abklärung der Bewertungsgrundlage verschiedene Verwertungsstrukturen für Kunststoffe an, nach denen man die Verpackung einstufen kann. Die EU-weiten Verwertungsströme sind hierbei wie folgt:

- PET-Flaschen
- PET-Tabletts
- PE-Folien
- PP-Folien (ein eigener PP-Folienstrom ist derzeit noch in der Entwicklung. PP Folien werden derzeit mit PP Rigids oder PE Flexibles als Polyolefine rezykliert)
- PE-Behälter
- PP-Container
- Kisten und Paletten aus PE und PP
- Töpfe/Röhrchen/Blister/Tabletts (Polyolefin)

3.3.2.2 *cyclos-HTP-Pfadzuteilung*

Eine eindeutige Zuordnung in einem von cyclos-HTP angeführten Pfad führt zu einer positiven Bewertung und ermöglicht die weitere Evaluierung.

- Kst.-Folien/LDPE
- PE
- PP
- PS
- EPS
- PET-transparent
- MKS (formstabil)/MPO
- MKS (flexible)/MPO
- Flüssigkeitskartons
- Weißblech/FE-Metalle
- Aluminium/NE-Metalle
- PPK-Verbunde
- Glas
- Papier

3.3.2.3 Circular Analytics TK GmbH – Pfadzuteilung

Die Pfadzuteilung der Circular Analytics erfolgt auf Basis der Empfehlungen der Circular Packaging Design Guideline. In einem Ländervergleich Österreich, Niederlande und Deutschland werden die maßgeblichen Unterschiede der Verwertungsstrukturen aufgezeigt (siehe Abbildung 3). Ob diese Empfehlungen einer Pfadzuteilung gleichgesetzt werden können, geht aus der Literatur nicht hervor.

Verpackungsabfallstrom		Österreich	Deutschland	Niederlande
Getränkeverbundkarton		Erfassungsstruktur vorhanden	Erfassungsstruktur vorhanden	Erfassungsstruktur vorhanden
Papier		Erfassungsstruktur vorhanden (gilt auch für einseitig beschichtetes Papier)	Erfassungsstruktur vorhanden (gilt auch für einseitig beschichtetes Papier)	Erfassungsstruktur vorhanden (gilt auch für einseitig beschichtetes Papier)
Aluminium		Erfassungsstruktur vorhanden	Erfassungsstruktur vorhanden	Erfassungsstruktur vorhanden
Weißblech		Erfassungsstruktur vorhanden	Erfassungsstruktur vorhanden	Erfassungsstruktur vorhanden
Glas		Erfassungsstruktur vorhanden	Erfassungsstruktur vorhanden	Erfassungsstruktur vorhanden
PS	starr	Erfassungsstruktur vorhanden	Erfassungsstruktur vorhanden	keine separate Erfassungsstruktur vorhanden
	flexibel	keine separate Erfassungsstruktur vorhanden	keine separate Erfassungsstruktur vorhanden	keine separate Erfassungsstruktur vorhanden
PVC	starr	keine separate Erfassungsstruktur vorhanden	keine separate Erfassungsstruktur vorhanden	keine separate Erfassungsstruktur vorhanden
	flexibel	keine separate Erfassungsstruktur vorhanden	keine separate Erfassungsstruktur vorhanden	keine separate Erfassungsstruktur vorhanden
PE	starr	Erfassungsstruktur vorhanden	Erfassungsstruktur vorhanden	Erfassungsstruktur vorhanden
	flexibel	Erfassungsstruktur vorhanden	Erfassungsstruktur vorhanden	Erfassungsstruktur vorhanden
PP	starr	Erfassungsstruktur vorhanden	Erfassungsstruktur vorhanden	Erfassungsstruktur vorhanden
	flexibel	Erfassungsstruktur vorhanden	Erfassungsstruktur vorhanden	Erfassungsstruktur vorhanden
PET	streckblasgeformt	Erfassungsstruktur vorhanden	Erfassungsstruktur vorhanden	Erfassungsstruktur vorhanden
	thermogeformt	Recycling eingeschränkt möglich	keine separate Erfassungsstruktur vorhanden	Recycling ist möglich
	flexibel	keine separate Erfassungsstruktur vorhanden	keine separate Erfassungsstruktur vorhanden	keine separate Erfassungsstruktur vorhanden

Abbildung 3: Unterschiede der Verpackungsabfallströme im Ländervergleich Österreich, Deutschland, Niederlande (FH Campus Wien 2020)

3.3.3 Berücksichtigung der Sortierfähigkeit im Überblick

3.3.3.1 RecyClass - Sortierbarkeit

Die Bewertung von Störstoffen und anderen etwaigen Ausschlusskriterien werden bei RecyClass über die Design for Recyclingkriterien der einzelnen Stoffströme abgeklärt. Das Design for Recycling umfasst die 3 Kriterien Materialverlust, Restentleerbarkeitsindex und Qualität des Rezyklats. Generell kann hierbei festgestellt werden, dass das Vorkommen von PVC und PVDC oder der Zusatz von Additiven, welche PO Verpackungen $> 1 \text{ g/cm}^3$ verdichten, zu einer Disqualifizierung der Recyclingfähigkeit führen.

Hinsichtlich einer folgenden NIR Sortierung werden bei RecyClass bereits vorab Verpackungen ausgeschlossen, welche nicht detektierbaren Ruß als Additiv beinhalten. Zusätzlich werden Verpackungen mit einer Aluminiumoberfläche mit einer Schichtdicke $>5\mu\text{m}$ aus dem Bewertungsumfang ausgeschlossen. Weiters wird darauf hingewiesen, dass es öfter zu Sortierfehlern kommen kann, wenn folgende Bestandteile an der Verpackung angebracht sind:

- Große Etiketten (die $> 50\%$ der Oberfläche bedecken) aus einem anderen Polymer
- Ganzkörpersleeves
- Perforierte Ganzkörpersleeves
- Mehrschichtstrukturen (außer PE / PP EVOH)
- Metallisierung (außer innen und in der mittleren Schicht)
- Nicht NIR-erkennbare Farben (auch wenn dunkle Farben für interne Schichten verwendet werden)
- Verschiedene Arten von Kunststoff auf Vorder- und Rückseite
- Verschiedene Arten von Kunststoff (starr und flexibel), die in der Verpackung verwendet werden
- Runde Form, sehr steif und schwer zu verdichten

Mit dieser Liste weist RecyClass spezifisch auf problematische Verpackungsbestandteile hin und bittet den/die Kunden*in, sich am ‚Sorting Protokoll‘ zu orientieren oder den Kundenservice zu kontaktieren.

Eine Detaillierung der Sortierfähigkeit erfolgt auf Verpackungs- und Materialebene. Aufgrund der Vielzahl an sortierrelevanten Empfehlungen wird hierbei auf eine Auflistung verzichtet, nur darauf verwiesen, dass diese detailliert in der Guideline nachgelesen werden können. (https://recyclclass.eu/wp-content/uploads/2021/04/RecyClass_methodology_UPDATED-1.pdf)

3.3.3.2 *cyclos-HTP – Sortierfähigkeit*

Der nächste Schritt behandelt die Sortierfähigkeit des Produkts anhand der Identifizierbarkeit mittels NIR, dem Austragsverhalten, der elektrischen Leitfähigkeit und der ferromagnetischen Eigenschaften. Es wird darauf aufmerksam gemacht, dass eine umfangreiche Etikettierung mit Fremdmaterial, eine zu dunkle Färbung oder der Einsatz rußbasierter Additive eine negative Bewertung verursachen und die Verpackung von der Recyclingfähigkeit ausschließt. Weitere Einflussfaktoren wie helle Färbungen können hierbei zu einem unerwünschten Downgrade/Fehlwurf, aber keinem Ausschluss führen. Der korrekte Austrag, welcher per Definition die korrekte Zuordnung in den vorgesehenen Teilstrom ist, setzt sich als gemeinsamer Parameter aus einer korrekten Detektion und anderen physikalischen Eigenschaften (z.B. Schwere des Produkts) zusammen. Ein Austrag über 70% ist hier ein gutes Ergebnis. Ein Austrag $< 30\%$ bedingt den Ausschluss der Recyclingfähigkeit des Produkts.

Die Testung der elektrischen Leitfähigkeit kann als binäre Einordnung beschrieben werden. Ist eine Leitfähigkeit feststellbar, erfolgt die Stoffbewertung über den Pfad Aluminium und NE-Metalle. Ähnlich verhält es sich mit der Testung auf Ferromagnetismus. Ist ein Aushub mit den Anforderungen an das Magnetsystem gegeben, wird die Verpackung in den Bewertungspfad für Weißblech und FE-Metalle eingeordnet.

Nach Abklärung der gängigen Grundlagen der Sortierbarkeitsbewertung erfolgt die Abklärung der technischen Rückgewinnbarkeit mittels Materialdichte nach Aufschluss, Auflösengeschwindigkeit in Wasser und der Phasentrennung im Schmelzverhalten. Das wichtigste Beurteilungskriterium für die Evaluierung der Materialdichte ist hierbei die Einhaltung einer Trenndichte von 1 g/cm^3 (PE-, PO-, PP- Trennschicht) bzw. $1,08\text{ g/cm}^3$ (PS).

Ist durch den Einsatz von Füllstoffen oder Laminierungen die Trenndichte über- oder unterschritten, ist das Produkt nicht recyclingfähig. Bei der Testung der Auflösegeschwindigkeit in Wasser führt ein Faserverlust zu Abzügen in der Bewertung.

Die Regenerierbarkeit des Produkts wird über das Schmelzverhalten mittels der Berechnung der Wertigkeit nach Katalog angegeben.

Am Schluss der Sortierbarkeits- und Recyclingfähigkeitsbewertung werden qualitative Klassifizierungen nicht trennbarer Kontaminanten nach der Einstufung als Störstoffe sowie zusätzliche individuelle Kriterien aus den jeweiligen Pfaden in der Bewertung mitberücksichtigt.

3.3.3.3 *Circular Analytics TK GmbH – Sortierfähigkeit*

In der Circular Packaging Design Guideline, die das Basisdokument des Circular Packaging Tool bildet, wird die Sortierfähigkeit folgendermaßen beschrieben:

„Sortierfähigkeit gilt als Grundvoraussetzung der Recyclingfähigkeit. Dabei muss gewährleistet werden, dass materialspezifische, dem Stand der Technik entsprechende Sortiertechniken zur Anwendung kommen können. Die Sortierfähigkeit ist einerseits von der Erkennbarkeit und korrekten Identifikation (z.B. Materialerkennung durch spezifisches Nah-Infrarot Spektrum) und andererseits von der Sortierbarkeit der Verpackung (z.B. Ausschließen mittels Druckluft) abhängig.“ (FH Campus Wien 2020)

Folgende grundlegenden Kriterien der Sortierbarkeit wurden der Guideline entnommen:

- **Materialfarbe:** Die Sortierbarkeit wird durch eine starke Einfärbung der Materialien eingeschränkt (insbesondere bei carbon black)
- **Druckfarben und Dekoration:** Klebstoffe, Sleeves und Etiketten müssen auf das Material der Verpackung und den Sortier- und Recyclingprozess angepasst sein
- **Restentleerbarkeit:** schwere Gebinde mit hohem Restinhalt stellen ein Problem in der Sortierbarkeit dar
- **Verschluss und Kleinteile:** die aufgrund des Litteringspotential empfohlene Verbindung zwischen Verschluss/Kleinteil und Verpackung sollte mechanisch erfolgen, um die Ablösung im Sortierprozess zu ermöglichen

Eine Detaillierung der Sortierfähigkeit erfolgt auf Verpackungs- und Materialebene. Aufgrund der Vielzahl an sortierrelevanten Empfehlungen wird hierbei auf eine Auflistung verzichtet, nur darauf verwiesen, dass diese detailliert in der Guideline nachgelesen werden können. (<https://pub.fh-campuswien.ac.at/obvfcwacc/download/pdf/5459543?originalFilename=true>)

4 Auswertung der Fragebögen

4.1 Fragebögen der Bewertungssystembetreiber

Nach der angestellten Literaturrecherche wurden Fragebögen für die Bewertungssystembetreiber erstellt und an die Bewerter versendet. Diese Fragebögen hatten das Ziel, Unklarheiten aus der Literaturrecherche zu klären und detaillierte Informationen einzuholen. Der Rücklauf von 83 % (5 von 6) der Bewerter war sehr zufriedenstellend. Aufgrund der Kooperation von cyclos-HTP und ARA zur Bewertung der Recyclingfähigkeit in Österreich wurde der Fragebogen an beide Unternehmen ausgesandt und auch beantwortet. Aufbauend auf der bereits erwähnten Kooperation mit der Circular Analytics TK GmbH hat die FH Campus Wien den Fragebogen übergreifend für die Circular Packaging Design Guideline und das Packaging Sustainability Tool beantwortet.

4.1.1 Integration der österreichischen Sammlungs-, Sortierungs- und Verwertungsstrukturen in das Bewertungssystem

In den Fragebögen wurden die Bewertungssysteme befragt, wie die österreichischen Sammlungs-, Sortierungs- und Verwertungsstrukturen in das Bewertungssystem integriert sind.

RecyClass... gibt an, bei der Zertifizierung lokale Sammlungsstrukturen und Spezifikation österreichspezifischer geographischer Gebiete bezüglich Sortierung und Verwertungsinfrastruktur zu erfassen.

cyclos-HTP ... verweist hierbei auf die in seinem Bewertungskatalog einzelnen aufgelisteten österreichspezifischen Sortierfraktionen.

Die FH Campus Wien gibt an, bezüglich regional unterschiedlicher Sammlungs- und Verwertungsstrukturen nicht zu unterscheiden. Regionale Unterschiede betreffend Sammlung werden nur berücksichtigt, wenn diese den überwiegenden Anteil der Sammlungsstruktur ausmachen.

Reclay Systems GmbH geht hier ähnlich vor. Da der Sortierungsprozess in Deutschland und Österreich in den wesentlichen Schritten gleich ist (gemeint ist hier Klassierung, Windsichtung, NIR Sortierung) werden diese nicht näher betrachtet. Die österreichspezifischen Sortierfraktionen lassen sich abbilden. Sammlung ist nicht Teil des deutschen Mindeststandards. Diese wird vorausgesetzt für die zu bewertenden Fraktionen. Reclay verweist darauf, dass die vorliegende Konsumentenentscheidung, in welche Tonne die Verpackung geworfen wird, nicht wirklich beeinflussbar ist und darum auch keine Sammlungsbewertung möglich sei. Eine Orientierung an den „verfügbaren Fraktionen“ in den österreichischen Bezirken ist auch nicht zulässig, da es auch hier Bezirke mit hohen Sammelmengen gibt, die eigentlich nur Hohlkörper sammeln (dürfen), und dann wiederum Bezirke, die trotz einer sehr umfassenden Leichtfraktionssammlung (Hohlkörper plus weitere Kunststoffverpackungen) viel weniger sammeln. Hier sieht die Reclay Systems GmbH, dass dies massiv von der Ausgestaltung pro Bezirk, Engagement und Kommunikation der Behörde etc. abhängt und sich nicht für eine fundierte Bewertung eignet. Verwertungsstrukturen werden ebenfalls nicht regional betrachtet. Die Vorgaben des Mindeststandards reichen laut Reclay Systems GmbH hier aus, da Standardprobleme in Recyclingprozessen abgebildet werden. Recycling ist ein internationaler Markt und das Material wird europaweit gehandelt. Eine Detailbetrachtung pro Anlage in ganz Europa wäre unmöglich. Sortier- und Recyclingunternehmen in Österreich würden aber laut Reclay Systems GmbH über die

allgemeinen Voraussetzungen für die Empfehlungen des deutschen Mindeststandard verfügen.

4.1.2 Einfluss des Konsumentenverhalten im Bewertungssystem

Weiters wurden die Bewerter bezüglich des Einflusses des Konsumentenverhalten befragt.

Reclay Systems GmbH gibt an, das abfallseitige Konsumentenverhalten nicht als Einflussfaktor für die Bewertung heranzuziehen, da hierbei Daten für das Konsumentenverhalten jeder einzelnen Verpackung vorgenommen werden müssten. Diese Rückverfolgung bis zur Sortieranlage sei nach derzeitiger Datenlage nicht umsetzbar. Die Circular Analytics TK GmbH geht davon aus, dass bei einigen Verpackungsarten das Konsumentenverhalten für die Rezyklierbarkeit ausschlaggebend ist, allerdings keine validen Daten für eine Integration in das Bewertungssystem vorliegen.

Auch die ARA GmbH gibt an, das Konsumentenverhalten hierbei nicht berücksichtigen zu können. Dieses liege aus Sicht des Kunden auch nicht in seiner Produktverantwortung. Nach Prüfung des Vorliegens einer geeigneten Sammelstruktur wird die tatsächliche Sammelquote für die Bewertung nicht berücksichtigt.

4.1.3 Berücksichtigung von neuen Sortiertechnologien im Bewertungssystem

Im Zuge der Befragung sollte festgestellt werden, inwiefern neueste Technologien wie z.B. Robotersortierungen in den Systemen berücksichtigt werden.

Die FH Campus Wien und cyclos-HTP berufen sich darauf, den österreichischen Stand der Technik abzubilden. Moderne Technologien, welche nicht flächendeckend vorherrschen, sind nicht integriert, werden aber aufgenommen, sobald diese sich durchgesetzt haben. Reclay Systems GmbH macht zusätzlich darauf aufmerksam, dass eine Gleichsetzung einer nicht flächendeckenden Technologie mit anderen flächendeckenden Technologien zu falschen Ergebnissen des Bewertungssystems führen würde.

4.1.4 Berücksichtigung der österreichspezifischen Vorgehensweise bei Monolayer PET Schalen im Bewertungssystem

Im Laufe der Recherche ließ sich feststellen, dass in Österreich Monolayer PET Schalen im Recyclingprozess den Verwertungsstrom von nicht-Getränke PET Flaschen, welche nicht zur transparent-bunt Fraktion gehören, über die (ARA GmbH) Fraktion 499 zugeführt werden und so eine Wiederverwertung erfahren. Fraktion 499 nimmt opake PET Flaschen sowie sonstige PET Artikel auf. Wiederverwertbar ist hier allerdings nur PET-A, wodurch Monolayer PET Schalen wiederverwertet werden können. Laut vorliegenden Informationen werden Monolayer Schalen in Ländern wie Deutschland und Niederlande getrennt von sonstigen Flaschenströmen als Thermoforms gesammelt.

Im Rahmen der Studie wurden die Bewerter befragt, ob diese besondere Vorgehensweise in Österreich in ihrer Bewertung berücksichtigt ist, und ob eine Einschätzung als Störfaktor gegeben ist. Diese Frage wurde in den Fragebogen integriert, um festzustellen, inwieweit die Bewertungssysteme auf die österreichischen Spezifika in der Sortierung eingehen und diese berücksichtigen.

Prinzipiell beantworten alle Systeme die Frage damit, diese Struktur in ihr System integriert zu haben. ERP nimmt zu dieser Frage keine Stellung.

RecyClass antwortet auf die Frage, ob die Integration der Monolayer Schalen in den sonstige PET-Flaschenströmen berücksichtigt worden ist mit ‚Ja‘.

cyclos-HTP erteilt die Auskunft, dass Monolayer PET Schalen in der PET Sortierfraktion für „sonstige Flaschen“ (PET Nichtgetränkeflaschen bzw. sonstige PET Getränkeflaschen, die nicht den Farben transparent, blau, grün entsprechen) erfasst und recycelt werden. Für PET Getränkeflaschen der Farben transparent, blau und grün gibt es jeweils separate Sortierfraktionen.

Die FH Campus Wien gibt die Information, dass laut der dem Tool zugrunde liegenden Guideline PET-Schalen, welche eine andere Polymerstruktur aufweisen wie auch Verbundstoffe ein Problem im Recycling von PET-Flaschen darstellen. Diese Materialien beeinflussen die Eigenschaften des reinen PET-Flaschenstroms, und daher ist die Empfehlung, diese nicht gemeinsam zu rezyklieren. Aktuell werden auch aus diesem Grunde PET-Schalen aus dem PET-Flaschenstrom aussortiert und getrennt behandelt.

Reclay Systems GmbH gibt an, dass PET-Getränkeflaschen immer getrennt anfallen. PET-Trays werden in Österreich immer mit PET sonstigen Flaschen (Hohlkörpern) gesammelt. Dasselbe passiert auch in Deutschland (es gibt nur wenige Anlagen, die Trays separat sortieren; teilweise gehen die gemischten Fraktionen noch zum Nachsortierer).

4.2 Fragebögen der Sortier- und Verwertungsstrukturen

Um ein gesamtheitliches Bild schaffen zu können wurden auch betroffene Stakeholder befragt. Hierfür wurden Fragebögen für die Sortier- und Verwertungsbranche erstellt und verschickt. Die Auswahl der Sortier- und Verwertungsbetriebe erfolgte auf Basis der regionalen Verteilung der Unternehmen in Österreich und stellt einen repräsentativen Mix aus den Bundesländern dar. Die Befragung wurde durchgeführt, um die methodenrelevanten Aspekte für die Sortierer und Recycler zu erfassen und die praktische Integration der österreichischen Sortier- und Verwertungsstrukturen in die Bewertungssysteme zu erheben. Wie bereits erwähnt konnte bei den Sortierern ein Rücklauf von 80% und bei den Verwertern von 63% erzielt werden.

4.2.1 Integration der Sortierer und Rezyklierer in den Aufbau der Bewertungssysteme der Recyclingfähigkeit aus Sicht der Sortier- und Verwertungsbranche

Eines der Hauptziele bei der durchgeführten Befragung mittels Fragebogen bestand darin zu ermitteln, inwiefern Stakeholder wie Sortierer und Rezyklierer in den Aufbau der einzelnen Bewertungssysteme integriert wurden. 3 von 4 der befragten Sortierer gaben an, nicht in die Gestehung der Bewertungssysteme einbezogen worden zu sein. 1 Sortierunternehmen gibt an, von zwei Bewertungssystemen involviert worden zu sein. Bei den Recyclingunternehmen wurden zwei von insgesamt 4 Betrieben in die Gestehung der Systeme einbezogen. Diese Betriebe wurden von insgesamt 3 unterschiedlichen Bewertungssystemen kontaktiert und Auskünfte eingeholt. In der Recyclingbranche wird von einem Unternehmer eine gute Einschätzung der methodenrelevanten Aspekte seitens der Bewerter angegeben, da die Systeme eine gute Abbildung des Designs for Recycling angeben. Ein weiterer Unternehmer gibt an, dass manche Systeme ihren Fokus auf Sammlung- und Sortierungsprozesse legen, jedoch die Verbesserung der Qualität des Rezyklats vernachlässigen. Ein von den Bewertern nicht befragter Unternehmer kritisiert dahingehend, dass von den Bewertungssystemen kein Unterschied zwischen systemischer und technischer Recyclingfähigkeit gemacht wird.

Trotz der Angabe von nur einem Sortieranlagenbetreiber, in den Aufbau der Bewertungssysteme involviert gewesen zu sein, geben zwei Sortieranlagenbetreiber an, zu ihren speziellen Sortiertechnologien befragt worden zu sein. Zwei Recyclingunternehmen geben an, zu ihren Recyclingtechnologien befragt worden zu sein.

4.2.2 Integration der Störfaktoren in die Bewertung der Recyclingfähigkeit aus Sicht der Sortier- und Verwertungsbranche

In der Befragung wurde auch erhoben, ob die wichtigsten Störfaktoren für die Sortierung/Rezyklierung hochwertiger Rezyklate durch die Bewertungssysteme erfragt wurden.

Konkret wurde nur ein Bewertungssystem von einem Sortierunternehmen angegeben. Von den Recyclingunternehmen wurden zwei von vier zu den Störfaktoren befragt.

Als Verbesserungsvorschläge für ein besseres Verständnis des Sortierprozesses schlägt ein Sortieranlagenbetreiber vor, Versuche in Sortieranlagen zu betreiben und die Kommunikation mit den Anlagenbetreibern und Sortiermodulbetreiber zu stärken. In der Recyclingbranche wird von einem Unternehmer vorgeschlagen, Mehrschichtverpackungen generell zu verbieten, sowie eine farbliche Trennung in allen Kunststofffraktionen vorzunehmen. Diese Störfaktoren machen es oft unmöglich, ein der Neuware gleichwertiges Rezyklat herstellen zu können. Weiters wäre die verstärkte Umsetzung von eco design wünschenswert.

Auf die Frage, welche weiteren Parameter für die Bewertungen der Recyclingfähigkeit der Bewertungssysteme integrierbar sein sollten, und vor welchen Herausforderungen man hier gestellt ist, wird von einem Sortieranlagenbetreiber empfohlen, das Produktdesign und dessen Entwicklung in Kooperation mit Sortiertechnologien erfolgen zu lassen. Durch die Etablierung von Industriestandards sollen Neuentwicklungen wie z.B. HolyGrail oder Wasserzeichen weiterverfolgt werden. Es sollte in neuere Sortiertechnologien investiert werden. Weiters wurde erwähnt, dass eine stärkere Nachfrage nach „Closing the Loop“-Lösungen, bei dem das Rezyklat der selbigen Verpackungen zum Hersteller zurückkommt, besteht. Eine Realisierung würde eine Verbesserung der Sortiertechniken und stärker differenzierte Fraktionierung sowie den Einsatz von neuesten Sortiertechnologien erfordern. Hier wurden sowohl Robotersortiermethoden als auch KI-Systeme erwähnt. Ein weiterer Vorschlag wäre, den Fokus auf eine End-2-End Betrachtung zu legen, wodurch nur Verpackungsmaterial, welches recyclingfähig ist, verwendet werden sollte. Je einfacher ein Material zusammengesetzt ist, desto einfacher ist eine sensorbasierte Erkennung in der Sortierung durchführbar.

4.2.3 Integration österreichspezifischer Aspekte in die Bewertung der Recyclingfähigkeit aus Sicht der Sortier- und Verwertungsbranche

Die Frage, ob die österreichspezifischen Aspekte der Sortierbranche von den Bewertungssystemen ausreichend berücksichtigt wurden, wird von den befragten Sortieranlagenbetreibern durchgängig verneint. Ein befragter Sortieranlagenbetreiber gibt an, dass von dem Bewertungssystem österreichspezifische Aspekte ansatzweise berücksichtigt wurden. Ob regionalspezifische Unterschiede erfasst wurden, sei ihm nicht bekannt. Der Unternehmer stimmt einer ausreichenden Inbezugnahme auf europäischer Ebene zu. Ein von den Bewertungssystemen nicht befragter Sortieranlagenbetreiber sieht keine Sinnhaftigkeit in einem national gültigen Bewertungssystem, sondern verweist auf die europäische Ebene.

5 Auswertung der 5 Fallbeispiele auf Basis von Literaturdaten und der Ergebnisse der Fragebögen

Die bereits in Kapitel 2.3 angeführten 5 Fallbeispiele werden in diesem Abschnitt auf die spezifischen Unterschiede von 3 Bewertungssystemen untersucht und detailliert erläutert. Die rote Schrift stellt in den Tabelle 2 - Tabelle 6 die eindeutig zuordbare Charakteristika der jeweiligen Fallstudie dar. Um die Lesbarkeit der Tabellen zu erleichtern, sind die Spalten nach dem Ermessen der Autor*innen farblich unterlegt. Grün steht für eine sehr gut bis gute Recyclingfähigkeit. Gelb für eine begrenzte Recyclingfähigkeit und rot für eine geringe Recyclingfähigkeit bis zu deren Ausschluss. Die Auswertung kann nur für 3 Bewertungssysteme vorgenommen werden, da die Literaturrecherche und die nachträgliche Informationsbeschaffung bei den anderen Bewertern nicht ausreichend Datenmaterial für eine Bewertung lieferten.

5.1 Fallbeispiel 1: PP Tiefziehschale

Die vorliegende Verpackung besteht aus einer transparenten PP Tiefziehschale und ist mit einer Siegelfolie verschlossen. Laut vorliegender Spezifikation sind keine Barrierschichten oder Additive der Tiefziehschale zugesetzt. Die PP-Siegelfolie wird mit einem Klebstoff an der Verpackung angebracht. Eine Papieretikette bedeckt weniger als 50% der Verpackungsoberfläche und befindet sich auf der Siegelfolie. Die PP Tiefziehschale hat keine Bedruckung und kein Etikett. Der hier diskutierte Fall geht von einer leicht ablösbaren Klebstoffapplikation für eine PP Siegelfolie aus. Die PP Folie kann dadurch beim realen Trennvorgang durch den leicht ablösbaren Klebstoff und der geringen Dichte der Folie leicht separiert werden.

RecyClass und Circular Analytics TK GmbH orten hier eine geringe Abwertung der Recyclingfähigkeit des Wertstoffs. Die sich ergebende Abwertung wird bei cyclos-HTP für abtrennbare Kunststoffe mit einer Dichte $>1 \text{ g/cm}^3$ als Störstoff beschrieben. Die vorliegende Siegelfolie ist mit einer geringeren Dichte nicht als Störstoff von cyclos-HTP vermerkt. Das für die Bewertung auszufüllende Formular von cyclos-HTP zur Auflistung der Bestandteile der zu bewertenden Verpackung lässt den Kunden allerdings die einzelnen Komponenten mit ihrem prozentualen Anteil am Gesamtgewicht auflisten. Zusätzlich kann vermerkt werden, dass eine vorhandene Klebstoffapplikation löslich oder unlöslich ist. Ein abtrennbarer Störstoff wird nach KAT1 gemäß seines Gewichtsanteils vom Wertstoffgesamtgewicht abgezogen.

Der Mindeststandard § 21 Abs. 3 VerpackG, fußt zwar auf deutschem Recht, jedoch beziehen sich alle Bewertungssysteme in unterschiedlichem Umfang auf diesen, wodurch er in den Fallstudien mitangeführt wird. Er gibt hier keinen Störstoffanteil aufgrund des Siegelfolienverschlusses vor, beruft sich allerdings darauf, dass der Wertstoff bei guter Abtrennung vom Störstoff gut recyclingfähig ist (Die Verpackung muss bezüglich des hochwertig zu verwertendem Anteil sortierbar sein, die Verpackungskomponenten müssen soweit für ein hochwertiges werkstoffliches Recycling erforderlich trennbar sein [Mindestkriterium 2]).

Durch die angebrachte Etikette auf der Siegelfolie kann die PP Schale ohne Einschränkungen als relativ gut recyclingfähig bei RecyClass, cyclos-HTP und Circular Analytics TK GmbH bewertet bzw. empfohlen werden.

Tabelle 2: Design for Recycling Einstufungskriterien der PP-Tiefziehschale

PP Tiefziehschale	RecyClass			cyclos-HTP			Circular Analytics TK GmbH			Mindeststandard § 21 Abs. 3 VerpackG
Kriterium	Kompatibel Klasse A-B	begrenzt kompatibel Klasse B-C	gering kompatibel Klasse D-E-F	Abtrennbarer Störstoff (quant. Downgrade)	Untrennbarer Störstoff (meist leichtes Downgrade)	Untrennbarer Störstoff mit Downgrade - Ausschluss)	Empfehlung	Downgrade	Vermeidung empfohlen	Unverträglichkeiten
Material	PP		Mehrschichtverbund PP mit PLA; PVC; PS; PET; PETG (wenn Dichte > 1g/cm ³)				PP	Mehrschicht-Verbundmaterial, wenn aus verschiedenen PP-Typen (z.B. OPP, BOPP); Mehrschicht-Verbundmaterial mit PE8	Verbund mit: PS, PVC, PLA, PET, PETG	
Materialzusammensetzung	A wenn PP Anteil > 95%; B wenn PP Anteil > 90%	C wenn PP Anteil > 70%	D wenn PP Anteil > 50%; E wenn PP Anteil > 30%; F wenn PP Anteil < 30%			Nicht trennbare Silikonkomponenten				Silikonkomponenten;
Restentleerbarkeit	A wenn der Index < 5%; B wenn der Index < 10%	C wenn Index < 15%	D wenn Index < 20%; E wenn Index < 25%; F wenn index > 25%							
Zusätze /Additive	Additive welche für die Herstellung zwingend notwendig sind (Stabilizer, Antioxidantien, Schmiermittel, Nukleierungsmittel) Peroxide) wenn Dichte < 0.97 g/cm ³	Mineralfüllstoff (CaCO ₃), wenn Dichte nicht größer 0,97 g/cm ³	Additive welche die Dichte > 1 g/cm ³ verändern, Flammschutzmittel, Additive, Weichmacher, Bio-/oxo-/photodegradierbare Additive	Kunststoffe der Dichte > 1 g/cm ³	sonstige thermoplastische Polymere der Dichte < 1 g/cm ³ in geringer Konzentration (z. B. EVA**, TPE PO-basiert),	Komponenten geschäumter nicht thermoplastischer Elastomere, Nicht-PO-Kunststoffe der Dichte < 1 g/cm ³		Additive wenn Dichte < 0,97 g/cm ³ für flexible Verpackungen / < 1 g/cm ³ für starre Verpackungen	Additive (Dichte ≥ 0,97 g/cm ³) für flexible Verpackungen) / ≥ 1 g/cm ³ für starre Verpackungen) (z.B. Talk, CaCO ₃); Schäumungsmittel zur chemischen Expansion, oxo-abbaubare Additive	Komponenten geschäumter nicht thermoplastischer Elastomere; Nicht-PO-Kunststoffe der Dichte < 1 g/cm ³ .

PP Tiefziehschale	RecyClass			cyclos-HTP			Circular Analytics TK GmbH			Mindeststandard § 21 Abs. 3 VerpackG
Kriterium	Kompatibel Klasse A-B	begrenzt kompatibel Klasse B-C	gering kompatibel Klasse D-E-F	Abtrennbarer Störstoff (quant. Downgrade)	Untrennbarer Störstoff (meist leichtes Downgrade)	Untrennbarer Störstoff mit Downgrade - Ausschluss)	Empfehlung	Downgrade	Vermeidung empfohlen	Unverträglichkeiten
Barriere			EVOH; PA; PVDC; Aluminium		EVOH-Sperrschichten**	PA-Barrierschichten; PVDC-Barrierschichten;	keine Barrierschicht; SiOx, Al ₂ O ₃ , Barriere; carbon plasma coating ⁹	EVOH10; Aluminiumbedampfung (Metallisierung) ¹ 1;	PVDC, PA, EVOH10	PA-Barrierschichten; PVDC Barrierschichten
Farbe Bedruckung	Natural (clear). Nicht-toxische Tinte lt. EuPIA Guidelines, Laser Bedruckung	Helle Farben	Dunkle Innenflächen, Schwarz, Nicht-NIR detektierbare Farben (Carbon Black) Blutende Farben, toxische oder gesundheitsgefährdende Bedruckungen				transparent, weiß EuPIA-konforme Druckfarben; nichtblutende Farben; minimale Bedruckung; helle/lasierende Farben		schwarze, dunkle oder opake Farben blutende Farben	
Codierung (Chargencodierung, MHD)	Kleinflächige Bedruckung (MHD)						Prägung; Lasermarkierung	MHD/Charge wenn nötig, durch minimalen Direktdruck mit anderen Codierungssystemen (z.B. Ink-Jet): lebensmittelkonforme Farben verwenden		
Starrer Verschluss (Stülpedeckel, Schraubverschluss etc.)	PP	HDPE; LDPE; LLDPE; MDPE; PET; PETG; PLA; PS (wenn Dichte > 1 g/cm ³)	Nicht-PO und/oder Schäume mit einer Dichte < 1 g/cm ³ ; Aluminium; Metal; PVC				PP; Verschlusssysteme ohne Liner, wenn nötig EVA oder TPE Liner	PE (HDPE, LDPE, LLDPE, MDPE), PET; PETG, PS; PLA	Metalle, Duroplaste; nicht vollständig ablösbare Siegelungen oder Silikone; Pumpsysteme (mit Glas & Metallfedern), Metallbügel; PVC; geschäumte Materialien wenn Dichte < 1 g/cm ³ (EPS)	

Kriterium	RecyClass			cyclos-HTP			Circular Analytics TK GmbH			Mindeststandard § 21 Abs. 3 VerpackG
	Kompatibel Klasse A-B	begrenzt kompatibel Klasse B-C	gering kompatibel Klasse D-E-F	Abtrennbarer Störstoff (quant. Downgrade)	Untrennbarer Störstoff (meist leichtes Downgrade)	Untrennbarer Störstoff mit Downgrade - Ausschluss)	Empfehlung	Downgrade	Vermeidung empfohlen	
Starrer Verschluss (Stülpedeckel, Schraubverschluss etc.)	<u>PP</u>	HDPE; LDPE; LLDPE; MDPE; PET; PETG; PLA; PS (wenn Dichte > 1 g/cm³)	Nicht-PO und/oder Schäume mit einer Dichte < 1 g/cm³; Aluminium; Metal; PVC				PP; Verschlusssysteme ohne Liner, wenn nötig EVA oder TPE Liner	PE (HDPE, LDPE, LLDPE, MDPE), PET; PETG, PS; PLA	Metalle, Duroplaste; nicht vollständig ablösbare Siegelungen oder Silikone; Pumpsysteme (mit Glas & Metallfedern), Metallbügel; PVC; geschäumte Materialien wenn Dichte < 1 g/cm³ (EPS)	
Flexibler Verschluss (Siegefolien etc.)	<u>PP, TPE-PP</u>	HDPE; LDPE; LLDPE; MDPE; TPE-PEPET, PETG, PLA, PS (wenn Dichte > 1 g/cm³); ablösbarer Aluminium Verschluss ; Ablösbares Silikon wenn Dichte > 1 g/cm³	Non-PO und/oder Schäume wenn Dichte < 1 g/cm³; andere Verschlüsse TPE, Aluminium; Metall; Foliertes Papier; PVC		PE-Verschlüsse*		<u>PP: Siegefolie welche keinen Rückstand nach dem Abziehen durch Letztverbraucherinnen hinterlässt; PP- und PE-Kunststoff-lamine (können bei Entsorgung auch anhaftend bleiben)</u>	PE (HDPE, LDPE, LLDPE, MDPE), PET; PETG, PS; PLA	aluminiumhaltige Materialien mit > 5 µm Dicke, Duroplaste; nicht vollständig ablösbare Siegefolien oder Silikone; PVC, geschäumte Materialien mit einer Dichte < 1 g/cm³ (EPS)	

PP Tiefziehschale	RecyClass			cyclos-HTP			Circular Analytics TK GmbH			Mindeststandard § 21 Abs. 3 VerpackG
Kriterium	Kompatibel Klasse A-B	begrenzt kompatibel Klasse B-C	gering kompatibel Klasse D-E-F	Abtrennbarer Störstoff (quant. Downgrade)	Untrennbarer Störstoff (meist leichtes Downgrade)	Untrennbarer Störstoff mit Downgrade - Ausschluss)	Empfehlung	Downgrade	Vermeidung empfohlen	Unverträglichkeiten
Etikettenmaterial	Water soluble or water releasable adhesive (@ less than 40°C)	Pressure sensitive labels	Nicht wasserauflösend oder wasserlösliche Etiketten	Papier-etiketten; ALU-Platinen;	LDPE* (z. B. Etiketten)	nicht wasserlösliche Klebstoff-applikation in Kombinationen mit nassfesten Papier-etiketten	PP-Etikett	Papieretiketten (nassfest); PE; Etiketten aus anderen Materialien als PP oder PE ohne wasser-unlösliche Klebstoffreste	metallhaltige Materialien, aluminiumhaltige Materialien mit > 5 µm Dicke; Etiketten aus anderen Materialien, wie z.B. PET, PLA oder nicht-nassfeste Papieretiketten die nicht wasserabwaschbar sind; PVC-Etiketten (auch wenn abwaschbar)	nicht wasserlösliche Klebstoffapplikationen in Kombination mit nassfesten Etiketten auf Papierbasis
Etiketten-Klebstoff	Wasser-/alkalilösliche/ablösbare Klebstoffe	Nicht wasserlösliche/ablösbare Klebstoffe für Etiketten / Sleeves		wasserlösliche Klebstoff-applikation;	Haftvermittler		In Überarbeitung	In Überarbeitung	In Überarbeitung	
Label	Label aus PP (Dichte < 1 g/cm³) mit Bedruckung und /oder Barriere welche die Erkennung des Materials nicht störtPapierlabel ohne Faserverlust	Labels aus PE (Dichte <1 g/cm³); Labels aus PET, PETG, PLA, PS (Dichte >1 g/cm³); Papierlabel ohne Faserverlust; PO-Labels ohne Bedruckung Zusätze, die Erkennung von PP stören; Label bei 500 ml: < 70% bedeckt; Label bei ≤ 500 ml: < 50% bedeckt, Papierlabel mit Faserverlust	Labels welche die Identifikation des PP Materials stören; Labels welche nicht aus PO-Materialien mit Dichte < 1 g/cm³ sind ; Papierlabels mit Faser-verlust durch den Recyclingsprozess Aluminiumlabels; PVC,							

PP Tiefziehschale	RecyClass			cyclos-HTP			Circular Analytics TK GmbH			Mindeststandard § 21 Abs. 3 VerpackG
Kriterium	Kompatibel Klasse A-B	begrenzt kompatibel Klasse B-C	gering kompatibel Klasse D-E-F	Abtrennbarer Störstoff (quant. Downgrade)	Untrennbarer Störstoff (meist leichtes Downgrade)	Untrennbarer Störstoff mit Downgrade - Ausschluss)	Empfehlung	Downgrade	Vermeidung empfohlen	Unverträglichkeiten
Klebstofffreie Dekoration (Sleeve, Manschette etc.)	Sleeves aus PP (Dichte < 1 g/cm³) mit Bedruckung und Barriere ohne Einfluss auf die Identifikation des Sleeve material	Sleeves aus PE (Dichte < 1 g/cm³); Sleeves aus PET, PETG, PLA, PS (Dichte > 1 g/cm³) ohne Bedruckung Zusätze, welche die Erkennung des Materials PP stören:- Sleevegröße auf Behälter > 500 ml: < 70% bedeckt- Behälter ≤ 500 ml: < 50% bedeckt	Sleeves welche die Identifikation von PP Sleeves aus non PO Materialien < 1 g/cm³ ;Aluminium; Metallisierte Sleeves; Stark bedruckte Sleeves, PVC				PP-Sleeve In-Mould-Etikett aus PP (negativ kann sich allerdings ein hoher Bedruckungsgrad auswirken) Dekoration aus einem anderen Material als PP bedeckt max. 50 % der Verpackungsoberfläche	PE, PET; Papier	metallhaltige Materialien, aluminiumhaltige Materialien mit > 5 µm Dicke, PVC In-Mould-Etikett aus anderem Material als PP, Dekoration aus einem anderen Material als PP bedeckt > 50 % der Verpackungsoberfläche	PET-Sleeves Dichte <1g/cm³
Größenbegrenzung		Kompaktierung < 5 cm	Kompaktierung < 2 cm							
andere Komponenten	PP	PE mit Dichte < 1 g/cm³; PET; PETG; PLA; PS mit Dichte > 1 g/cm³	Aluminium; PVC; Glass Komponenten; Non-PO und/oder Schäume mit Dichte < 1 g/cm³							

5.2 Fallbeispiel 2: PE-Beutel

Die als Fallbeispiel 2 gewählte Verpackung besteht aus einer transparenten Mono-PE Folie. Es sind zwei nassfeste Papieretiketten auf Folienvorder- und -rückseite angebracht. Es sind keine weiteren Bedruckungen auf der Folie direkt angebracht. Der Verschluss besteht aus einer Metallklammer mit einer Kunststoffummantelung. Da es sich hierbei um einen leicht entfernbaren Verschluss handelt, kann davon ausgegangen werden, dass der Endverbraucher diesen getrennt von der Folie entsorgt. Der PE-Beutel ohne Verschlussklammer wird somit als eigenständige Verpackung diskutiert und bewertet.

Tabelle 3 fasst die unterschiedlichen Kriterien von PE Folien der Bewertungssysteme zusammen.

Größe und Gewicht der recyclingfähigen Anteile einer Verpackung werden in die Bewertung als Kriterium miteinbezogen.

RecyClass schließt Verpackungen mit einem Kunststoffanteil unter 50% von ihrer Evaluierung aus. Zwischen 50-95% Kunststoffanteil erhält die Verpackung eine unterschiedlich stark gewichtete Abwertung der Recyclingfähigkeit. Die vorliegende PE-Folie besteht zu circa 2/3 ihres Gesamtgewichts aus PE-Folie und 1/3 Papieretiketten, weswegen eine deutliche geringere Recyclingfähigkeit der Verpackung nach Recyclclass angenommen werden kann. Durch die Gesamtgröße unter A4 wird auch hier ein Downgrading zugerechnet. Die Größe der Verpackung wird nach der Kompaktierung bestimmt. Es wird auf das ‚Sorting Protokoll‘ zur näheren Bestimmung verwiesen. Ob dieses Kriterium im genannten Fallbeispiel gegeben ist, kann ohne Praxisversuch nicht eruiert werden.

Die Restentleerbarkeit bei RecyClass wird unter Zuhilfenahme eines berechenbaren Index angegeben und kann vom Produzenten nach Anleitung selbst bestimmt werden.

cyclos-HTP erfasst in seiner Erhebung der verpackungsspezifischen Eigenschaften das Gewicht oder das Flächengewicht. Die Recyclingfähigkeit errechnet sich hierbei anhand des prozentualen Masseanteils recyclingfähiger Materialien. Eine explizite Angabe einer Gewichtsbeschränkung wird im Katalog von cyclos-HTP nicht angegeben. Bzgl. Restentleerbarkeit verweist cyclos-HTP darauf, eine ungenügsame Entleerung in seine Bewertung miteinzubeziehen und zu Pfad K8 zur Trennbarkeit und Recyclingfähigkeit zuzufügen (Institut cyclos-HTP GmbH, 2020).

Der Circular Analytics TK GmbH zufolge wird darauf hingewiesen, dass ein Downgrade für eine teilweise Restentleerung vorgesehen ist. Eine nähere prozentuale Bestimmung liegt hierbei nicht vor. Da es sich um einen PE-Beutel mit nahezu vollständigen Entleerungsmechanismus handelt, würde dieses Kriterium im bestimmten Fallbeispiel zu keinem Downgrade führen.

Bei allen Bewertungssystemen kommt es zu einer erheblichen Abwertung der Recyclingfähigkeit durch den Einsatz von unter wässrigen Bedingungen nicht ablösbaren Etiketten und deren Klebstoffen bei einer Temperaturbehandlung von unter 60°C. cyclos-HTP, die Circular Analytics TK GmbH Guideline und der Mindeststandard der deutschen Zentralen Stelle für Verpackungen rät zusätzlich in diesem Zusammenhang von einem Einsatz von nassfesten Papieretiketten ab. Alle Bewertungssysteme behandeln hier die unlöslichen Etiketten als starkes Downgrade.

Der vorliegende PE Beutel würde in allen Bewertungssystemen aufgrund seiner großflächigen unlösbaren Etiketten eine sehr geringe bis nicht ausreichende Einstufung der Recyclingfähigkeit erhalten. Die Beurteilungskriterien von RecyClass, anhand ihres öffentlich

einsehbaren Bewertungskatalogs, sind hierbei bezüglich der Verwertbarkeit hinsichtlich der Größe, Gewichtsanteil von Wertstoffen und der Restentleerbarkeit am einfachsten nachvollziehbar. Da diese Kriterien in allen anderen Bewertungssystemen ohne nähere Erklärung ebenfalls als Störfaktoren identifiziert werden, deren Abstufungskriterien allerdings nicht genauer erläutert werden, kann hier keine Aussage zu eventuellen Unterschieden in der Bewertung getroffen werden.

Tabelle 3: Design for Recycling Einstufungen von PE-Folien

PE-Folie	Recyclclass			cyclos-HTP			Circular Analytics TK GmbH			Mindeststandard § 21 Abs. 3 VerpackG	
	Kriterium	kompatibel Klasse A-B	begrenzt kompatibel Klasse B-C	gering kompatibel Klasse D-E-F	Abtrennbarer Störstoff (quant. Downgrade)	Untrennbarer Störstoff (meist leichtes Downgrade)	Untrennbarer Störstoff mit Downgrade - Ausschluss)	Empfehlung	Downgrade		Vermeidung empfohlen
Material	<u>PE-LD, PE-LLD;</u> <u>PE-HD</u>	Multilayer PE/PP	Andere Polymere (ex. PET, PVC, etc.)	nicht polyolefinischer Kunststoffanteil	PP-Folien, EVA, Metallisierung, Haftvermittler		<u>PE</u>				
Material- zusammen- setzung	A wenn PE Gehalt > 95%; B wenn PE Gehalt > 90%	C wenn PE Gehalt > 70%	<u>D wenn PE Gehalt ></u> <u>50%</u> ; E wenn PE Gehalt > 30%; F wenn PE Gehalt < 30%				Einsatz von LDPE, LLDPE, MDPE und HDPE; Metallisierung innerhalb der Laminatschicht				
Restent- leerbarkeit	<u>A wenn Index-</u> <u>Wert < 5%;</u> <u>B</u> <u>wenn Index-Wert</u> <u>< 10%</u>	C wenn Index- Wert < 15%	D wenn Index-Wert < 20%; E < wenn Index-Wert 25%; F wenn Index-Wert > 25%								
Zusätze /Additive	<u>Additive welche</u> <u>die Dichte max. <</u> <u>0,97 g/cm³</u> <u>erhöhen</u>		Bio-/oxo- /photodegradierbare Additive Additive, welche die Dichte > 0,97 g/cm ³ erhöhen (CaCO ₃ , talc, glass fibers, etc.)							Additive, welche die Dichte > 0,97 g/cm ³ erhöhen (CaCO ₃ , talc, glass fibers, etc.)	

PE-Folie	Recyclass			cyclos-HTP			Circular Analytics TK GmbH			Mindeststandard § 21 Abs. 3 VerpackG
Kriterium	kompatibel Klasse A-B	begrenzt kompatibel Klasse B-C	gering kompatibel Klasse D-E-F	Abtrennbarer Störstoff (quant. Downgrade)	Untrennbarer Störstoff (meist leichtes Downgrade)	Untrennbarer Störstoff mit Downgrade - Ausschluss)	Empfehlung	Downgrade	Vermeidung empfohlen	Unverträglichkeiten
Barriere	Barriere in Polymermatrix; SiOx und AlOx ohne zusätzliche Coatings	< 5% EVOH (bei Polyolefin Folienkombinationen); metallisierte Folien ohne Coatings; EcoLam High Plus; VO+ LLDPE	> 5% EVOH (bei Polyolefin Folienkombinationen); Barriere aus PVC, PVDC; PA; andere Barrieren Layer; Foaming Agenzien Aluminium		EVOH-Sperrschichten	PA-Barrierschichten, PVDC-Barrierschichten, Nicht-Polymer-(außer SiOx und AlOx) / Nicht-EVOH-Barrierschichten	wenn Barriere dann carbon plasma coating, eine SiOx oder Al2O3-Barriere, EvOH nach RecyClass		PVDC-, PA- und PE-X-Barrieren	PA-Barrierschichten, PVDC-Barrierschichten, nicht-Polymer-Barrierschichten (außer SiOx/AlOx/Metallisierung), nicht-EVOH Barrierschichten
Farbe	Unpigmentiert; transparent ; No Inks	Helle transluzente Farben, Nicht-toxische (nach EUPIA Guidelines)	Dunkle Farben; schwarz; Carbon black, ausblutende Druckfarben; Toxische oder gesundheitsschädliche Druckfarben							
Bedruckung	Laserdruck; Aufgedrucktes Produktions- oder Mindesthaltbarkeitsdatum	Druck über eine Gesamtfläche < 50%**	Druck über eine Gesamtfläche > 50%*				Idealerweise auf Siegelfolie oder Deckel			
Starrer Verschluss (Stülpedeckel, Schraubverschluss etc.)	PE-LD, PE-LLD, PE-HD	PP	Metal, Aluminium, PVC, PET, PETG, PS, PLA, non PO oder Schäume mit Dichte < 1 g/cm ³							
Flexibler Verschluss (Siegelfolien etc.)	PE-LD, PE-LLD, PE-HD	PP, entfernbare Aluminiumdeckel	Metal, Aluminium, PVC, PET, PETG, PS, PLA, foliertes Papier, non PO oder Schäume mit Dichte < 1 g/cm ³				Siegelfolie ohne Klebstoffreste			

PE-Folie	Recyclass			cyclos-HTP			Circular Analytics TK GmbH			Mindeststandard § 21 Abs. 3 VerpackG
	Kriterium	kompatibel Klasse A-B	begrenzt kompatibel Klasse B-C	gering kompatibel Klasse D-E-F	Abtrennbarer Störstoff (quant. Downgrade)	Untrennbarer Störstoff (meist leichtes Downgrade)	Untrennbarer Störstoff mit Downgrade - Ausschluss)	Empfehlung	Downgrade	
Etikettenmaterial	Wasserauflösend oder wasserlöslich unter 60°C		<u>Etiketten nicht wasserlöslich oder im Wasser auflösend unter 60°C</u>	Papieretiketten		<u>nicht wasserlösliche Klebstoffapplikationen in Kombination mit nassfesten Papieretiketten.</u>	Papieretiketten nur in Maßen und sollten wasserabwaschbar und nassfest sein			<u>nicht wasserlösliche Klebstoffapplikationen in Kombination mit nassfesten Etiketten auf Papierbasis;</u>
Etiketten-Klebstoff				wasserlösliche Klebstoffapplikationen						
Label	PE	PP, Papier labels ohne Faserverlust	Metallisierte labels, andere <u>Papierlabels mit Faserverlust</u>							
Klebstofffreie Dekoration (Sleeve, Manschette etc.)	PE-LD, PE-LLD, PE-HD	PP	Metal, Aluminium, PVC, PET, PETG, PS, PLA, Papier, Schäume mit Dichte < 1 g/cm3							
Größenbegrenzung	> A4 oder > 50 x 50 mm wenn kompaktiert	< A4 format oder zwischen 20 x 20 and 50 x 50 mm wenn kompaktiert (Sorting test)	< 20 x 20 mm							

5.3 Fallbeispiel 3: PET Schale

Im gewählten Fallbeispiel handelt es sich um eine Monolayer PET-Schale. Die Verpackung beinhaltet ein leicht trennbares absorbierendes Pad zum Schutz des Lebensmittels. Der Verschluss ist eine biaxial orientierte PET Siegelfolie mit coextrudierter Sperrschicht aus PE/PA/EVOH/PA/PP. Der Klebstoff für die Folie ist rückstandslos leicht entfernbar. Es befinden sich zwei Papieretiketten auf der Verpackung, eine auf dem Deckel und eine auf der Schalenunterseite. Beide Etiketten sind nicht vollständig vom Material abtrennbar, da es zum Faserverlust und keiner vollständigen Entfernung des Klebstoffes kommt.

RecyClass bietet im Rahmen seiner Spezialisierung auf Kunststoffverpackungen einen eigenen Pfad für PET Thermoforms an. Dieser kann für die Bewertung der vorliegenden Schale verwendet werden. Über den vorliegenden Monolayer hinaus ist auch eine Bewertung von Multilayer Verpackungen zugänglich. Die näheren Anforderungen sind in Tabelle 4 angeführt, sind jedoch nicht für das Fallbeispiel relevant. Es wird hierbei detailliert auf die Voraussetzungen zur Einstufung eingegangen. Im OnlineTool werden Multilayerverpackungen mit einem PET Anteil unter 30% generell als nicht recyclingfähig eingestuft. Weitere Kriterien, welche die Zusammensetzung des Materials bezüglich Additiven und Barrieren näher definieren, zeigen die unterschiedlichen gängigen Zusatzstoffe in PET Verbunden auf, was zu einer erheblichen Abwertung der Recyclingfähigkeit bis zum Ausschluss der Verpackung führen kann. Hierbei ist vor allem der Einsatz unterschiedlicher Polyolefine in Verbindung mit PET aufgrund der unterschiedlichen thermoplastischen Eigenschaften nicht mit einer Recyclingfähigkeit vereinbar. Der Einsatz von EVOH und PA Barrieren bedingt automatisch eine Einstufung in Klasse F (nicht recyclingfähig).

cyclos-HTP gibt hier für die Verwendung von Monolayer PET Schalen keine weitere gesonderte Beurteilung an. Eine Monolayer PET-Schale wird in Österreich im Sammelsystem der ARA zusammen in den Flaschenstrom für sonstige PET Getränkeflaschen, welche nicht als PET-A transparent Flasche recycelt werden, integriert (Spez. 499). Kategorisch wird in der Beurteilung bei cyclos-HTP auf den Pfad von PET Flaschen verwiesen und die Störfaktoren von sonstigen PET-Flaschen integriert. Der Einsatz einer EVOH-Monolayer Barrierschicht ist gegenüber dem hochwertigen PET Flaschenstrom weniger kritisch eingestuft und orientiert sich am Mindeststandard § 21 Abs. 3 VerpackG. Eine Grenze hinsichtlich der Verwendung wird nicht vorgegeben.

Die Circular Analytics TK GMBH behandelt die Kriterien der Flaschen und Schalen ebenfalls gemeinsam. In der folgenden Vertiefung der unterschiedlichen PET Gebinde wird allerdings auf die Unterschiede zwischen einer vollständig rezyklierbaren PET Flasche und PET Schale eingegangen. Aufgrund häufig auftretender Verbundstrukturen und der unterschiedlichen Polymerstrukturen kann es zu einer deutlichen Schmälerung der Qualität von Monolayer PET Schalen kommen, weswegen eine klare Empfehlung zur Separierung vom PET-Flaschenstrom ausgegeben wird. Der Einsatz von EVOH als Barriere wird begrenzt als Abwertung der Recyclingfähigkeit aber nicht automatisch einer Disqualifikation bei einem Anteil unter 5% zugerechnet. Der deutsche Mindeststandard § 21 Abs. 3 VerpackG fasst hierbei sämtliche PET-Verpackungsarten hinsichtlich vorhandener Störfaktoren zusammen.

Die angebrachte Siegelfolie stellt für die Bewertung von RecyClass und gemäß den Empfehlungen der Circular Analytics TK GmbH keinen Störfaktor dar, zumal die Folie gut von der Tiefziehschale entfernbar ist. cyclos-HTP nimmt keine explizite Stellungnahme zum Verschluss der PET Schale vor. Gemäß des Mindeststandard § 21 Abs. 3 VerpackG kann allerdings auf die grundsätzliche Bewertung von cyclos-HTP rückgeschlossen werden. Da eine

EVOH-Barriere und PA-Additivierung als Störfaktor bewertet wird und Teil der Siegelfolie ist, wird eine vollständige Entfernung der Siegelfolie für eine positive Bewertung notwendig.

Die Etiketten der vorliegenden Verpackung werden von RecyClass aufgrund des Faserverlusts und des Klebstoffrückstands nach Behandlung der Recyclingfähigkeit disqualifiziert. Es wird der Einsatz von Kunststoffetiketten mit einer Dichte $< 1 \text{ g/cm}^3$ aus geschäumten PET, PP, PE, OPP, geschäumtes PETG, LDPE für gut bewertet. cyclos-HTP nimmt in seinem Katalog keine Stellungnahme zu einem möglichen Faserverlust als Störfaktor. Eine Papieretikette wird generell als gut abtrennbarer, aber als die Recyclingfähigkeit mindernder Teil der Verpackung beschrieben. Die Circular Analytics TK GMBH weist hier ebenfalls auf die unterschiedlichen Eigenschaften der Etiketten hin und empfiehlt den Einsatz von Kunststoffetiketten auf derselben Basis wie RecyClass. Der Einsatz von nicht leicht löslichen Klebstoffapplikationen führt bei RecyClass, cyclos-HTP und dem Mindeststandard § 21 Abs. 3 VerpackG zu einem starken Downgrade. Die Circular Packaging Design Guideline nimmt in der aktuellen Version noch keine Stellungnahme zum Einsatz von Klebstoffen.

Der absorbierende Padeinsatz wird bei RecyClass als unproblematisch eingestuft, solange er gut entfernbar ist. Die anderen Systeme nehmen den Einsatz als eigens angeführtes Kriterium nicht auf, wodurch keine Einstufung erfolgt. Es könnte angenommen werden, dass leicht entfernbare Elemente beim Öffnen der Verpackung der Restentleerbarkeit zugeordnet werden. Da diese nicht näher bewertet wird, kann keine Schlussfolgerung zu einem möglichen Downgrade bei den anderen Bewertungsgrundlagen gezogen werden.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der nicht lösliche Klebstoff zu einer Übereinstimmung bei 3 Bewertungsgrundlagen bezüglich eines starken Downgrades geführt hat. Der Einsatz von Papieretiketten wirft zusätzliche Fragen zu Bewertungskriterien auf. Ein Faserverlust führt bei RecyClass und Circular Analytics TK GmbH zu einer deutlichen Verschlechterung in der Bewertung. Die fehlende Stellungnahme von cyclos-HTP stuft Papieretiketten nur als abtrennbarer Störfaktor ein. Zusammen mit der negativen Bewertung des Klebstoffs würde sich hier allerdings eine negative Bewertung ergeben. RecyClass liefert hier die detaillierteste Bewertungsgrundlage mit Einbeziehung der absorbierbaren Pads und der Materialzusammensetzung. Definitiv wird in 4 Bewertungssystemen eine Abwertung der Recyclingfähigkeit der Verpackung aus zum Teil unterschiedlichen Bewertungskriterien begründet. RecyClass bewertet eine verminderte Recyclingfähigkeit anhand der Papieretikette mit Faserverlust und des unlöslichen Klebstoffs. cyclos-HTP und der Mindeststandard werden aufgrund des Klebstoffs eine geringe Recyclingfähigkeit bewerten. Die Packaging Design Guideline wird die geringe Recyclingfähigkeit anhand der Papieretikette mit Faserverlust werten. Resümierend kann gesagt werden, dass in diesem Fallbeispiel bei allen Bewertungssystemen die Etiketten, und nicht die PET-Schale selbst, die ausschlaggebenden Störfaktoren für das Downgrade darstellen.

Tabelle 4: Design for Recycling Einstufungen der PET-Monolayer Schale

PET-Schale	RecyClass			cyclos-HTP			Circular Analytics TK GmbH			Mindeststandard § 21 Abs. 3 VerpackG
Kriterium	kompatibel Klasse A-B	begrenzt kompatibel Klasse B-C	gering kompatibel Klasse D-E-F	Abtrennbarer Störstoff (quant. Downgrade)	Untrennbarer Störstoff (meist leichtes Downgrade)	Untrennbarer Störstoff mit Downgrade Ausschluss)	Empfehlung	Downgrade	Vermeidung empfohlen	Unverträglichkeiten
Material	PET	Leichtes Downgrade: Komponenten aus PE, PP, geschäumtes PET, geschäumtes PET-G, EPS, LDPET mit Dichte <1 g/cm ³	Jegliches PET-basiertes Multilayer wie PET/PE;PLA; PS; PETG; C-PET; PET-GAG; expandiertes PET, Disqualifikation: PVC/PVDC, Carbon Black, Opake, metallische, und andere transparente Farben, Bio- oder oxo-degradierbare Additive, Nanobestandteile, Aluminiumbeschichtung, Metallteile			POM-Komponenten; PET-G-Komponenten; Silikonkomponenten PVC, PS"	PET		Verbund mit: Materialien mit einer Dichte > 1 g/cm ³ (z.B. PVC, PS), PLA, PC, PE; PET-GAG Struktur; PETG, CPET; expandiertes PET (LDPET)	PET-G-Komponenten; POM-Komponenten; PVC-Komponenten; Silikonkomponenten
Materialzusammensetzung	A wenn PET Anteil > 95%; B wenn PET Anteil > 90%	C wenn PET Anteil > 70%	D wenn PET Anteil > 50%; E wenn PET Anteil > 30%; F wenn PET Anteil < 30%			nicht magnetische Metalle, Elastomerkomponenten der Dichte > 1 g/cm ³ ,				nicht magnetische Metalle, Elastomerkomponenten der Dichte > 1 g/cm ³ ;
Restentleerbarkeit	A wenn Index < 5%; B wenn Index < 10%	C wenn der Index < 15%	D wenn Index < 20%; E < wenn Index 25%; F wenn Index > 25%							
Zusätze /Additive	Silikon Oberfläche; Antiblocking masterbatch (max 3%)	UV Stabilisierer; AA Blocker; optische Aufheller; antiblocking masterbatch (> 3%); Anti-Stat Agentien; Antifogmittel (an Oberfläche)	Bio/Oxo/Photodegradable additives; Nanocomposites		AA-Blocker; UV-Stabilisatoren PA-Additivierung PET-A-Copolymer, TPE-PO-basiert			UV-Stabilisatoren; AA-Blocker; optische Aufheller; Sauerstoff-Absorber	PA-Additivierung (PET-A Copolymer); dichteverändernde Stoffe; Nanopartikel, Sauerstoff-/ bio-/ oxo-abbaubare Additive	PA-Additivierung für transparente PET-Flaschen

PET-Schale	RecyClass			cyclos-HTP			Circular Analytics TK GmbH			Mindeststandard § 21 Abs. 3 VerpackG
Kriterium	kompatibel Klasse A-B	begrenzt kompatibel Klasse B-C	gering kompatibel Klasse D-E-F	Abtrennbarer Störstoff (quant. Downgrade)	Untrennbarer Störstoff (meist leichtes Downgrade)	Untrennbarer Störstoff mit Downgrade Ausschluss)	Empfehlung	Downgrade	Vermeidung empfohlen	Unverträglichkeiten
Barriere	PET basierte Sauerstoffabsorber ohne Gelbfärbung gemäß EPBP Oven Test	PET basierte Sauerstoffabsorber mit begrenzter Gelbfärbung gemäß EPBP Oven Test (Platform, Februar 2010)	EVOH; PA; any other barrier; any other oxygen scavenger	Plasma coating (clear); PA-Monolayer-Barrierschichten	EVOH-Monolayer-Barrierschichten		keine Barrierschicht; SiO _x , Al ₂ O ₃ Barriere; carbon plasma coating	Aluminiumbedampfung (Metallisierung) 2; max. 5 Gew. % PA3; PGA Multilayer; PTN Legierung; TPE – PO – basierende Barrieren	EVOH; über 5 Gew. % PA; Aluminiumbarrieren; eingeblendete Barrieren	EVOH-Barrierschichten, PA-Monolayer-Barrierschichten
Farbe Bedruckung	Transparent; light blue, Nicht toxische Substanzen gemäß EuPIA Guidelines Laser bedruckt	Produktions oder MHD	Opake; Andere transparente Farben; metallische; Blutende ausblutende Farben; toxische oder gesundheitsgefährdende Farben Toxische oder gesundheits-schädliche oder ausblutende Farben, andere Direktbedruckungen				Transparent EuPIA-konforme Farben; nichtblutende Farben; keine direkte Bedruckung auf dem Packmittel	blasse und helle Farben (z.B. blau oder grün); dunkles oder opakes Material	Carbon black -basierte Farben; metallische oder fluoreszierende Farben blutende Farben; umfangreiche direkte Bedruckung auf dem Packmittel	
Codierung (Chargencodierung, MHD)							Prägung; Lasermarkierung	MHD/Chargen wenn nötig, durch mini-malen Direkt-druck mit anderen Codierungssystemen (z.B. Ink-Jet): lebensmittelkonforme Farben verwenden		

PET-Schale	RecyClass			cyclos-HTP			Circular Analytics TK GmbH			Mindeststandard § 21 Abs. 3 VerpackG
Kriterium	kompatibel Klasse A-B	begrenzt kompatibel Klasse B-C	gering kompatibel Klasse D-E-F	Abtrennbarer Störstoff (quant. Downgrade)	Untrennbarer Störstoff (meist leichtes Downgrade)	Untrennbarer Störstoff mit Downgrade Ausschluss)	Empfehlung	Downgrade	Vermeidung empfohlen	Unverträglichkeiten
Starrer Verschluss (Stülpdeckel, Schraubverschluss etc.)			jeglicher anderer Verschluss				PP, HDPE; Materialien mit einer Dichte < 1 g/cm ³ ; Verschlusssysteme ohne Liner, wenn nötig EVA oder TPE Liner	Silikon (Dichte < 1 g/cm ³)	Metalle, Duroplaste, PS, PVC, nicht vollständig ablösbare Siegelungen oder Silikone; Glas und Metallfedern bei Pumpsystemen; Materialien mit einer Dichte > 1 g/cm ³ ; POM	
Flexibler Verschluss (Siegefolien etc.)	Unbedruckte PET; Kunststoffe mit Dichte < 1 g/cm³ und einfacher Entfernung von der Schale ohne Klebstoffrückstände; geschäumte PET basierte Folien; SiOx and AluOx Plasma als Barriere	bedruckter PET-Verschluss (außer MHD)					PP, HDPE; Materialien mit einer Dichte < 1 g/cm ³ ; Siegefolie welche keinen Rückstand nach dem Abziehen durch Letztverbrauch her*innen hinterlässt; PET; geschäumte Folien auf PET-Basis, wenn Schaumstruktur bei 90 °C nicht zerstört wird	Silikon (Dichte < 1 g/cm ³)	aluminiumhaltige Materialien mit > 5 µm Dicke; Duroplaste, PS, PVC, nicht vollständig ablösbare Siegefolien oder Silikone; Materialien mit einer Dichte > 1 g/cm ³	

PET-Schale	RecyClass			cyclos-HTP			Circular Analytics TK GmbH			Mindeststandard § 21 Abs. 3 VerpackG
Kriterium	kompatibel Klasse A-B	begrenzt kompatibel Klasse B-C	gering kompatibel Klasse D-E-F	Abtrennbarer Störstoff (quant. Downgrade)	Untrennbarer Störstoff (meist leichtes Downgrade)	Untrennbarer Störstoff mit Downgrade Ausschluss)	Empfehlung	Downgrade	Vermeidung empfohlen	Unverträglichkeiten
Etikettenmaterial	Labels aus PE; PP; OPP (wenn Dichte < 1 g/cm³ ohne störende flächiger Größe, welche die Erkennung des PET-polymer hindern würde (Labelgröße: < 30% Bedeckung),	BPA-freie Papierlabels ohne Faserverlust während des Recyclingprozess	Kunststofflabels mit einer Dichte > 1 g/cm³; Disqualifikation: Papierlabels mit Faserverlust während des Recyclingprozess; Papierlabels mit BPA; Nicht aufschwimmende Papierlabels	Papieretiketten, PE, PP-Etiketten			Material mit einer Dichte < 1 g/cm³, z.B. PP, PE, OPP, geschäumtes PET, geschäumtes PETG, LDPET	Papieretiketten (nassfest)	Material mit einer Dichte > 1 g/cm³, z.B. PVC, OPS oder PET, PETG, PLA; nicht-nassfeste Papieretiketten; metallhaltige Materialien, aluminiumhaltige Materialien mit > 5 µm Dicke	PVC-Etiketten/Sleeves, PS-Etiketten/Sleeves, PET-G-Etiketten/Sleeves; sonstige blended-barriers;
Etikettenklebstoff	Alkali/wasser löslich oder Alkali/wasser ablösbarer Klebstoff bei 60-80°C ohne Reaktivierung		Alle anderen Klebstoffe	wasserlösliche oder alkalisch lösliche Klebstoffapplikationen		nicht lösliche Klebstoffapplikation (in Wasser oder alkalisch bei 80°C)	in Überarbeitung	In Überarbeitung	In Überarbeitung	nicht lösliche Klebstoffapplikationen (in Wasser oder alkalisch bei 80°C)
Klebstofffreie Dekoration (Sleeve, Manschette etc.)	100% entfernbare Klebstoffe, Klebstoffe ohne Rückstände auf getesteten Flakes bei 70°C	100% entfernbare Klebstoffe, Klebstoffe ohne Rückstände auf getesteten Flakes bei 85°C	Alle anderen Klebstoffe	PE, PP-Sleeves		PET-G/S-Etiketten/Sleeves	Material mit einer Dichte < 1 g/cm³, z.B. PP, PE, OPP, geschäumtes PET, geschäumtes PETG, LDPET	In-Mould-Etikett aus PET; Papier	Material mit einer Dichte > 1 g/cm³, z.B. PVC, OPS oder PET, PETG, PLA; metallhaltige Materialien, aluminiumhaltige Materialien mit > 5 µm Dicke	
Größenbegrenzung		Kompaktiert < 5 cm	Kompaktiert < than 2 cm				Dekoration bedeckt max. 50 % der Verpackungsoberfläche		großflächige Dekoration (bedeckt > 50 % der Verpackungsoberfläche)	

PET-Schale	RecyClass			cyclos-HTP			Circular Analytics TK GmbH			Mindeststandard § 21 Abs. 3 VerpackG
Kriterium	kompatibel Klasse A-B	begrenzt kompatibel Klasse B-C	gering kompatibel Klasse D-E-F	Abtrennbarer Störstoff (quant. Downgrade)	Untrennbarer Störstoff (meist leichtes Downgrade)	Untrennbarer Störstoff mit Downgrade Ausschluss)	Empfehlung	Downgrade	Vermeidung empfohlen	Unverträglich- keiten
Sonstige Zusätze	Beilage aus HDPE / LDPE / PP <u>wie</u> <u>superabsor-</u> <u>bierende</u> <u>Pads,</u> <u>Luftpolster-</u> <u>folie (voraus-</u> <u>gesetzt eine</u> <u>leichte Ent-</u> <u>fernung ist</u> <u>rückstands-</u> <u>los und</u> <u>Dichte <1</u> <u>g/cm³</u>	Papier & Karton ohne Faserverlust	PVC / PS / EPS / PU / PA; PC/PMMA;Duroplast Kunststoffe/metalle; Papier & Karton mit Faserverlust							

5.4 Fallbeispiel 4: PPK-Verbund

Im Unterschied zu den bisher gewählten Fallbeispielen ist der PPK Verbund nicht mit jedem der näher betrachteten Bewertungssystemen evaluierbar. Recyclass hat durch seine Eingrenzung auf einen Mindestgewichtsanteil von 50% Kunststoff keine Bewertungsgrundlage für PPK Verpackungen. Die gewählte Verpackung besteht aus einer abtrennbaren Oberfolie aus PET/PE 73 und einer Unterfolie aus mind. 80,3 % Papier und einer einseitig aufgetragenen Kunststoff-Folie. Auf der Rückseite der Unterfolie befindet sich eine 80x80 mm große Papieretikette. Da die Abtrennung der Oberfolie gut möglich ist, wird in der vorliegenden Bewertung die Unterfolie als eigenständige Verpackung bewertet. Tabelle 5 zeigt die erfassten Merkmale der Bewertungssysteme für PPK Verbunde auf.

Entsprechend der österreichischen Mindestanforderung eines PPK Verbunds, einen Faseranteil von 80% PPK zu besitzen, empfiehlt die Circular Analytics TK GmbH in diesem Zusammenhang höhere Faseranteile. Auch cyclos-HTP nimmt auf die Definition der 80/20-Regelung in ihrem Katalog Bezug, führt allerdings keine abstufende Bewertung anhand eines definierten Anteils zwischen 80-95% PPK an.

Der Einsatz einer einseitigen Beschichtung wird bei cyclos-HTP als abtrennbarer Störstoff bewertet. Der hierbei verbleibende Wertstoff ist der Faseranteil des PPK Verbunds. Übrige Anteile werden im Reject ausgeschleust. Der Einsatz von Klebstoffen, wie für die Papieretikette verwendet, führt abhängig von seinem Löslichkeitsverhalten zu einem Downgrade in der Bewertung. Der Einsatz von Kunststoffetiketten würde hier zusätzlich die Recyclingfähigkeit mindern. Die Bedruckung der Etikette sollte nach cyclos-HTP und der Circular Analytics TK GmbH mit EU-konformen nicht toxischen Farben gemäß EuPIA (Exclusion list for printing inks and related products) durchgeführt werden.

Ebenso wird die Applikation wasserunlöslicher Klebstoffe auch von der deutschen Stiftung Zentrale Stelle für Verpackungen als wesentlicher Störfaktor charakterisiert.

Die Circular Analytics TK GmbH behandelt PPK Verbunde unter dem generellen Kriterium der Altpapierbewertung. Eine einseitige Beschichtung, wie hier vorliegend, ist hierbei möglichst zu vermeiden. Sofern sie einen Anteil von >15% überschreitet, wird sie als starker Störfaktor eingestuft. Als Grund hierfür wird vor allem der Verlust an Faseranteilen durch das Hängenbleiben von Fasern am Kunststoff genannt. Im Gegensatz zu cyclos-HTP wird derzeit keine Empfehlung für den Einsatz von Klebstoffen angegeben.

Zusammenfassend weist die Bewertung des gewählten PPK-Verbunds hier deutliche Unterschiede auf. Eine Bewertung ist für RecyClass grundsätzlich nicht durchführbar. Die Applikation von unlöslichen Klebstoffen werden bei cyclos-HTP und dem Mindeststandard der Zentralen Stelle für Verpackungen als starker Störfaktor bewertet. Die Circular Analytics TK GmbH fasst das Kriterium in ihrem Bericht auf, gibt hierbei allerdings derzeit keine Angaben.

Tabelle 5: Design for Recycling Einstufungen von PPK Verbunden

PPK-Verbund	Recyclclass			cyclos-HTP			Circular Analytics TK GmbH			Mindeststandard § 21 Abs. 3 VerpackG
Kriterium	kompatibel Klasse A-B	begrenzt kompatibel Klasse B-C	gering kompatibel Klasse D-E-F	Abtrennbarer Störstoff (quant. Downgrade)	Untrennbarer Störstoff (meist leichtes Downgrade)	Untrennbarer Störstoff mit Downgrade - Ausschluss)	Empfehlung	Downgrade	Vermeidung empfohlen	Unverträglichkeiten
Material	keine Bewertung unter 50% Kunststoffanteil möglich						Nadel- und Laubbaum	nichtholzige Pflanzen wie Hanf, Gras, Baumwolle etc.		
Material-zusammensetzung				Kunststoffoliene tiketten, Kunststoff- und Metalllayer; Kunststoff- und Metallanteile; nassfestes Papier	Druckfarben und Klebstoffe, re-dispergierende wasserlösliche Druckfarben und Klebstoffe; Streichfarben und Füllstoffe	Nicht wasserlösliche oder nicht redispersierbare Klebstoffapplikationen, soweit nicht nachgewiesen wird, dass sie entfernt werden können	ohne Beschichtung; einseitige Kunststoffbeschichtung oder Kunststofflaminat, wenn Faseranteil > 95 %, einseitige Kunststoffbeschichtung unter 5 Gew.% der Gesamtmasse	einseitige Kunststoffbeschichtung oder Kunststofflaminat, wenn Faseranteil 85 bis 95 %; metallisiertes Papier, wenn die Metallisierung unter 60 % der Oberfläche einnimmt	beidseitige Kunststoffbeschichtung; einseitige Kunststoffbeschichtung oder Kunststofflaminat, wenn Faseranteil < 85 %; Wachsbeschichtung; Silikonpapier	
Zusätze /Additive							mineralische Füllstoffe wie Kaolin, Talkum und Kalziumkarbonat; Titandioxid (Weißpigment); Stärke (Bindemittel);		nassfest ausgerüstete Faseranteile	
Farbe						Komponenten der EuPIA (Exclusion list for printing inks and related products).	Uneingefärbtes/ Papier / Karton	EuPIA-konforme UV-gehärtete Druckfarben und Lacke		
Bedruckung							EuPIA-konforme Farben		mineralöhlhaltige Farben	
Etikettenmaterial						Kunststoffoliene tiketten;				

PPK-Verbund	Recyclass			cyclos-HTP			Circular Analytics TK GmbH			Mindeststandard § 21 Abs. 3 VerpackG
Kriterium	Kompatibel Klasse A-B	begrenzt kompatibel Klasse B-C	gering kompatibel Klasse D-E-F	Abtrennbarer Störstoff (quant. Downgrade)	Untrennbarer Störstoff (meist leichtes Downgrade)	Untrennbarer Störstoff mit Downgrade - Ausschluss)	Empfehlung	Downgrade	Vermeidung empfohlen	Unverträglichkeiten
Etiketten-Klebstoff	keine Bewertung unter 50% Kunststoffanteil möglich						In Überarbeitung	In Überarbeitung	In Überarbeitung	<u>Nicht wasserlösliche oder redispergierende Klebstoffapplikationen, soweit nicht nachgewiesen wird, dass sie entfernt werden können.</u>
Ausführung							minimale Bedruckung ohne Kombination mit nicht faserbasierten Werkstoffen; Papierklebebänder	Heftklammern; Kunststoff-Klebebänder; Sichtfenster und andere Kunststoffkomponenten, die leicht vom Papier abgetrennt werden können;	Sichtfenster und andere Kunststoffkomponenten, die nicht leicht vom Papier abgetrennt werden können	

5.5 Fallbeispiel 5: Kunststoffverbund PP/EVOH/PP

Die vorliegende Verpackung besteht aus einem Verbundmaterial aus biaxial orientiertem Polypropylen mit einer coextrudierten Siegelsperrschicht aus EVOH und Polypropylen. Da die Verpackung lt. Spezifikation als Verbund angegeben wird, kann per Definition davon ausgegangen werden, dass der EVOH Anteil an der Verpackung >5% vom Gesamtverpackungsmaterial ausmacht. Die Etikette besteht aus einem Obermaterial aus geschäumter, weiß, bi-axial orientierter PP Folie. Der Kleber für die Etikette ist ein permanent haftender Allzweckklebstoff auf Kautschukbasis, welcher nicht alkali- oder wasserlöslich bei 90°C ist.

Das vorliegende Folienmaterial wird aufgrund seines Anteils an EVOH bei RecyClass mit einer Abwertung der Recyclingfähigkeit bewertet. Die PP Folie hat einen PRE Recyclingpfad und der Inhalt ist leicht entleerbar und somit voll kompatibel. Die Circular Analytics TK GmbH empfiehlt den Gebrauch von EVOH zu vermeiden und orientiert sich hierbei an RecyClass, einen Gewichtsanteil einer EVOH Barrierschicht unter 5% zu empfehlen. Cyclos-HTP wertet den Anteil des Copolymers als nicht entfernbaren Störfaktor, welcher von der Gesamtrecyclingfähigkeit des Wertstoffs PP abgezogen werden muss. Inwiefern ein prozentualer geringer Anteil hier unterschiedlich gewertet wird, ist nicht angeführt. In einem Beispiel zur Erklärung des Bewertungssystems wird allerdings erwähnt, dass EVOH als Barriere in PP Folien ein geringer Störfaktor ist. Durch die Definition eines Verbundmaterials vom Mindeststandard § 21 Abs. 3 VerpackG ist festgelegt, dass ein Verbund vorliegt, wenn der untrennbare Materialanteil eines Materials nicht > 95% ist. Somit wird ein Produkt mit einem untrennbaren Materialanteil > 95% als Vollmaterial gewertet. Inwiefern hier ein Downgrade durch die quantitative Menge der EVOH Schicht entsteht, wird nicht näher abgeklärt. Eine EVOH Barriere wird nur bei PET Kunststoffen als Störfaktor kategorisiert.

Der unlösliche Klebstoff wird bei RecyClass als starkes Downgrade bewertet. Die Verwendung von PP-Etiketten ist allerdings kompatibel. cyclos-HTP und der Mindeststandard verweisen darauf, dass ein unlöslicher Klebstoff zusammen mit nassfesten Papieretiketten ein erheblicher Störfaktor ist. Es gibt keine Stellungnahme zur Kombination von unlöslichen Klebstoffen mit Kunststoffetiketten. Die Klebstoffproblematik wird von der Circular Analytics TK GmbH und der Circular Packaging Design Guideline derzeit überarbeitet.

Zusammenfassend fällt auf, dass die Bewertungsgrundlagen für den gewählten Kunststoffverbund sehr ähnlich sind. Bei RecyClass und der Circular Analytics TK GmbH führt die genauere Angabe der Bedingungen für die Einstufung von EVOH-Barrieren zu einem geringen Downgrade der vorliegenden Verpackung. cyclos-HTP weist hier ebenfalls auf ein Downgrade hin. Die Klebstoffproblematik kann hier anhand der widersprüchlichen Bewertungen von Etikettenmaterial und Klebstoff bei cyclos-HTP und dem Mindeststandard nicht eindeutig geklärt werden. Bei RecyClass kann eine deutlich schlechtere Bewertung aufgrund der Unlöslichkeit angenommen werden. Die **Einstufung von Kunststoffetiketten als Störfaktor in Verbindung mit Klebstoffen** wird derzeit von mehreren Bewertungssystemen erforscht.

Tabelle 6: Design for Recycling Einstufungen von PP-EVOH-PP Verbundmaterial

PP-EVOH-PP Kunststoff-verbund	RecyClass			cyclos-HTP			Circular Analytics TK GmbH			Mindeststandard § 21 Abs. 3 VerpackG
Kriterium	Kompatibel Klasse A-B	begrenzt kompatibel Klasse B-C	gering kompatibel Klasse D-E-F	Abtrennbarer Störstoff (quant. Downgrade)	Untrennbarer Störstoff (meist leichtes Downgrade)	Untrennbarer Störstoff mit Downgrade - Ausschluss)	Empfehlung	Downgrade	Vermeidung empfohlen	Unverträglichkeiten
Material	PP	Multilayer PP/PE	Any other polymer (ex. PET, PVC, etc.)	Kunststoffe der Dichte > 1 g/cm ³	sonstige thermoplastische Polymere der Dichte < 1 g/cm ³ in geringer Konzentration (z. B. EVA**, TPE PO-basiert),	Nicht trennbare Silikonkomponenten; Komponenten geschäumter nicht thermoplastischer Elastomere; Nicht-PO-Kunststoffe der Dichte < 1 g/cm ³		ein Mehrschicht-Verbundmaterial kann, wenn nötig, eingesetzt werden, wenn dieser aus verschiedenen PP-Typen (z.B. OPP, BOPP) aufgebaut ist; Mehrschicht-Verbundmaterial mit PE		
Materialzusammensetzung	A wenn PP Anteil > 95%; B wenn PP Anteil > 90%	C wenn PP Anteil > 70%	D wenn PP Anteil > 50%; E wenn PP Anteil > 30%; F wenn PP Anteil < 30%							
Restentleerbarkeit	A wenn der Index < 5%; B wenn der Index < 10%	C wenn Index < 15%;	D wenn Index < 20%; E < wenn Index 25%; F wenn Index > 25%							
Zusätze /Additive	Additive mit Dichte < 0,97 g/cm ³		Bio-/oxo-/photodegradierbare Additive, Additive mit Dichte > 0,97 g/cm ³ (CaCO ₃ , talc, Glasfaser, etc.)					Additive wenn Dichte < 0,97 g/cm ³ (flexible Verpackungen) / < 1 g/cm ³ (starre Verpackungen)	Metallisierung nur innerhalb Laminatstruktur sodass NIR Detektion von PP möglich	

PP-EVOH-PP Kunststoffverbund	RecyClass			cyclos-HTP			Circular Analytics TK			Mindeststandard § 21 Abs. 3 VerpackG
Kriterium	Kompatibel Klasse A-B	begrenzt kompatibel Klasse B-C	gering kompatibel Klasse D-E-F	Abtrennbarer Störstoff (quant. Downgrade)	Untrennbarer Störstoff (meist leichtes Downgrade)	Untrennbarer Störstoff mit Downgrade - (Ausschluss)	Empfehlung	Downgrade	Vermeidung empfohlen	Unverträglichkeiten
Barriere	Barriere in der Polymer matrix; SiOx and AlOx ohne zusätzliche Coatings	EVOH (< 5%, in polyolefinic combination film); metallized layers without coatings;	Barrierschicht PVC, PVDC, PA; EVOH > 5% ; jegliche andere Barrierschicht; expandierte Agenzien; Aluminium		EVOH-Sperrschichten	PA-Barrierschichten; PVDC-Barrierschichten	carbon plasma coating, eine oder – SiOx Al2O3 Barriere, EVOH bis < 5%	EVOH > 5% ; Aluminium-Bedampfung (Metallisierung)	PVDC und PA Barrieren	PA-Barrierschichten, PVDC-Barrierschichten, nicht-Polymer-Barrierschichten (außer SiOx/AlOx/Metallisierung), nicht-EVOH Barrierschichten.
Farbe	Unpigmentiert, transparent, keine Farben	Helle Farben, transluzente Farben	Dunkle Farben, Carbon Black, blutende Farben, toxische oder gesundheitsschädliche Farben				transparent, weiß			
Bedruckung	Laserbedruckungen;gedruckt ed MHD	Non-toxische (according to EUPIA guidelines), Anteil bedruckt < 50%	Bedruckter Anteil > 50%				EuPIA-konforme Druckfarben; nichtblutende Farben; möglichst minimale Bedruckung; helle oder lasierende Farben		Zu große Bedruckungen, Nicht blutende Farben	

Kriterium	RecyClass			cyclos-HTP			Circular Analytics TK GmbH			Mindeststandard § 21 Abs. 3 VerpackG
	Kompatibel Klasse A-B	begrenzt kompatibel Klasse B-C	gering kompatibel Klasse D-E-F	Abtrennbarer Störstoff (quant. Downgrade)	Untrennbarer Störstoff (meist leichtes Downgrade)	Untrennbarer Störstoff mit Downgrade - Ausschluss)	Empfehlung	Downgrade	Vermeidung empfohlen	
Codierung (Chargen- codierung, MHD)	Kleinflächige Bedruckung (MHD)						Prägung; Lasermar- kierung	die Chargen- codierung und Angabe des MHDs kann, wenn nötig, auch durch einen minimalen Direktdruck mit anderen Codierungssyste- men (z.B. Ink-Jet) erfolgen, insofern lebensmittelkonfor- me Farben verwendet werden		
Starrer Verschluss (Stülpdeckel, Schraub- verschluss etc.)	PP	PE	Metal, aluminium, PVC, PET, PETG, PS, PLA, non PO / Schäumungsmittel mit Dichte < 1 g/cm3		PE-Verschlüsse		PP; Verschlussys- teme ohne Liner, wenn nötig EVA oder TPE Liner	PE (HDPE, LDPE, LLDPE, MDPE), PET; PETG, PS; PLA		
Flexibler Verschluss (Siegelfolien etc.)	<u>PP</u>	PE, entfernbare Aluminiumdeckel	Metal, aluminium, PVC, PET, PETG, PS, PLA, foliertes Papier, non PO oder Schäumungsmittel mit Dichte < 1 g/cm3				<u>PP</u> ; Siegelfolie welche keinen Rückstand nach dem Abziehen durch Letztverbrauch er*innen hinterlässt; <u>PP- und PE- Kunststoffla- minate (können bei Entsorgung auch anhaftend bleiben)</u>	PE (HDPE, LDPE, LLDPE, MDPE), PET; PETG, PS; PLA		

PP-EVOH-PP Kunststoffverbund	RecyClass			cyclos-HTP			Circular Analytics TK GmbH			Mindeststandard § 21 Abs. 3 VerpackG
Kriterium	Kompatibel Klasse A-B	begrenzt kompatibel Klasse B-C	gering kompatibel Klasse D-E-F	Abtrennbarer Störstoff (quant. Downgrade)	Untrennbarer Störstoff (meist leichtes Downgrade)	Untrennbarer Störstoff mit Downgrade - Ausschluss)	Empfehlung	Downgrade	Vermeidung empfohlen	Unverträglichkeiten
Etikettenmaterial	Water soluble or water releasable adhesive (@ less than 40°C)			Papieretiketten	LDPE* (z. B. Etiketten)		PP-Etikett	Papieretiketten (nassfest); PE; Etiketten aus anderen Materialien als PP oder PE müssen wasserabwaschbar sein, es dürfen keine Klebstoffreste verbleiben		
Etikettenklebstoff	Wasserlöslich oder auflösend bei 60°C		Andere Klebstoffe, die nicht-löslich in Wasser oder nicht auflösbar bei 60°C sind	wasserlösliche Klebstoffapplikationen	Haftvermittler	nicht wasserlösliche Klebstoffapplikation in Kombinationen mit nassfesten Papieretiketten	In Überarbeitung	In Überarbeitung	In Überarbeitung	nicht wasserlösliche Klebstoffapplikationen in Kombination mit nassfesten Etiketten auf Papierbasis
Label	PP		Metallisierte Labels, andere Etiketten, Papieretiketten mit Faserverlust	ALU-Platinen						
Klebstofffreie Dekoration (Sleeve, Manschette etc.)							PP-Sleeve In-Mould-Etikett aus PP (negativ kann sich allerdings ein hoher Bedruckungsgrad auswirken); Dekoration aus einem anderen Material als PP bedeckt max. 50 % der Verpackungsoberfläche	PE, PET; Papier		

PP-EVOH-PP Kunststoff- verbund	RecyClass			cyclos-HTP			Circular Analytics TK GmbH			Mindest- standard § 21 Abs. 3 VerpackG
Kriterium	Kompatibel Klasse A-B	begrenzt kompatibel Klasse B-C	gering kompatibel Klasse D-E-F	Abtrennbarer Störstoff (quant. Downgrade)	Untrennbarer Störstoff (meist leichtes Downgrade)	Untrennbarer Störstoff mit Downgrade - Ausschluss)	Empfehlung	Downgrade	Vermeidung empfohlen	Unverträglich- keiten
Größen- begrenzung	<u>> A4 or > 50 x 50 mm once compacted</u>	< A4 format or between 20 x 20 and 50 x 50 mm once compacted (Sorting test)	< 20 x 20 mm							
andere Komponenten	PP	PE	Metal, aluminium, PVC, PET, PETG, PS, PLA, Papier, Schäumungsmittel mit Dichte < 1 g/cm							

5.6 Befragung zu design-spezifischen Aspekten der Bewertung der Recyclingfähigkeit

5.6.1 Klebeetiketten und Klebstoffe als Störfaktoren der Recyclingfähigkeit Bewertungssystembetreiber

Die Bewerter wurden um eine Stellungnahme bezüglich des Einsatzes von Klebeetiketten und den Einsatz von Klebstoffen als Störfaktor für die Recyclingfähigkeit gebeten.

RecyClass testet derzeit unterschiedliche Klebstoffarten im Hinblick auf deren Einfluss auf die Qualität des Rezyklats. Es wird an der Erhebung des Einflusses von Kaschierklebstoffen mit Beteiligung der Hersteller gearbeitet, um zu definieren, welche Klebstoffarten im Design für eine gute Recyclingfähigkeit zur Anwendung kommen können. Ebenso erkennt RecyClass die Problematik der Klebstoffe für Etiketten an und gibt dazu ein eigenes Testprotokoll für Zertifizierungsstellen aus. Da oftmals seitens der Hersteller der Klebstoff als abwaschbar deklariert wird, dies aber aufgrund des geringen Einsatzes von Lauge oder Detergenzien in Recyclinganlagen nicht umsetzbar ist, wäre das Quick Test Protokoll für die Einschätzung der tatsächlichen Recyclingfähigkeit sinnvoll und soll den Einsatz geeigneter Etikettenklebstoffe forcieren.

Cyclos-HTP stellt die tatsächliche Problematik der Klebeetiketten hierbei mittels der praktischen Tests fest. Eine Einstufung nach Kategorie 1-3 nach ihrem Bewertungskatalog ist dann möglich. Konkret auf die Klebstoffproblematik angesprochen, verweist cyclos-HTP auf die unterschiedlichen Einordnungen gemäß seines Bewertungskatalogs in Kategorie 1-3, wonach eine Klebstoffapplikation gemäß des Mindeststandards auch als Ausschlussgrund angeführt werden kann.

Die FH Campus Wien vermutet, dass einige Klebstoffe unterschätzte Störfaktoren in der Recyclingfähigkeitsbewertung darstellen. Hierzu wird aktuell Forschungsarbeit betrieben, welche Ende dieses Jahres veröffentlicht wird und in die neueste Version der zugrunde liegenden Circular Packaging Design Guideline der FH Campus Wien eingearbeitet und anschließend in das Bewertungstool der CA TK GmbH aufgenommen werden soll.

Reclay gab an, hier nach den Empfehlungen des Mindeststandard vorzugehen. Reclay betont, dass es oft schwierig ist, für Kaschierklebstoffe, Materialverbunde und Klebstoffe für Wiederverschlüsse den Klebstoff als Störfaktor zu bewerten, da dieser oftmals in den Spezifikationen nicht angegeben wird. Dieser müsste dann als prozentualer Anteil vom Wertstoff abgezogen werden.

ERP Recycling gibt an, eine Bewertung für Klebeetiketten vorzunehmen. Ein Störstoff ist ein materialfremdes Material. Die Klebstoffe sollten wasserlöslich sein. Nicht wasserlösliche Klebstoffe mit EuPIA-Komponenten sind hierbei starke Störfaktoren.

5.6.2 Klebeetiketten und Klebstoffe als Störfaktoren der Recyclingfähigkeit - Sortierer und Recycler

Um ein besseres Verständnis für die Auswirkungen des Störfaktors Etiketten und Klebstoffe zu gewinnen, wurden ebenfalls die Vertreter der Sortierer- und Recyclingbranche befragt.

Seitens der Sortieranlagenbetreiber sehen die befragten Unternehmer dann ein Problem, wenn es sich um großflächige Etiketten handelt. Ein Unternehmer präzisiert das Problem anhand der Größe der Etiketten. Kleine Etiketten verursachen in der Regel keine Probleme. Vollsleeves verursachen Probleme, wenn sie nicht mit der Sortierung abgestimmt sind. Ein

weiterer Unternehmer sieht für die Aufbereitung wenig generelle Relevanz. Für die Sortier-Erkennung sollte das gleiche Material verwendet werden.

Die Befragung der Rezyklierer ergibt, dass die Kategorisierung nach Abwaschbarkeit und Löslichkeit der Etiketten laut Mindeststandard essentiell ist. Von einem Unternehmer wird angegeben, dass Klebeetiketten, die der Design for Recycling Guideline entsprechen, wenn sie abwaschbar sind, nicht wesentlich stören. Ein weiterer Unternehmer gibt an, mit Kunststoffetiketten wenig Probleme im Rezyklat zu haben. Ein weiterer Unternehmer differenziert in diesem Punkt und spricht den PE Etiketten den geringsten Störfaktor zu, PP und Papieretiketten würden erheblich größere Störfaktoren sein.

5.6.3 Biobasierte Kunststoff – Bewertungssystembetreiber

Die Bewertungssysteme wurden um eine Stellungnahme zu biobasierten Kunststoffen gebeten.

Cyclos-HTP, Reclay, und ERP Recycling verweisen darauf, dass die Genese des Werkstoffs (z.B. PET aus Zuckerrohr) keinen Einfluss auf die Recyclingfähigkeit hat. Für Biokunststoffe aus PLA liegen allerdings aktuell keine Sortierfraktionen vor, da die Sammelmenge zu gering ist.

In der Circular Packaging Design Guideline der FH Campus Wien wird die Thematik biobasierte KS nicht berücksichtigt. Die Begründung ist, das derzeit in Ö zu geringe Marktvolumen und damit Abfallmengen ~~aufkommen~~ für eine separate Berücksichtigung in der Sortierung aufkommen. Solange eine vergleichbare Qualität zu herkömmlichen Kunststoffen vorliegt, sind diese gleich zu behandeln.

5.6.4 Metallisierung als Störfaktor – Bewertungssystembetreiber

Weiters wurden die Bewerter zu einer Stellungnahme zur Metallisierung als Störfaktor im Vergleich zu einer vollflächigen Bedruckung befragt.

RecyClass verweist darauf, dass eine geringe metallisierte Schicht unter der festgelegten Grenze von 5µm zum Teil als kompatibel gewertet werden kann. In den nächsten Jahren werden gängige aluminiumbedampfte PE/PET flexible Folien durch neue MDO-PE Folien ersetzt werden, welche eine Bedampfung aufweisen werden. Für Bedruckungen verweist RecyClass darauf, sparsam damit umzugehen.

cyclos-HTP stuft Metallisierungen und Bedruckungen generell als untrennbarer, die Recyclingfähigkeit nicht zusätzlich mindernden Störfaktor ein. Da eine Metallisierung nur als Pigment beim Umschmelzen fungiert, wäre dies ein geringerer Störfaktor als herkömmliche Druckfarben.

ERP verweist ebenfalls darauf, hier keine Unterscheidung vorzunehmen, solange keine EuPIA Komponenten vorhanden sind.

5.6.5 EVOH-Einsatz – Bewertungssystembetreiber

Die Bewerter wurden zu einer Stellungnahme zum Einsatz von EVOH und den Auswirkungen auf die Recyclingfähigkeit befragt.

Die Empfehlung von RecyClass besteht darin, den EVOH Gehalt zu reduzieren und stattdessen auf Maleinsäureanhydrid als Haftvermittler zurückzugreifen. RecyClass gibt an, EVOH bei flexiblen und starren Verpackungen getestet zu haben. Ein Gehalt über 5% beeinflusst hierbei die Qualität des Rezyklats. Viele Effekte konnten vorwiegend an flexiblen und laminierten Schichten festgestellt werden.

Cyclos-HTP verweist auf die Einstufung in Kategorie 2-3.

Reclay verweist darauf, dem Mindeststandard zu folgen, welcher Verbundverpackungen über 5% definiert und Multilayer außer PE/PP Verbunde als nicht recyclingfähig einstuft.

ERP gibt hier an, EVOH nach Art der Verpackung und Auswirkung auf diese abhängig zu machen. Bei PET ist EVOH ein starker Störfaktor und kann zu Unbrauchbarkeit führen.

5.6.6 PPK-Verbund – 80/20 Prozent Einstufung – Bewertungssystembetreiber

Weiters wurden die Bewerter zu der Sammlung von PPK Verbunden nach der 80/20 Prozent Einstufung befragt. Die Frage sollte klären, ob es ihrer Meinung nach absehbar ist, dass gemäß des Vorbildes Deutschlands auf 95/5 Prozent umgestellt werden sollte.

RecyClass kann hier keine Stellungnahme geben, da sie keine PPK Verbunde bewerten.

Cyclos-HTP gibt hierbei an, dass eine 95/5 Regelung für die Zuordnung nach den Tarifkategorien im Rahmen des aktuellen Aktualisierungsvorhabens der Verpackungsverordnung zu erwarten ist.

Reclay kann dies nicht beurteilen, meint allerdings, dass hierfür die PPK Sortierfraktion aus LVP geschaffen werden müsse. Da oft starke Verschmutzungen der PPK vorhanden sind, ist hier eine eindeutige Zuordnung schwierig.

ERP bestätigt, dass diese Regelung mit der neuen Novellierung der VVO vorgesehen ist.

6 Praktische Durchführung von Versuchen im Labormaßstab zur Einschätzung der Problematik unterschiedlicher Klebeetiketten auf Verpackungsmaterialien

Dieser praktische Laborversuch im Labormaßstab wurde zusätzlich durchgeführt, um das Ablöse- und Trennverhalten unterschiedlicher Etiketten auf verschiedenen Verpackungsmaterialien mittels zwei Waschlösungen feststellen zu können. Die Thematik der Klebeetiketten ist ein bislang unzureichend erforschtes Feld, weswegen die praktischen Versuche durchgeführt und analysiert wurden, um einen groben Überblick über die Diversität der Problematik zu erlangen und weiterzugeben.

Die Auswahl der Verpackungen erfolgte auf Basis der Erfahrungswerte des OFIs, um einen möglichst breiten Überblick über häufig im Einsatz befindliche Verpackungen zu erlangen. Hierbei wurde darauf geachtet, wenn möglich den Unterschied zwischen nicht recyclingfähigen und recyclingfähigen Verpackungen herauszuarbeiten (z.B. Proben Nr. 1-2, 4-7, 8-9, 10-11 in Tabelle 7). Bei der Schlauchbeutelverpackung (Proben Nr. 4-8) wurde sowohl eine nicht recyclingfähige Verpackung aus PE mit einer recyclingfähigen aus PP verglichen, als auch ein Vergleich des Ablöse- und Trennverhalten von Papier- und Kunststoffetiketten angestellt. Alle gewählten Verpackungen sind in Tabelle 7 gelistet.

6.1 Versuchsaufbau Klebeetiketten

Tabelle 7: Auflistung der Verpackungsarten

Nummer	Verpackungsart	Spezifikation
1	Kunststoffverbund PA/PE	Unterfolie: 80µm PA / 120µm PE transparent, Oberfolie: 20µm PA/ 70µm PE
2	Kunststoffverbund PPrec.fähig	Verbund aus biaxial orientiertem Polypropylen mit einer coextrudierten Siegelsperrschicht aus EVOH und Polypropylen
3	PE-Folie	PE
4	Schlauchbeutelverpackung PE	OPA 15, PE 40
5	Schlauchbeutelverpackung PE	OPA 15, PE 40
6	Schlauchbeutelverpackung PPrec.fähig	Verbund aus biaxial orientiertem Polypropylen mit einer coextrudierten Siegelschicht aus Polypropylen, EVOH, Polypropylen.
7	Schlauchbeutelverpackung PPrec.fähig	Verbund aus biaxial orientiertem Polypropylen mit einer coextrudierten Siegelschicht aus Polypropylen, EVOH, Polypropylen.
8	Tiefziehschale aus PP	PP transparent
9	Tiefziehschale aus PET	Biaxial orientiertes Polyester, Kaschierkleber, coex. Sperrschicht aus PE/PA/EVOH/PA/PP, Antifogbeschichtung
10	Tiefziehschale aus PET	Mattlack, Biaxial orientiertes Polyester Flexodruck, Kaschierkleber, Siegelsperrschicht aus PE/EVOH/m-Polyethylen
11	Tiefziehschale aus PP	Coextrudierte Tiefziehfolie mit der Struktur Polypropylen/EVOH/Polypropylen

Tabelle 8 zeigt die Spezifikationen der unterschiedlichen Etiketten und Klebstoffe.

Tabelle 8: Spezifikationen der getesteten Etiketten und Klebstoffe

Nummer IR-Versuch	Probennr.	Etikette	Spezifikation	Klebstoff
1	1,2	Kunststoffetikette	Obermaterial: geschäumte, weiße, bi-axial orientierte PP Folie Träger: ein superkalandriertes Glassinepapier – FSC	permanent haftender Allzweckklebstoff auf Kautschukbasis
2	4,6	Papieretikette	k.A.	k.A.
3	5,7	Kunststoffetikette	k.A.	k.A.
4	8,9	Papieretikette	k.A.	k.A.
5	10,11	Kunststoffetikette	Thermal Top PP 70	permanent
6	3	Papieretikette	k.A.	k.A.

6.1.1 IR-Spektroskopie

Die **FTIR-spektroskopischen Analysen** erfolgten unter Berücksichtigung der Angaben in der institutsinternen AA 330.012, wobei ein FTIR-Spektrometer der Type Perkin-Elmer, Modell *Frontier* (OFI-Geräte Nr.: 3290) zum Einsatz gelangte. Die Aufnahmen an Proben erfolgten unter Zuhilfenahme U-ATR-Einheit.

6.2 Praktische Analyse in der derzeit ungelösten Problematik von Etiketten und Klebstoffen

Die erhaltenen Klebeetiketten wurden auf die Verpackungsgebilde ohne Etikette durch eine streichende Bewegung manuell angebracht. Das Verpackungsmuster wurde über Nacht zum Trocknen stehen gelassen.

Vor Versuchsbeginn wurden Fotos von den für den Versuch herangezogenen Verpackungen gemacht (siehe Abbildung 4 - Abbildung 8). Die Etiketten sind teilweise auf den Fotos nicht zu erkennen, da die Verpackungsmuster anonymisiert wurden.



Abbildung 4: Proben Nr 1-3



Abbildung 5: Proben Nr. 4-5



Abbildung 6: Proben Nr. 6-7

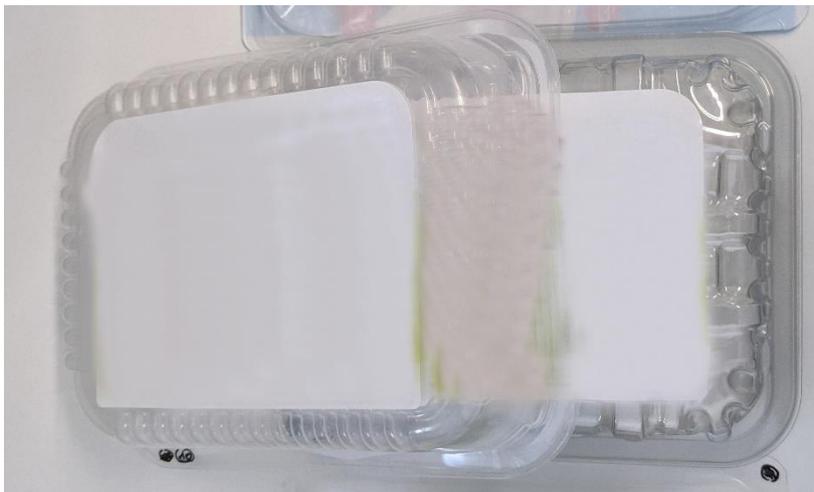


Abbildung 7: Proben Nr. 8-9



Abbildung 8: Proben Nr. 10-11

Vor Versuchsbeginn wurden zwei Waschlösungen (WS) hergestellt. Für die Waschlösung 1 (0,5% wässrige NaOH) wurden 0,5 g Natronlaugeplättchen in 1 l RO-Wasser gelöst. Die hergestellte Lauge wurde in einer Flasche mit Schraubverschluss überführt und beschriftet.

Für Waschlösung 2 (0,5% wässrige NaOH Lösung mit 0,3% Triton) wurden 0,5g Natronlaugeplättchen in 500mL RO Wasser gelöst. Zusätzlich wurden 2,8 mL Triton X zugesetzt, mit RO-Wasser auf 1 l aufgefüllt und gemischt.

Die jeweilige Verpackung mit Klebeetikettenfläche wurde zuerst mittels Schere in 10 – 12 mm² große Flakes geschnitten. Als Referenz wurden Flakes der unbeklebten Fläche des Produkts ebenfalls in dieselbe Größe geschnitten. Kontroll-Flakes wurden verwendet, um mögliche Waschwasserverfärbungen aufgrund des Verpackungsmaterials oder des enthaltenen Produkts sichtbar zu machen. Anschließend wurden die Proben und Referenzflakes getrennt voneinander abgezählt und gewogen.

Pro Probe wurden die entsprechenden Flakes in einem Verhältnis von 1:24 (1 g Flakes zu 24 ml WS) zur Waschlösung im Becherglas vorbereitet und der Magnetrührer hinzugesetzt. Das Gemisch wurde auf einer Magnetrührplatte auf 90°C erhitzt. Nach dem Erreichen der gewünschten Temperatur wurde für 10 Minuten gewaschen. Danach wurde das Becherglas von der Hitzequelle entfernt und für 5 Minuten zum Abkühlen bei Raumtemperatur stehen gelassen.

Anschließend wurden etwaige Schwebepartikel mit einem Sieb aus dem Waschwasser entfernt. Das Waschwasser wurde aufgefangen und separat gesammelt.

Die Flakes wurden mit einem Sieb unter dem Wasserhahn für 1 Minute bei manuellem Rühren mit Leitungswasser gespült. Danach wurden die Flakes aus dem Sieb entfernt und zum Trocknen aufgelegt.

Eine repräsentative Stichprobe des Spülwassers wurde separat für spätere Analysen und Beobachtungen gesammelt, um das Vorhandensein von Schwebeteilchen oder Fasern im Wasser, sowie Wasserverfärbungen feststellen zu können und es mit dem Spülwasser der

Kontroll-Flakes zu vergleichen. Die Flakes wurden bei Raumtemperatur über Nacht getrocknet.

6.3 IR Spektroskopie

Die FTIR-spektroskopischen Analysen erfolgten unter Berücksichtigung der Angaben in der institutsinternen AA 330.012, wobei ein FTIR-Spektrometer der Type Perkin-Elmer, Modell Frontier (OFI-Geräte Nr.: 3290) zum Einsatz gelangte. Die Aufnahmen an Proben erfolgten unter Zuhilfenahme U-ATR-Einheit.

Die herangezogenen Probenmuster/Verpackungen wurden sowohl auf der bedruckten Seite als auch auf der Seite mit Klebstoff untersucht.

6.4 Praktischer Versuch zur Ermittlung des Einflusses von Klebeetiketten und Klebstoffen auf die Recyclingfähigkeit

Tabelle 9 zeigt die Flakes der zwei Kunststoffverbundverpackungen vor der Messung im Vergleich zu den gewaschenen Flakes in der jeweiligen Waschlösung. Es ist gut erkennbar, dass es zu keiner guten Ablösung der Klebeetiketten in beiden getesteten Waschlösungen kam. Bei Waschlösung 2 ist bei beiden Verpackungen zu einem geringen Anteil eine vollständige Ablösung der Klebeetiketten im Vergleich zu Waschlösung 1 erkennbar. Eine unvollständige Ablösung konnte allerdings bei beiden Lösungen vergleichbar oft wahrgenommen werden.

Tabelle 9: Dokumentation der Proben einer Kunststoffverbundverpackung vor und nach dem Waschprozess mit Waschlösung 1 (0,5% NaOH, wässrig) und Waschlösung 2 (0,5% NaOH, wässrig mit 0,3% Triton X-100)

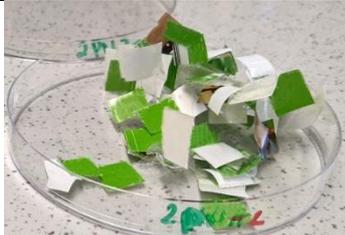
Proben	Vor Waschprozess	Waschlösung	Nach Waschprozess
Kunststoffverbund PA/PE		WS1	
		WS2	
Kunststoffverbund PPrez.fähig		WS1	
		WS2	

Tabelle 10 zeigt die Ergebnisse der Folienverpackungen. Hier konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den unterschiedlichen Waschlösungsansätzen wahrgenommen werden. Eine Ablösung und Trennung der Etikette wurden nicht signifikant festgestellt.

Tabelle 10: Dokumentation der Proben einer Folienverpackung vor und nach dem Waschprozess mit Waschlösung 1 (0,5% NaOH, wässrig) und Waschlösung 2 (0,5% NaOH, wässrig mit 0,3% Triton X-100)

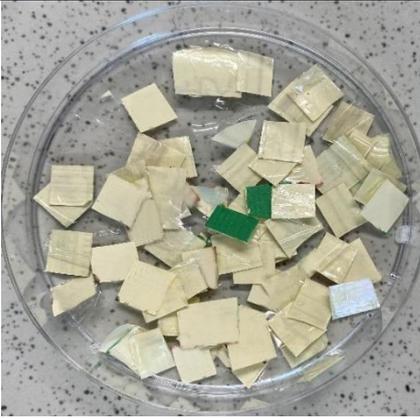
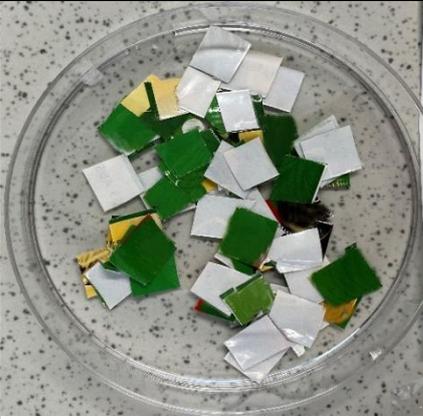
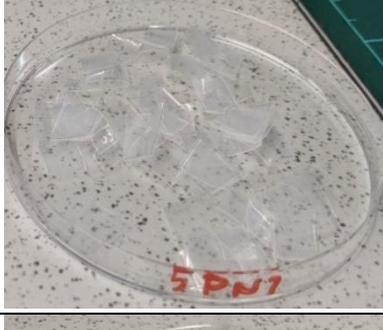
Proben	Vor Waschprozess	Waschlösung	Nach Waschprozess
Folienverpackung PE		WS1	
		WS2	

Tabelle 11 stellt die Versuche der Schlauchbeutelverpackungen für eine handelsübliche PE Verpackung und eine recyclingfähige PP Verpackung mit je einer Papier- und je einer Kunststoffetikette dar. Die Kunststoffetiketten der Schlauchbeutelverpackungen weisen bei beiden Verpackungsmaterialien eine geringere Bedruckung nach ihrer Behandlung im Vergleich zu den Papieretiketten auf. Ebenfalls können keine Kleberückstände festgestellt werden, die Flakes sind deutlich trennbar und agglomerieren nicht. Bei näherer Untersuchung fällt auf, dass die Klebeetikette weiterhin auf der Oberfläche der Folie haftet. Während des Versuchsvorgangs fällt auf, dass die stückige Ablösung der Druckfarbe der Kunststoffetiketten durch ihr unterschiedliches Sinkverhalten zu den Schlauchbeutelmaterialien sich gut von der Verpackung nach der Waschung trennen lassen, da die Druckfarbe absinkt. Eine vollständige Ablösung und Trennung der Kunststoffetiketten kann bei beiden Schlauchbeutelverpackungsmaterialien in beiden Waschlösungen nicht festgestellt werden. In Waschlösung 1 ist die Ablösung der Druckfarbe im Vergleich zu Waschlösung 2 schlechter.

Eine gute Abtrennung der Papieretiketten ist nicht ersichtlich. Es kann in den meisten Fällen ein Ablöseverhalten der Papieretiketten festgestellt werden. Durch Kleberückstände kommt es allerdings in den meisten Fällen zu einer unvollständigen Trennung und Agglomeration der Flakes durch den Klebstoff.

Tabelle 11: Dokumentation von Proben einer Schlauchbeutelverpackung vor und nach dem Waschprozess mit Waschlösung 1 (0,5% NaOH, wässrig) und Waschlösung 2 (0,5% NaOH, wässrig mit 0,3% Triton X-100)

Proben	Vor Waschprozess	Waschlösung	Nach Waschprozess
Schlauchbeutel -verpackung Papier		WS1	
		WS2	
Schlauchbeutel -verpackung Kunststoff		WS1	
		WS2	
Schlauchbeutel -verpackung PPrec.fähig Papier		WS1	

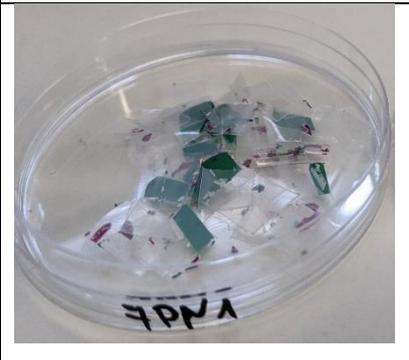
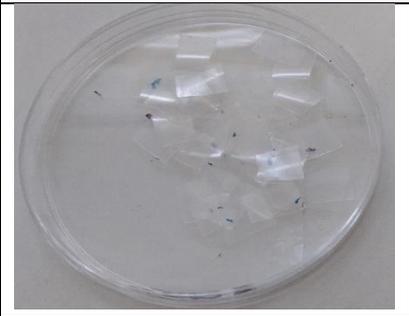
		WS2	
<p>Schlauchbeutel -verpackung PPrec.fähig Kunststoff</p>		WS1	
		WS2	

Tabelle 12 zeigt die Ergebnisse der PP Verpackungen. Die Verpackung weist in Waschlösung 2 ein starkes Agglomerationsverhalten auf. Eine vollständige Ablösung der Papieretikette kann hier nicht festgestellt werden. In Waschlösung 1 ist ein vergleichbar ausgeprägtes Agglomerieren der Flakes nicht feststellbar. Die einzelnen Flakes sind allerdings bei der haptischen Beurteilung stark klebrig.

Die zweite Verpackung aus PET weist im Vergleich zu den Waschlösungen ein ähnliches Ablöse- und Trennverhalten auf. In beiden Fällen führt der Klebstoff zu einer Agglomeration der einzelnen Flakes, die Ablösung der Papieretiketten kann bei der zweiten Waschlösung vermehrt festgestellt werden, trotzdem kommt es aufgrund des Klebstoffs zu einer Verklebung der Flakes mit den abgelösten Etiketten.

Tabelle 12: Dokumentation von Proben einer Schalenverpackung vor und nach dem Waschprozess mit Waschlösung 1 (0,5% NaOH, wässrig) und Waschlösung 2 (0,5% NaOH, wässrig mit 0,3% Triton X-100)

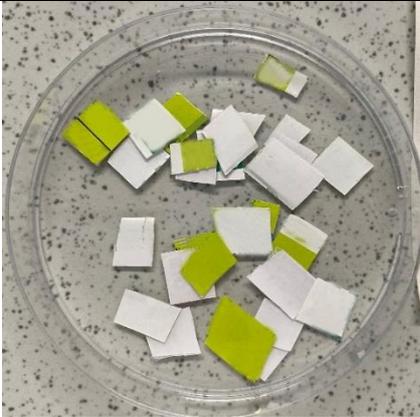
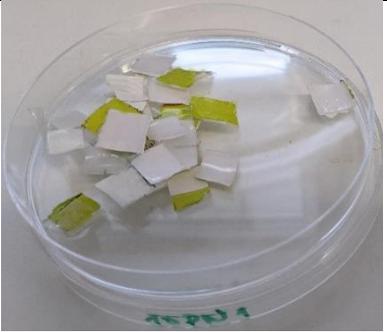
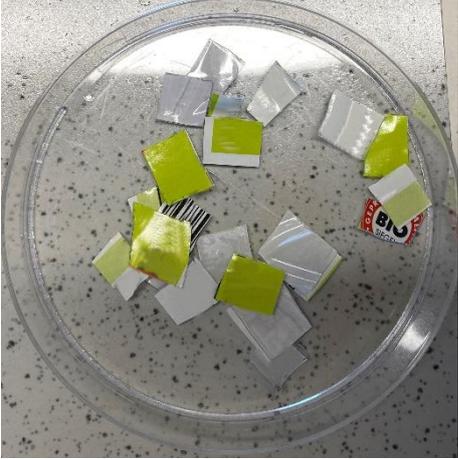
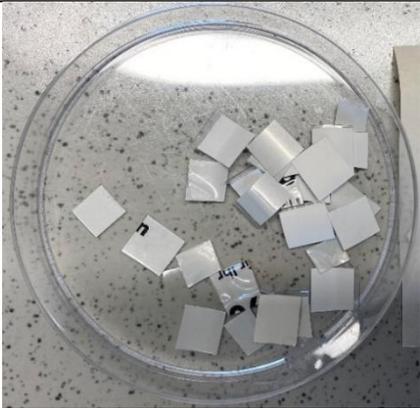
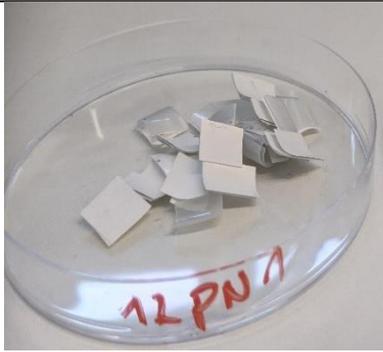
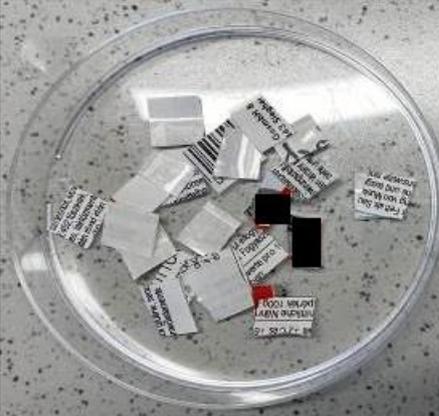
Proben	Vor Waschprozess	Waschlösung	Nach Waschprozess
Schalenverpackung PP		WS1	
		WS2	
Schalenverpackung PET		WS1	
		WS2	

Tabelle 13 zeigt die Ergebnisse der recyclingfähigen PET und PP Schalenverpackungen. Die PET Verpackung weist in beiden Waschlösungen ein ähnliches Bild auf. In beiden Lösungen kommt es zu keiner vollständigen Ablösung der Etiketten. Die einzelnen Flakes sind leicht klebrig. Das Verpackungsmaterial aus PP zeigt eine vollständige Agglomeration der Flakes durch Klebstoffreste. Ein Ablöseverhalten der Kunststoffetikette ist beobachtbar, die Bedruckung ist zum Teil weiterhin auf den Flakes erkennbar. Eine vollständige Ablösung ist aufgrund der vermehrten Rückstände des Klebstoffs nicht beobachtbar.

Tabelle 13: Dokumentation der Proben einer Verpackung vor und nach dem Waschprozess mit Waschlösung 1 (0,5% NaOH, wässrig) und Waschlösung 2 (0,5% NaOH, wässrig mit 0,3% Triton X-100)

Proben	Vor Waschprozess	Waschlösung	Nach Waschprozess
Recycling-schale PET		WS1	
		WS2	
Recycling-schale PPre.c.fähig		WS1	
		WS2	

Die Kontrollproben aller Verpackungsmaterialien unterscheiden sich in ihrer optischen Beurteilung nicht signifikant von den getesteten Probenflakes.

Tabelle 14: Haptische Prüfung der Flakes auf Rückstände des restlichen Etikettenklebstoffs

Verpackungsname	Lösemittel	nicht klebrig	leicht klebrig	klebrig
Kunststoffverbund PA/PE Kunststoffetikette	NaOH		x	
	Triton		x	
Kunststoffverbund PPrec.fähig Kunststoffetikette	NaOH		x	
	Triton		x	
Folienverpackung PE Papieretikette	NaOH	x		
	Triton	x		
Schlauchbeutelverpackung Papieretiketten	NaOH			x
	Triton			x
Schlauchbeutelverpackung Kunststoffetikette	NaOH	x		
	Triton	x		
Schlauchbeutelverpackung PPrec.fähig Papieretikette	NaOH			x
	Triton			x
Schlauchbeutelverpackung PPrec.fähig Kunststoffetikette	NaOH	x		
	Triton	x		
Schalenverpackung PP Papieretikette	NaOH			x
	Triton			x
Schalenverpackung PET Papieretikette	NaOH			x
	Triton			x
Recyclingschale PET Kunststoffetikette	NaOH		x	
	Triton		x	
Recyclingschale PPrec.fähig Kunststoffetikette	NaOH			x
	Triton			x

Tabelle 14 fasst die haptische Beurteilung der einzelnen Proben zusammen. Es ist gut ersichtlich, dass kein auffälliger Unterschied durch die Waschung mittels der zwei verschiedenen Waschlösungen vorhanden ist. Weiters ist hervorzuheben, dass die Folienverpackung und die Schlauchbeutelverpackungen mit Kunststoffetiketten keine Rückstände auf Klebstoffen aufgrund der fehlenden Ablösung des Etiketts von der Verpackung ertasten ließ. Eine Klebrigkeit der Kontrollflakes konnte bei keinem getesteten Verpackungsmaterial ertastet werden.

Tabelle 15 zeigt die Ergebnisse der optischen Beurteilung des Waschwassers der jeweiligen Proben. Es wurden keine auffälligen Verfärbungen bezüglich der Kontrollflakes festgestellt und diese als Referenz zur jeweiligen Probe herangezogen.

Tabelle 15: Optische Beurteilung des Waschwassers

Name Verpackung	Löse- mittel	optische Wahrnehmung				
		keine	schwach	deut- lich	stark	Schweb- stoffe
Kunststoffverbund PA/PE	NaOH		x			
	Triton		x			x
Kunststoffverbund PPrec.fähig	NaOH		x			wenig
	Triton			gelblich		
Folienverpackung PE	NaOH				x	wenig
	Triton				gelblich	fein
Schlauchbeutelverpackung Papieretiketten	NaOH			x		viel
	Triton		trüb			viel
Schlauchbeutelverpackung Kunststoffetiketten	NaOH	x				x
	Triton		trüb			viel
Schlauchbeutelverpackung PPrec.fähig Papieretiketten	NaOH			x		x
	Triton				x	
Schlauchbeutelverpackung PPrec.fähig Kunststoffetiketten	NaOH		x			wenig
	Triton	x				Etiketten aufgefangen
Schalenverpackung PP	NaOH	x				
	Triton				x	trüb
Schalenverpackung PET	NaOH			x		
	Triton				x	x
Recyclingschale PET	NaOH			x		x
	Triton			x		x
Recyclingschale PPrec.fähig	NaOH			x		Etiketten aufgefangen
	Triton				x	x

Die Trennbarkeit der Bedruckung der Kunststoffetiketten von der Verpackungsfolie kann bei der Schlauchbeutelverpackung durch das Auffangen der Bedruckung gut beobachtet werden (siehe Abbildung 9).



Abbildung 9: Waschwasser der Schlauchbeutelverpackung PPrec.fähig Kunststoffetiketten im Vergleich zur Kontrollprobe. Links: Probe(links) und Kontrolle (rechts) von Waschlösung 1; Rechts: Probe (links) und Kontrolle (rechts) Waschlösung 2

Tabelle 16 zeigt die Ergebnisse der optischen Prüfung des Spülwassers der Flakes. Hierbei fällt auf, dass bei den meisten Proben entweder keine oder eine faserbasierte Verunreinigung durch das Spülen gelöst werden konnte. Im Vergleich zu den Kontrollflakes konnten keine Auffälligkeiten festgestellt werden.

Tabelle 16: Optische Beurteilung des Spülwassers

Name Verpackung	Lösemittel	optische Wahrnehmung				
		keine	schwach	deutlich	stark	Partikel
Kunststoffverbund PA/PE	NaOH	x				
	Triton	x				
Kunststoffverbund PPrec.fähig	NaOH		x			
	Triton	x				
Folienverpackung PE	NaOH	x				
	Triton	x				
Schlauchbeutelverpackung Papieretiketten	NaOH	x				viel
	Triton	x				
Schlauchbeutelverpackung Kunststoffetiketten	NaOH	x				wenig
	Triton	x				wenig
Schlauchbeutelverpackung PPrec.fähig Papieretiketten	NaOH		x			x
	Triton	x				
Schlauchbeutelverpackung PPrec.fähig Kunststoffetiketten	NaOH	x				
	Triton	x				viel
Schalenverpackung PP	NaOH	x				
	Triton	x				x
Schalenverpackung PET	NaOH	x				x
	Triton	x				
Recyclingschale PET	NaOH	x				x
	Triton	x				x
Recyclingschale PPrec.fähig	NaOH	x				
	Triton		x			x

6.4.1 IR-Spektroskopie

Das Ergebnis ist in Tabelle 17 zusammengefasst.

Für die meisten gemessenen Spektren konnte keine gute Übereinstimmung mit Spektren aus Datenbanken erzielt werden. Deswegen wurde anhand von Positionen der charakteristischen Absorption versucht, eine Polymerbasis zu ermitteln.

Klebstoffe der Proben 3 und 6 (Schlauchbeutelverpackung und PE-Folienverpackung) stimmen hierbei mit Spektren für charakteristischen Acrylate überein. Die Klebstoffe der Proben 1, 2, 4 und 5 stimmen mit Spektren von Absorptionen der Polybutadien- (967 cm^{-1}), Polystyrol- (699, 757 cm^{-1}) und Acrylat-Anteilen (~1732, 1237, 1171 cm^{-1}) überein. Es könnte sich um Blockcopolymeren auf Basis von Polybutadien-Polystyrol-Acrylat handeln. Klebstoffe 2 und 4 sind mit Kalk (Calciumcarbonat; Absorptionen bei 874 und 712 cm^{-1}) gefüllt.

Die Außenseite der Probe 1 (gemessen im weißen und grünen Bereich) ist mit IR-Spektren, die charakteristisch für Acrylate sind, vergleichbar.

Die Außenseite der Probe 2 zeigt IR-Spektren, die charakteristisch für styrolisierte Acrylate sind. Zusätzlich ist ein sehr niedriger Anteil an Styrol-Komponenten (Absorptionen bei 699 und 754 cm^{-1}) denkbar.

Die Außenseite der Probe 3 (gemessen in weißen, transparenten, lila und in grünen Bereich) zeigt IR-Spektren, die charakteristisch für Copolymeren aus Acrylsäure und Polyethylen sind. Lila, weiß und grün sind vermutlich mit Titandioxid gefüllt, was an einem Absinken der Basislinie ab 700 cm^{-1} festgestellt wurde. Bei den grünen und lila Farben sieht man zusätzliche Absorptionen. Es könnte sich um Druckfarbe handeln.

Die Außenseite der Probe 4 (gemessen im weißen, roten bzw. in grünen Bereich) zeigt IR-Spektren, die vergleichbar und charakteristisch für Acrylate sind.

Die Außenseite der Probe 5 (gemessen im weißen und im roten Bereich bzw. in Bereich mit schwarzen Buchstaben) zeigen IR-Spektren, die auf Acrylate deuten und in niedriger Intensität Polyurethane (Absorption bei 1538 cm^{-1}) mit Silikaten aufgefüllt sein könnten. Dabei sind im weißen Bereich mehr Absorptionen von Füllstoffen (Bereich 3619 bis 3369 cm^{-1}) zu sehen und im verfärbten Bereich (rote und schwarze Buchstaben) mehr Acrylate (~1726 cm^{-1}).

Die Außenseite der Probe 6 (gemessen im weißen Bereich) zeigt die IR-Spektren, die charakteristisch für Cellulose (Papier) und Talkum (Magnesiumsilikat) sind.

Tabelle 17: Auswertung der IR-Spektren

Probe nr.- Versuch	Name der beklebten Verpackung	Bedruckte Farbe untersucht	Vergleich charakteristische Vergleichsspektrum gefunden	Klebstoff charakteristische Vergleichsspektrum gefunden
1	Kunststoffverbund PA/PE/ Kunststoffverbund PPrec.fähig	Weiß und grün	Charakteristisch für Acrylate	Absorptionen der Polybutadien- (967 cm ⁻¹), Polystyrol- (699, 757 cm ⁻¹) und Acrylat-Anteile (~1732, 1237, 1171 cm ⁻¹)
2	Schlauchbeutelverpackung Papieretiketten/ Schlauchbeutelverpackung PPrec.fähig Papieretiketten	styrolisierte Acrylate mit sehr niedrigen Anteilen an Styrol-Komponenten	Styrolisierte Acrylate, niedriger Anteil an Styrol-Komponenten (Absorptionen bei 699 und 754 cm ⁻¹).	Absorptionen der Polybutadien- (967 cm ⁻¹), Polystyrol- (699, 757 cm ⁻¹) und Acrylat-Anteile (~1732, 1237, 1171 cm ⁻¹) mit Kalkanteilen (Calciumcarbonat; Absorptionen bei 874 und 712 cm ⁻¹)
3	Schlauchbeutelverpackung Kunststoffetiketten/ Schlauchbeutelverpackung PPrec.fähig Kunststoffetiketten	weißen, transparenten, lila und im grünen Bereich	Copolymere aus Acrylsäure und Polyethylen; lila, weiß und grün enthalten vermutlich TiO ₂ , zusätzlich Druckfarbe bei grün und lila	Acrylate
4	Schalenverpackung PP/ Schalenverpackung PET	weißen, roten bzw. im grünen Bereich	charakteristisch für Acrylate	Absorptionen der Polybutadien- (967 cm ⁻¹), Polystyrol- (699, 757 cm ⁻¹) und Acrylat-Anteile (~1732, 1237, 1171 cm ⁻¹) mit Kalkanteilen (Calciumcarbonat; Absorptionen bei 874 und 712 cm ⁻¹)
5	Recyclingschale PET/ Recyclingschale PPrec.fähig	weißen und im roten Bereich bzw. in Bereich mit schwarzen Buchstaben	Acrylate und in niedriger Intensität Polyurethane (Absorption bei 1538 cm ⁻¹), gefüllt mit Silikaten	Absorptionen der Polybutadien- (967 cm ⁻¹), Polystyrol- (699, 757 cm ⁻¹) und Acrylat-Anteile (~1732, 1237, 1171 cm ⁻¹)
6	Folienverpackung PE-Folie	weiß	charakteristisch für Cellulose (Papier) und Talkum (Magnesiumsilikat)	Acrylate

7 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

In der Zusammenfassung und Diskussion wird auf die zentralen Ziele und zugehörigen Resultate der Studie eingegangen. Hierbei muss abermals erwähnt werden, dass aufgrund fehlender und nicht zur Verfügung stehender Literatur und nicht ausreichender Rückmeldung seitens der Bewerter nur 3 Bewertungssysteme detailliert betrachtet werden konnten. Das Ziel der Studie, einen Vergleich der Bewertungssysteme für die Eignung der Recyclingfähigkeitsbewertung für Verpackungsmaterialien in Österreich durchzuführen, konnte für die Bewertungssysteme Recycability Rate Assessment (RecyClass), Institut cyclos-HTP und Packaging Sustainability Tool (Circular Analytics TK GmbH) in Form von Fallbeispielen realisiert werden. Zusätzlich wurde der deutsche Mindeststandard für die Bemessung der Recyclingfähigkeit von systembeteiligungspflichtigen Verpackungen gemäß § 21 Abs. 3 VerpackG, den mehrere Bewertungssysteme (cyclos-HTP, Reclay) in unterschiedlichen Ausmaßen als Basis heranziehen, als Vergleich angeführt. Die Bewertungssysteme circulate°expert & circulate°easy (Reclay Systems GmbH) und Pack2Recycle (European Recycling Platform Austria GmbH) wurden auf Basis des Fragebogens und der öffentlich zugänglichen Literatur einbezogen. Das Bewertungssystem Made for Recycling und Check for Recycling (Interseroh Austria) konnte nur sehr oberflächlich behandelt werden, da trotz mehrmaliger Anfrage keine Rückmeldung und Beantwortung des Fragebogens erfolgte.

Dieses Kapitel gliedert sich zuerst in eine Zusammenfassung der Schwerpunktsetzung der Bewertungssysteme und einen Vergleich der 3 Bewertungssysteme auf Basis der 5 Fallbeispiele. Danach wird resümierend auf die Inbezugnahme der Störfaktoren durch die Bewertungssysteme der Recyclingfähigkeit eingegangen. Es wird bei ausreichend erlangten Wissensstand darauf eingegangen, inwieweit die nationalen Sortier- und Verwertungsstrukturen in die Bewertungssysteme integriert worden sind. Hierbei ist zu erwähnen, dass aufgrund der nicht vorhandenen bzw. unzulänglichen Erläuterung in der Literatur und in öffentlichen Dokumenten größtenteils nur auf die Auswertung der Befragung zurückgegriffen werden konnte. Die wichtigsten Ergebnisse der Fragebögen der Sortierer und Recycler werden kurz zusammengefasst. Zuletzt werden die wichtigsten Ergebnisse der praktischen Versuche zur Veranschaulichung der Problematik von Klebeetiketten in der Recyclingfähigkeit erläutert.

Die Analyse der Fallbeispiele zeigt die unterschiedliche Herangehensweise der Bewertungssysteme. RecyClass und die Circular Analytics TK GmbH setzen ihren Schwerpunkt in den Vorgaben für das ideale Design for Recycling. Durch die detaillierte Beschreibung der grundsätzlichen Voraussetzungen können einige Verpackungen bei RecyClass gleich durch die Verwendung des Online Tools vom Hersteller selbst beurteilt werden. Durch diese Möglichkeit kann ein sofortiger Ausschluss leicht festgestellt und somit vom Hersteller selbstständig eine Verbesserung vorgenommen werden. Cyclos-HTP orientiert sich in seiner verfügbaren Grundlage an der technischen Recyclingfähigkeit und zeigt hierbei Grenzen der Bewertung anhand der Sortierung auf, welche durch eine hauptsächlich theoretische Bewertung des Designs in den Hintergrund rücken würde. Bezüglich des Design for Recycling orientiert sich cyclos-HTP an dem Mindeststandard § 21 Abs. 3 VerpackG. Für den Kunden kann anhand des vorliegenden Katalogs keine selbstständige Einordnung des Produkts anhand der Spezifikationen durchgeführt werden, wodurch eine Kontaktaufnahme mit dem Anbieter erfolgen muss.

Das Fallbeispiel 1, die PP-Tiefziehschale, kann in dieser theoretischen Studie als gut recyclingfähig und von den 3 Bewertungssystemen sehr ähnlich bewertet und zusammengefasst werden.

Das zweite Fallbeispiel, der PE-Beutel, würde laut der in dieser Studie angestellten theoretischen Betrachtung von den 3 Bewertungssystemen als gering bzw. nicht ausreichend recyclingfähig eingestuft werden. Die großflächige und unlösbare Etikette stellt den Störfaktor, der nur bei RecyClass durch die detaillierte und offengelegte Abstufung klar nachvollziehbar ist. Aufgrund des nicht öffentlich einsichtigen Detaillierungsgrades konnten die exakten Unterschiede zwischen den Bewertungssystemen nicht ermittelt werden.

Im Fallbeispiel 3, der PET-Schale, konnte bei allen drei Bewertern in dieser theoretischen Studie eine geringe Recyclingfähigkeit festgestellt werden. Die Begründung aus der Literatur fällt unterschiedlich aus. Circular Analytics bezieht sich auf die Papieretikette mit Faserverlust, RecyClass auch jedoch wird der unlösbare Klebstoff ebenfalls als starker Störfaktor definiert. Cyclos-HTP bezieht sich auf den unlösbaren Klebstoff.

Das vierte Fallbeispiel, der PPK-Verbund, kann von 2 Bewertungssystemen bewertet werden. RecyClass schließt alle Verpackungen mit einem Mindestgewichtsanteil unter 50% Kunststoff aus der Bewertung aus. Die beiden anderen Bewerter würden, wie in dieser Studie auf theoretischer Basis ermittelt, eine sehr eingeschränkte Recyclingfähigkeit identifizieren. Beide Systeme betrachten die einseitige Kunststoffbeschichtung des PPK-Verbundes als problematisch. Cyclos-HTP bezieht sich zusätzlich auf den unlösbaren Klebstoff als starken Störfaktor. Circular Analytics arbeitet im Bereich der Klebstoffe gerade an neuen Bewertungskriterien.

Im Fallbeispiel 5, dem Kunststoffverbund PP-EVOH-PP, wird in jedem System ersichtlich, dass eine Bewertung von Multilayermaterialien (außer PP/PE-EVOH Mischungen) zu keiner positiven Bewertung führt, erfahrungsgemäß werden sie jedoch weiterhin häufig in der Lebensmittelverpackungsbranche eingesetzt. Der Einsatz von Monomaterialien mit wenig Bedruckungen und Dekorationen wäre hierbei wünschenswert. Zusätzlich kann aus diesem Fallbeispiel resümiert werden, dass die Thematik von Kunststoffetiketten in Verbindung mit unlösbaren Klebstoffen noch nicht geklärt ist.

Tabelle 18: Stand der Technik der drei betrachteten Bewertungssysteme in der theoretischen und technischen Recyclingfähigkeitsbewertung

Stand der Technik*	RecyClass	cyclos-HTP	Circular Analytics
Material	Empfehlung, Analysemöglichkeit vorhanden	Empfehlung, Analysemöglichkeit vorhanden	Empfehlung vorhanden
Zusätze /Additive	Empfehlung, Analysemöglichkeit (NIR) vorhanden	Empfehlung, Analysemöglichkeit (NIR) vorhanden	Empfehlung vorhanden
Barriere	Empfehlung vorhanden, F&E benötigt	Empfehlung vorhanden, F&E benötigt	Empfehlung vorhanden, F&E benötigt
Farbe	Empfehlung vorhanden	Empfehlung vorhanden	Empfehlung vorhanden
Bedruckung	Empfehlung, Analysemöglichkeit (Bleeding Test) vorhanden	Empfehlung, Analysemöglichkeit (Bleeding Test) vorhanden	Empfehlung vorhanden
Codierung (Chargencodierung, MHD)	Empfehlung, Analysemöglichkeit (Washing Quick Test, Bleeding Test) vorhanden	Empfehlung vorhanden, Analysemöglichkeit (Label Separation, Bleeding Test) vorhanden	Empfehlung vorhanden
Verschluss	Empfehlung vorhanden	Empfehlung, Analysemöglichkeit (Compatibility Test) vorhanden	Empfehlung vorhanden
Etikettenmaterial	Empfehlung, Analysemöglichkeit (Washing Quick Test) vorhanden	Empfehlung, Analysemöglichkeit (Label Separation Test) vorhanden	Empfehlung vorhanden, Details in Entwicklung
Etiketten Klebstoff	Empfehlung vorhanden, Details in Entwicklung	Empfehlung, Analysemöglichkeit (Kompatibilitätstest, Adhesive Separation Test) vorhanden	Empfehlung vorhanden, Details in Entwicklung
Klebstofffreie Dekoration (Sleeve, Manschette etc.)	Empfehlung, Analysemöglichkeit (Washing Separation Test, Bleeding Test) vorhanden	Empfehlung, Analysemöglichkeit (Label Separation Test, Bleeding Test) vorhanden	Empfehlung vorhanden
Größenbegrenzung	Empfehlung, Analysemöglichkeit (Sortierbarkeit) vorhanden	Empfehlung, Analysemöglichkeit (Sortierbarkeit) vorhanden	Empfehlung vorhanden

*dieser Vergleich wurde auf Basis der öffentlich verfügbaren Unterlagen erstellt und hat keinen Anspruch auf Vollständigkeit

Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass die ausgewiesenen Vorgaben von Recyclingkriterien in allen Bewertungsgrundlagen, welche in den Fallbeispielen diskutiert wurden, für das Design für Recycling (theoretische Recyclingfähigkeit) ähnlich definiert sind. Wie eine genauere Einstufung in den einzelnen Systemen erfolgt, und Unterschiede in der detaillierten Bewertung auftreten können, ist anhand der vorliegenden öffentlich zugänglichen Informationen nicht zuzuordnen. *Die Bewertungssysteme Reclay, Interseroh und EPR konnten nicht in Tabelle 18 integriert werden, da aufgrund des geschlossenen Systemcharakters keine Bewertungsgrundlagen bekannt gegeben werden. Im Gegensatz zu Interseroh, haben sich Reclay und ERP der Befragung angeschlossen, jedoch konnte auf dieser Basis dennoch keine Detailbewertung vorgenommen werden.*

Ob eine Verpackung eine hohe Recyclingfähigkeit besitzt, sollte vor allem durch praktische/reale Tests festgestellt werden können (siehe Tabelle 18), die den aktuellen Stand der Technik abbilden. Die technische Recyclingfähigkeit wird in dieser Studie durch die theoretische Recyclingfähigkeit (Empfehlung vorhanden) und den jeweiligen Analysemöglichkeiten definiert. Hierbei weist cyclos-HTP mit seinen praxisorientierten Testmethoden der technischen Recyclingfähigkeit einen hohen Stellenwert zu. Auch die online beschriebenen Testmethoden für jeweilige Kunststoffsorten nach RecyClass verbinden die theoretische mit der technischen Recyclingfähigkeit. Die Circular Analytics bezieht sich derzeit auf die Bewertung der theoretischen Recyclingfähigkeit, wobei eine technische Bewertung derzeit nicht vorgesehen ist.

Die Einbeziehung österreichspezifischer Sammlungs-, Sortierungs-, und Verwertungsstrukturen wird deutlich von cyclos-HTP durch seinen Bewertungskatalog abgebildet, da eine umfangreiche Bewertung der unterschiedlichsten Verpackungsarten anhand der Sammlungs- und Sortierstrukturen erläutert werden. Es muss allerdings festgehalten werden, dass aufgrund der Befragungen der anderen Systeme von einer vergleichbaren Adaption österreich-spezifischer Gegebenheiten auszugehen ist.

Aus den Befragungen der Sortierer und Rezyklierer kann resultiert werden, dass eine gemeinsame europäische Bewertungsgrundlage einer österreichischen vorzuziehen wäre. Zwar sollen regionale Sammlungs-, Sortier-, und Verwertungsstrukturen auf nationaler Ebene mitberücksichtigt sein, da die Verarbeitung von Rezyklaten allerdings länderübergreifend stattfindet, wäre ein Trend zu einer einheitlichen Festlegung von Standards, die national übernommen werden können, hier wünschenswert. Die meisten befragten Sortierer und Rezyklierer wünschen sich engere Kooperationen, Kreislauf-gerichtete Entwicklungsarbeiten wie z.B. Entwicklung von Verpackungen (Produktdesign) in Übereinstimmung mit den heutigen und zukünftigen Sortiertechnologien.

Die Versuchsergebnisse der ausgewählten Verpackungen zur Problematik von Klebeetiketten zeigen große Unterschiede im Ablöse- und Trennverhalten auf. Sowohl Papier- als auch Kunststoffetiketten waren unter den hier angewandten Versuchsbedingungen vom jeweiligen Verpackungsmaterial großteils gar nicht oder unvollständig abtrennbar. In dem gewählten Versuchsaufbau wurde auf das Einwirken von Scherkräften zur Abtrennung nicht eingegangen. Ein Einbezug dieser Trennmethode könnte eine bessere Abtrennung begünstigen. Die haptische Überprüfung der Verpackungsmuster zeigt, dass der Einsatz unterschiedlicher Klebstoffe eine erschwerte Trennung bewirkt. Sie zeigt allerdings auch, wie unterschiedlich sich derselbe Klebstoff auf unterschiedliche Kunststoffverpackungen auswirken kann. Weiters ist eine Abtrennung durch die Wahl eines geeigneten Detergens entscheidend, kann aber in den unterschiedlichen Recyclingbetrieben nicht vorausgesetzt werden. Für die weitere Verarbeitung der Kunststoffe stellen durch Klebstoff agglomerierte Verpackungen einen deutlichen Störfaktor dar. Für die eingesetzten Klebstoffe ist der Einsatz von Triton X-100 als Detergens nicht ausreichend gewesen. Die richtige Wahl eines

ausreichend wirksamen Detergens zur Lösung der eingesetzten Klebstoffe ist hierbei ein entscheidender Faktor. Eine Testreihe von Katharina Pavlovic, welche am OFI in Kooperation mit dem FH Campus Wien durchgeführt wurde, zeigt die unterschiedlichen Ablöseverhalten von Klebstoffen auf PET Flaschen durch den Einsatz von zwei verschiedenen Reinigungsdetergenzien und einer Versuchsreihe mit einer wässrigen NaOH-Lösung auf. Die Testreihe verdeutlicht, dass durch den Einsatz eines entsprechenden Detergens Kleberückstände, durch den Rührer bei Raumtemperatur, vollkommen entfernt werden können (Pavlovic, 2020).

Weitere Versuche mittels IR-Spektroskopie haben gezeigt, dass die Klebstoffbasis der Verpackungsproben für die PE-Folienverpackung und die Kunststoffetiketten beider Schlauchbeutelmaterialien auf Acrylate zurückzuführen ist und sich von den restlichen Klebstoffen aller anderen Etiketten unterscheidet. Die Auswertung der haptischen Beurteilung konnte hier ebenfalls einen deutlichen Unterschied dieser drei Verpackungen erkennen lassen, da bei allen drei keine Klebrigkeit feststellbar war. Es kann somit zusammengefasst werden, dass der Klebstoff auf Acrylatbasis hier bei den unterschiedlichen Verpackungsmaterialien eine sehr starke Haftung ausbildet, welche unter den gegebenen Versuchsbedingungen zu keinerlei Ablösung führte. Der Einsatz solcher Klebstoffe könnte ein deutliches Problem für die Recyclingfähigkeit von Kunststoffen darstellen. Alle anderen getesteten Klebstoffe führen hierbei zu teilweisen Ablösungen der Etiketten. Die Beurteilung der einzelnen bedruckten Oberflächen der Etiketten zeigt das häufige Auftreten von Acrylfarben und Pigmenten. Ob es sich bei der Außenseite der Etikette um eine einzige Schicht handelt, kann ohne die Herstellung von Querschliffen (zur Bestimmung des Schichtaufbaus), anschließenden Lichtmikroskopien und ATR-Imaging allerdings nicht beantwortet werden.

In den hier angewandten Versuchsbedingungen des Waschprozesses, auf Basis der Angaben der zugänglichen Bewertungskataloge, konnten keine ausreichenden Ergebnisse reproduziert werden, welche zu einer zufriedenstellenden Ablösung und Trennung aller Etikettierungen führten. Dies stellt somit ein wichtiges Recyclingkriterium in der Bewertung der Recyclingfähigkeit dar.

Die hier dargestellte Problematik ist eine von Bewertungssystemen anerkannte und in Erforschung stehende Thematik. Im Zuge der Interviews wurde bei einigen Systemen die aktuelle Bearbeitung des Themas erklärt. Der Trend zu materialidenten Kunststoffetiketten sowie rückstandlos entfernbaren Klebstoffen könnte hier den Verlust von Wertstoffen deutlich mindern.

8 Schlussfolgerungen

- Kunststoffverbund versus recyclingfähige Monomaterialverpackungen

Eine wichtige Schlussfolgerung aus der vorliegenden Studie ist, dass die relevanten Recyclingkriterien von den Betreibern der 3 detailliert betrachteten Bewertungssystemen ähnlich integriert wurden. Alle Bewertungssysteme beurteilen Monomaterialverpackungen besser als Materialverbunde. In vielen Fällen können Kunststoffverbunde durch recyclingfähige Monomateriallösungen abgelöst werden, die meist sowohl ökologische Vorteile mit sich bringen, als auch die Ziele der Kreislaufwirtschaft forcieren. Es sollte bei jeder Verpackungsumstellung, insbesondere bei Lebensmittelverpackungen, darauf geachtet werden, dass Verlagerungseffekte ausgeschlossen werden, wie z.B. eine resultierende Steigerung des Lebensmittelabfalls. Derartige Entwicklungen wären, aufgrund des weit höheren ökologischen Fußabdrucks des Lebensmittels, nicht zu befürworten.

- Unzulänglich erforschte, erforderliche Mindesthaltbarkeit

Ein interessanter, bisher unzulänglich erforschter Aspekt ist die für den Handel erforderliche und kundenseitig erwünschte Mindesthaltbarkeit. Die Erforschung dieses missing links würde dazu führen, dass Lebensmittelverpackungen auf die praxisrelevante Mindesthaltbarkeit ausgerichtet werden könnten und höchstwahrscheinlich zahlreiche Umgestaltungen, auch in Richtung Recyclingfähigkeit, mit sich führen.

- Haltbarkeitsverlängernde Verpackungen

Das Branchenprojekt „Stop Waste Save Food“ hat gezeigt, dass die haltbarkeitsverlängernden Funktionen von Verpackungen nur selten oder gar nicht von Konsument*innen genutzt werden. Vorrangig bestimmen bestehende Lagergewohnheiten den Umgang mit dem Produkt, unabhängig von der spezifischen Verpackung. Der Zusatznutzen von Verpackungen, z.B. die haltbarkeitsverlängernde Funktion, wird durch das vorzeitige Auspacken der Lebensmittel, nicht in Anspruch genommen. Konsument*innen sollten hinsichtlich der Funktionalität von Verpackungen und der Problematik von Lebensmittelabfällen sensibilisiert bzw. aufgeklärt werden.

- (Hoch-)Barriereverpackungen

Bei Lebensmittelverpackungen, insbesondere flexiblen Folienverpackungen, steht die Verpackungs- und abpackende Industrie derzeit vor der großen Herausforderung, einerseits das Füllgut durch (Hoch-)Barriereverpackungen zu schützen, andererseits recyclingfähige Verpackungen umzusetzen. In diesem Zwiespalt werden derzeit zahlreiche Folien mit EVOH-Beschichtung oder anderen Alternativen ausgestattet. Trotz dieser Anstrengungen ist es nicht bei jeder Verpackungsanwendung möglich, die erforderliche Barrierewirkung mit sehr gut/gut recyclingfähigen Verpackungen zu erreichen, oder die vorhandenen Verpackungslösungen sind nicht wirtschaftlich umsetzbar. Die neuen, als recyclingfähig bewerteten Barriereverpackungen (z.B. EVOH-Barriereverpackungen als Ersatz für nicht recyclingfähige Multilayerfolien), die zu einer Anhebung der Monomaterialströme beitragen könnten, sollten im Kunststoffkreislauf auch real rezyklierbar sein. Dadurch können die Bestrebungen der kreislaufbeteiligten Industrien unterstützt werden.

- Kunststoff kann höhere Recyclingfähigkeit als Papier schaffen

Seit ein paar Jahren ist der Trend hin zu recyclingfähigen, einseitig beschichteten Papieren zu beobachten, die entweder als Monopackstoff mit mindestens 80% Papieranteil in Österreich oder mit mehr als 95% Papieranteil in Deutschland entsprechen. Solche Verpackungen sind mittlerweile verfügbar, reduzieren den Kunststoffanteil und scheinen nachhaltig zu sein. Im

Gegensatz zu recyclingfähigen Kunststoffverpackungen können solche Papiere jedoch mehrheitlich keine höhere Recyclingfähigkeit als im Idealfall 95% erreichen. Es gilt jedoch zu beachten, in welcher Abfallfraktion einseitig beschichtete Papiere tatsächlich entsorgt werden, und ob, bei richtiger Entsorgung, die Trennbarkeit tatsächlich realisiert werden kann. Zusätzlich sollten Ökobilanzen erstellt werden, um die in Frage kommenden Verpackungsalternativen miteinander zu vergleichen.

- Klebeetiketten und Klebstoffe

Die studieninternen Ergebnisse der Thematik Klebeetiketten und Klebstoffe als Recyclingkriterien zeigen, dass die Bestrebungen der Bewertungssystembetreiber, herauszufinden, welche Klebstoffe in Kombination mit welchen Etiketten und Verpackungsmaterialien als recyclingfähig deklariert werden dürfen, gerechtfertigt sind. Die Fallbeispiele haben gezeigt, dass die Etikettierung großen Einfluss auf das Ergebnis der Recyclingfähigkeitsbewertung hat. Um die Kreislaufwirtschaft voranzutreiben, müssen die diesbezüglichen Recyclingkriterien erarbeitet und veröffentlicht werden.

- Ergebnisse einer alternativen Waschlösung im Labormaßstab

Durch den Einsatz eines alternativen Detergens konnte in einer Testreihe von Katharina Pavlovic 2020 am OFI festgestellt werden, dass sich Klebstoffrückstände bereits durch Rühren bei Raumtemperatur rückstandlos entfernen lassen. In dieser Studie wurde die Lösbarkeit verschiedener Klebstoffe durch das gewählte Reinigungsdetergens verifiziert. Es wird angenommen, dass der Einsatz dieses Detergens im industriellen Maßstab, aufgrund des zusätzlichen Kostenaufwands, derzeit nicht erfolgt. Möglicherweise wäre es hilfreich, durch weitere Untersuchungen das Potential solcher Reinigungslösungen näher zu beleuchten.

- Recycling von Polyolefinen im direkten Lebensmittelkontakt

Aus toxikologischen Bedenken ist die EFSA hinsichtlich der Bewertung und einheitlichen Regelung von Polyolefinrezyklaten für den Lebensmittelkontakt sehr zurückhaltend. Auf Basis der derzeitigen rechtlichen Grundlagen ist eine Zulässigkeit von Post-Consumer-Polyolefinrezyklaten praktisch in der EU nicht möglich. Diese Einschränkung basiert auf den hohen Diffusionswerten von Polyolefinen. In einem derzeit laufenden CORNET-Projekt, bei dem das OFI als Kooperationspartner fungiert, hat sich gezeigt, dass DNA-reaktive (im schlimmsten Fall krebserregende) Substanzen in Polyolefinrezyklaten nicht ausgeschlossen werden können. Es gibt Hinweise, dass diese Substanzen möglicherweise auch prozessbedingt eingetragen werden könnten. In einem weiteren Projekt ist geplant, diese Einträge durch eine nähere Ursachenanalyse zu ergründen.

- Von der theoretischen zur realen Recyclingfähigkeit

Die Bewertung der Recyclingfähigkeit hat zu einer Umschwung in der Verpackungsindustrie beigetragen. Die Kunststoff- und abpackende Industrie leitet seit geraumer Zeit viele Entwicklungen und Umstellungen ein, um das Design for Recycling in Verpackungen umzusetzen. Die derzeitige Diskrepanz besteht zwischen der theoretischen, technischen und realen Recyclingfähigkeit, welche sich letztendlich auch in deren Bewertung widerspiegelt. Die ersten drei Bewertungssysteme in Tabelle 19 bewerten derzeit entweder nur die theoretische (Design for Recycling) oder beziehen auch die technische Recyclingfähigkeit (Sortierung und Recycling im Labormaßstab) mit ein. Die Bewertung der realen Recyclingfähigkeit (Sortierung und Recycling im Industriemaßstab) sollte zukünftig auch von den Bewertungssystemen vorgenommen werden können. Die letzten drei Bewertungssysteme in Tabelle 19 weisen einen geschlossenen Systemcharakter auf und auch auf Anfrage wurden keine bzw. unzureichende Informationen zur Verfügung gestellt. Somit wird in Tabelle 19 ein Vergleich der Bewertungskriterien ausschließlich auf Basis einsichtiger und nachvollziehbarer

Information dargestellt, wobei die letzten 3 Bewertungssysteme nur der Kategorie „Bewertung nicht veröffentlicht“ zugeordnet werden konnten.

Tabelle 19: Vergleich der 6 Bewertungssysteme hinsichtlich der öffentlich einsichtigen Bewertungskriterien: Design for Recycling (=theoretische Recyclingfähigkeit), Sortierung und Recycling Labormaßstab (=technische Recyclingfähigkeit) und Sortierung und Recycling Industriemaßstab (=reale Recyclingfähigkeit)

Aktuell und zukünftig erforderliche Bewertungskriterien	RecyClass	cyclos HTP	Circular Analytics	Reclay	ERP	Interseroh
Design for Recycling						
Sortierung Labormaßstab						
Sortierung Industriemaßstab						
Recycling Labormaßstab						
Recycling Industriemaßstab						

	vorhanden und Bewertung veröffentlicht
	Bewertung nicht veröffentlicht
	nicht vorhanden

In den nächsten Jahren bis zur festgelegten Zielerreichung 2025 und 2030 muss es darum gehen, die reale Recyclingfähigkeit umzusetzen. Den kreislaufbeteiligten Branchen ist diese Diskrepanz, wie sich auch in den Interviewreihen bestätigt, bewusst. Der gesamte Kunststoffkreislauf muss hierfür vom Sammler bis zum Recycler innoviert werden. Die Vereinheitlichung der Sammlung der Leichtverpackungsfraction in Österreich ist ein gutes Beispiel für die Anstrengungen, die kreislaufseitig unternommen werden. Diese Vereinheitlichung und die für 2025 derzeit geplante Einführung des Einwegpfands für PET-Flaschen würde die zu verwertende Leichtverpackungsfraction maßgeblich verändern. Wichtig ist, dass sobald wie möglich das nötige Wissen generiert wird, um konkrete, forschungsseitig verifizierte Maßnahmen im gesamten Kunststoffkreislauf umzusetzen. Dadurch könnten Investitionen in verbesserte und neue Technologien umgesetzt werden, welche die geforderte Steigerung der Recyclingquoten realisieren.

- Nationale Standards und unabhängige Instanz

Um die reale Recyclingfähigkeit in Österreich etablieren und evaluieren zu können, bedarf es eines nationalen Standards, der in Abstimmung mit den europäischen Regelwerken festgelegt werden sollte und den gesamten Kunststoffkreislauf umfasst. Die Bewertung der Recyclingfähigkeit sollte zukünftig vereinheitlicht und von unabhängigen Instanzen durchgeführt werden.

- Studie „Facts Matters“

In der derzeit laufenden Studie „Facts Matters – Erhebung des Kunststoffstoffstroms in Österreich 2019“ werden die Mengenströme für Kunststoffe ermittelt. In der Studie werden die Kunststoffe nach Branchen, nach Kunststoffart und Lebensmittelkontakt, nach Kunststoffart und Verarbeitungsverfahren aufgegliedert. Es erfolgt die Bestimmung des Anteils von Rezyklat, dessen Nutzung, sowie die Darstellung der relevanten Abfallströme. Diese Studie wird ein wichtiges, nationales Grundlagendokument für die Etablierung und Weiterentwicklung der Kreislaufwirtschaft darstellen.

- Laufende und geplante F&E-Projekte im mechanischen Recycling von Kunststoffen mit Beteiligung des OFI

PO-Rigid Fraktion

Das derzeit laufende Branchenprojekt „Pack2theLoop“ (Projektkoordination: ecoplus) beschäftigt sich mit dem Post-Consumer Recycling von starren Verpackungen aus Polyolefinen. Das Ziel des Projektes ist die Demonstration von geschlossenen Wertschöpfungskreisläufen für Waschmittelflaschen und Joghurtbecher. Als Ergebnisse sollen qualitätsgesicherte Rezyklate aus Post-Consumer Verpackungen generiert werden.

PO-Flexibles Fraktion

Das in Planung befindliche Projekt „flex4loop“ (Projektkoordination: Business Upper Austria – OÖ Wirtschaftsagentur GmbH) wird den gesamten Wertschöpfungskreislauf der flexiblen Verpackungsfraction aus Polyolefinen optimieren. Ziel des Projektes wird die Entwicklung von qualitätsgesicherten Rezyklaten aus Polyethylen und Polypropylen im Kontext der gesteigerten Leichtverpackungsfraction 2025 sein. Zusätzlich wird das Projekt der Kunststoff- und abpackpackenden Industrie dabei helfen, eine breitflächige und sichergestellte Umstellung von Kunststoffverbunden auf recyclingfähige Monomaterialverpackungen zu realisieren.

PET-Rigid Fraktion

Im derzeit laufenden Branchenprojekt „PETtoPACK“ (Projektkoordination: Packforce Austria) wird die Darstellung und Entwicklung von geschlossenen Recyclingkreisläufen für PET-Rigid Verpackungssysteme angestrebt. In sogenannten closed-loop Systemen sollen sowohl die Verwendung der Verpackungsmaterialien im Lebensmittelkontakt als auch für andere Anwendungen erforscht werden. PET-Flaschen stehen nicht im Fokus des Projektes.

- Weitere offene F&E-Felder

Die Studie hat gezeigt, dass derzeit viele offene und unzulänglich erforschte und entwickelte Themenfelder entlang des gesamten Kunststoffkreislaufes dessen Etablierung verlangsamen bzw. behindern. Folgend sollen nur einige Beispiele im mechanischen Recycling erwähnt werden. Im Design for Recycling bedarf es detaillierterer Ergebnisse zur Bedruckung, Etikettierung, Barrierebeschichtung etc. In der Sortierung sind die geringen Sortiertiefen und deren Anhebungspotentiale zu erforschen. Im Recycling müssen die Kompatibilitäten, beeinflusst durch polymere und nicht polymere Verunreinigungen, erforscht werden. Der Rezyklateinsatz von Polyolefinen im Lebensmittelkontakt muss in den nächsten Jahren geklärt werden.

Zusätzlich sind Forschungs- und Entwicklungsbemühungen in Richtung chemisches Recycling bereits initialisiert. Ein Beispiel stellt die ReOil® Technologie der OMV dar. Im chemischen Recycling werden Post-Consumer-Kunststoffabfälle unter moderatem Druck und normalen Betriebstemperaturen in synthetisches Rohöl umgewandelt. Dieses kann dann für höherwertigere Kunststoffanwendungen verwendet werden, die derzeit im mechanischen Recycling nur vereinzelt realisierbar sind.

9 Anhang

9.1 IR-Spektren der Klebstoffe der Etiketten

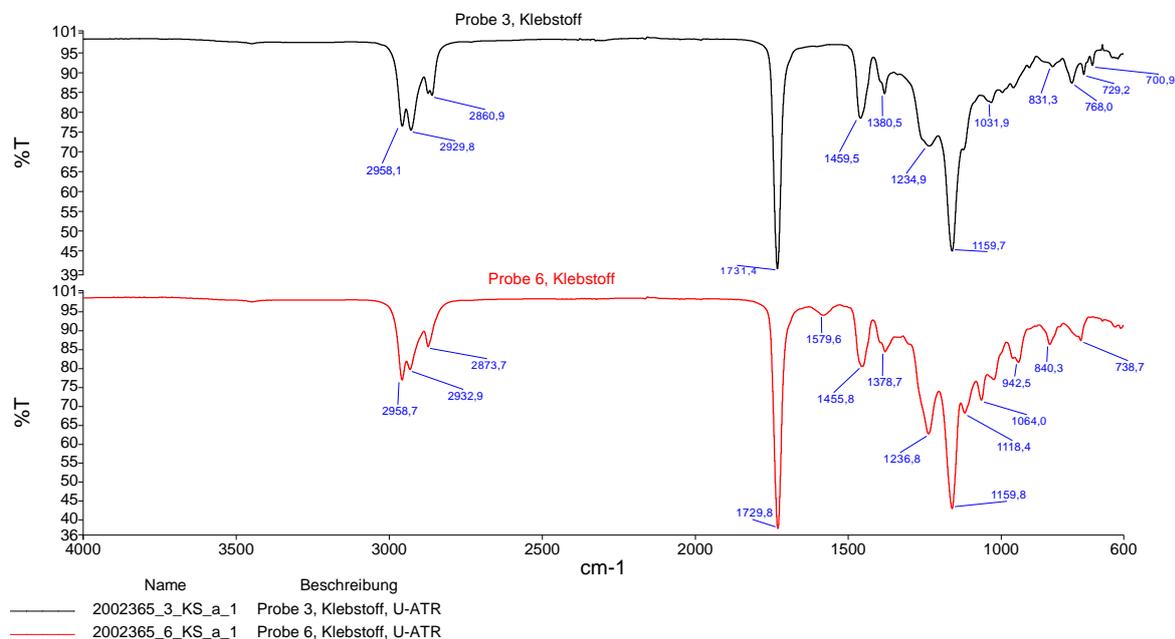


Abbildung 10: IR-Spektren des Klebstoffs der Proben 3 und 6

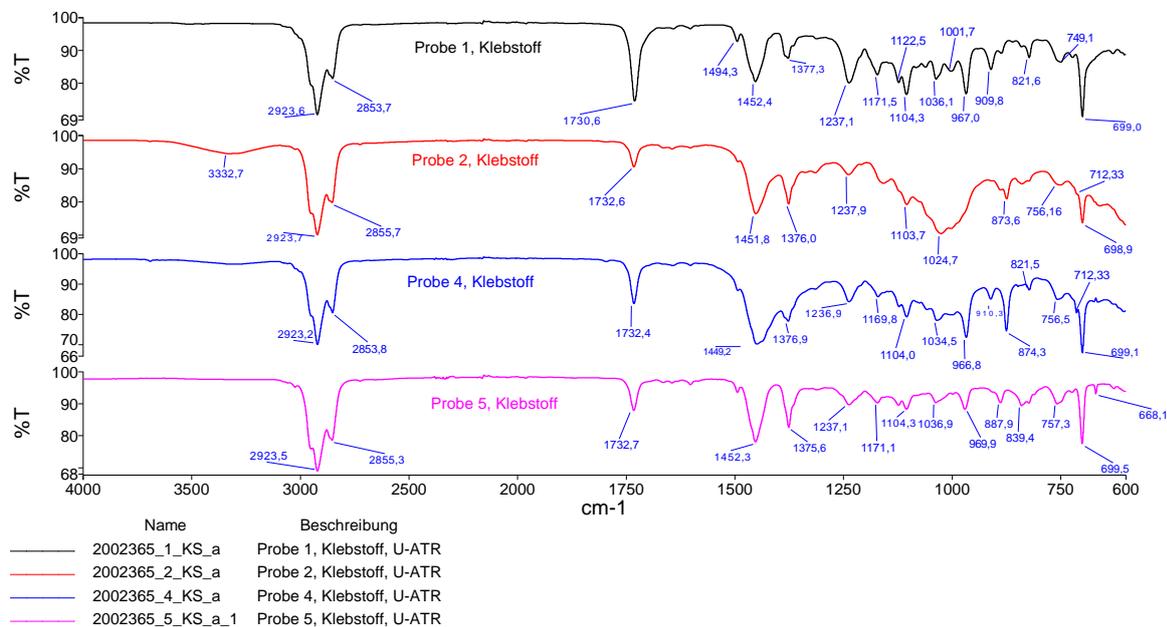


Abbildung 11: IR-Spektren des Klebstoffs der Proben 1, 2, 4 und 5

9.2 IR-Spektrum der Etikettenußenseite

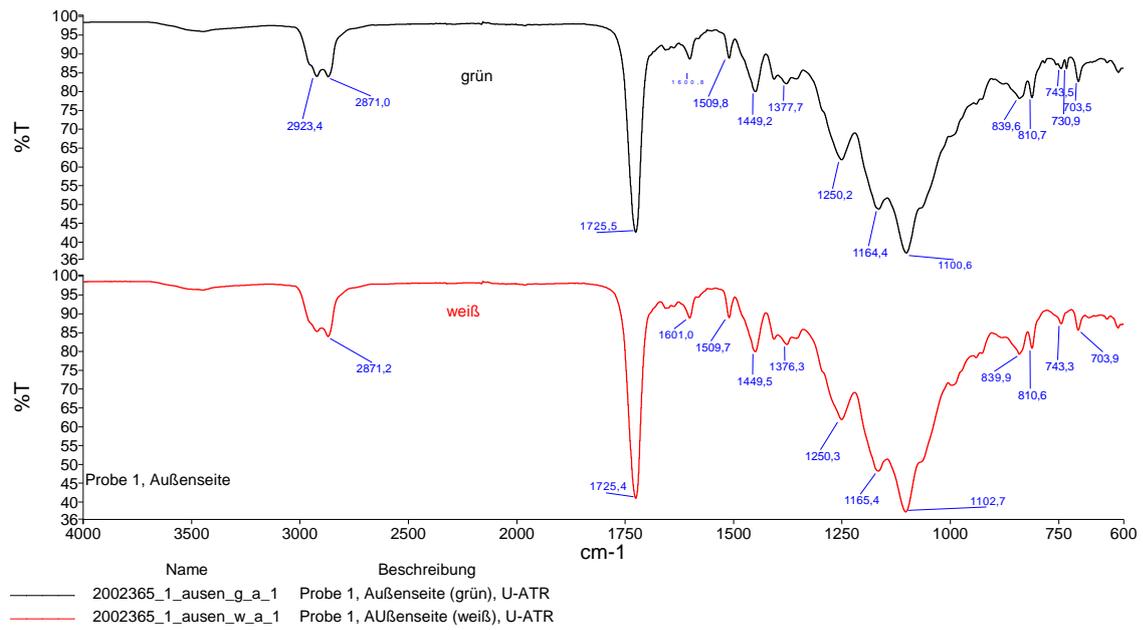


Abbildung 12: IR Spektrum der Außenseite der Probe 1

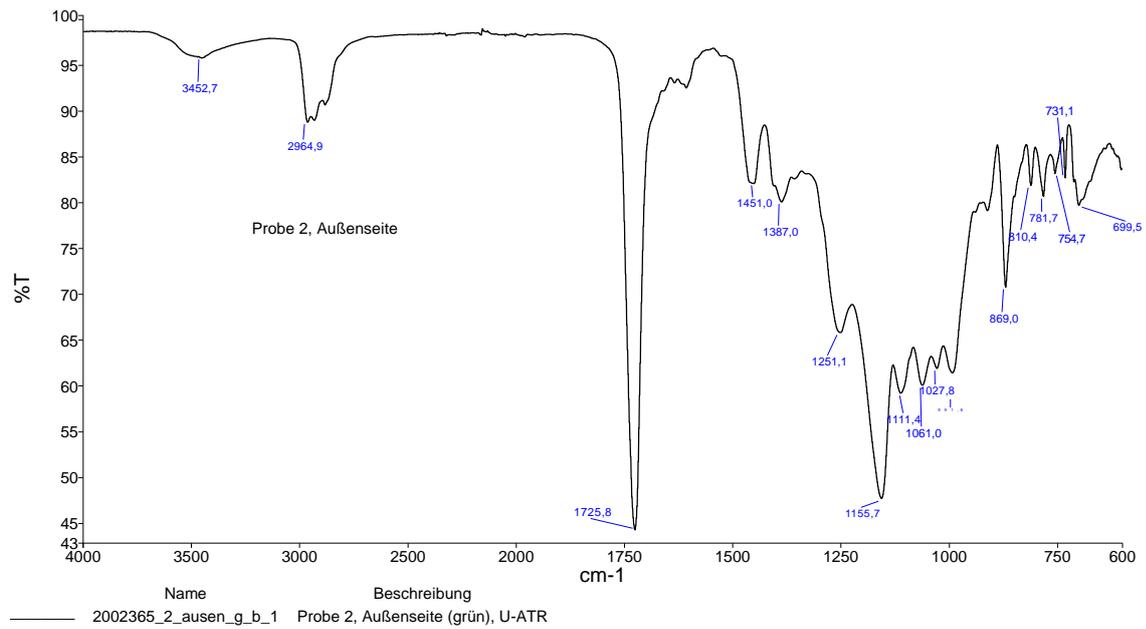


Abbildung 13: IR Spektrum der Außenseite der Probe 2

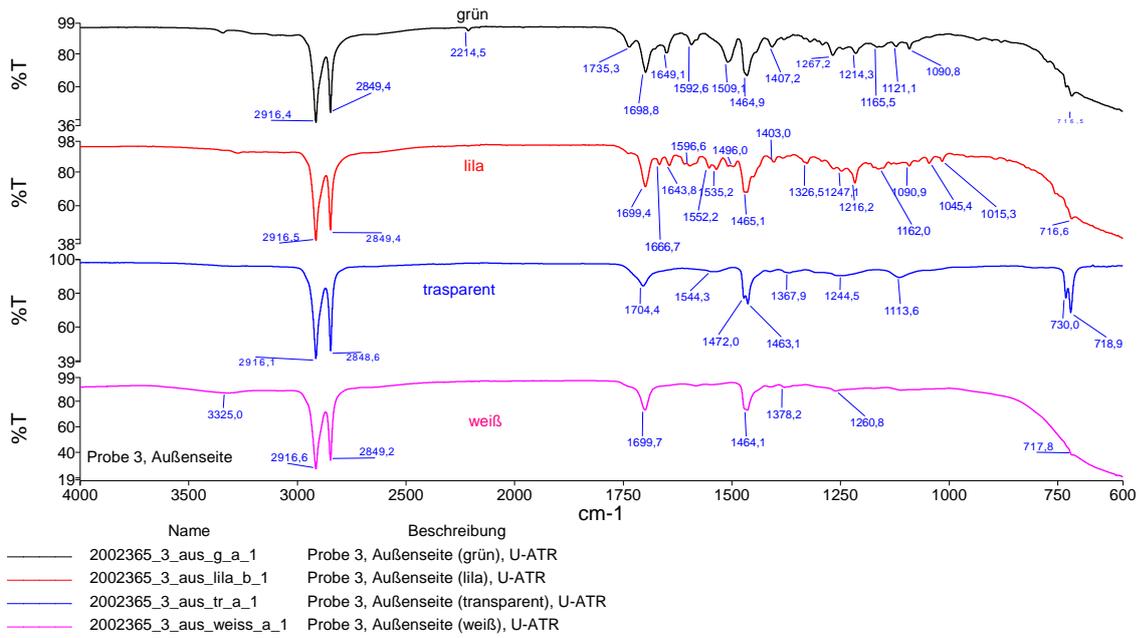


Abbildung 14: IR Spektrum der Außenseite der Probe 3

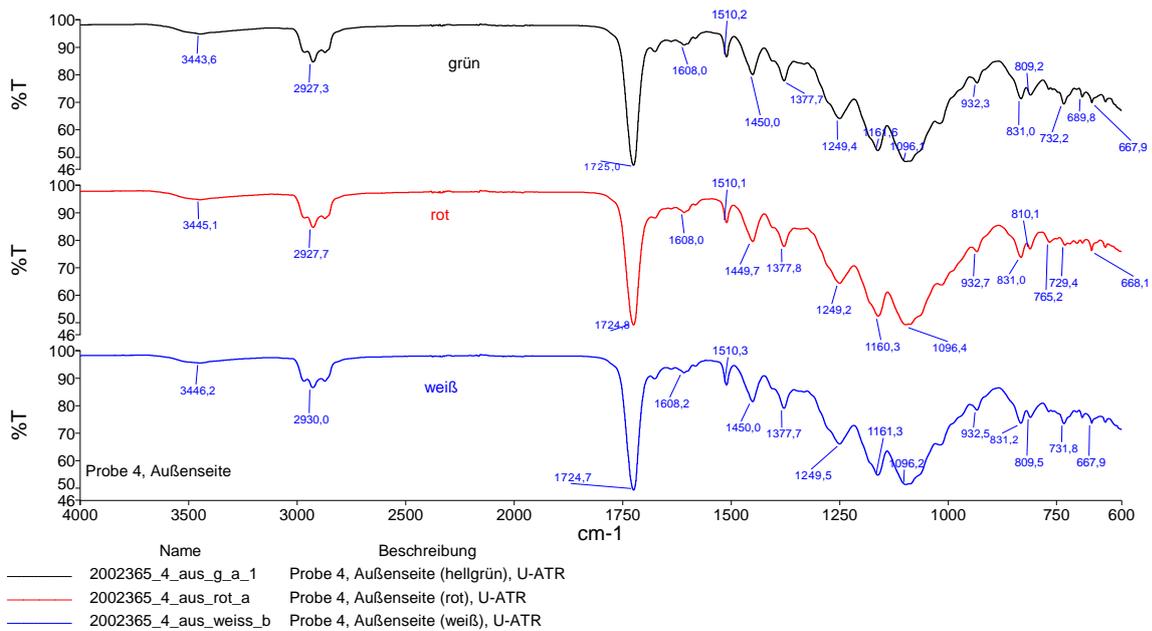


Abbildung 15: IR Spektrum der Außenseite der Probe 4

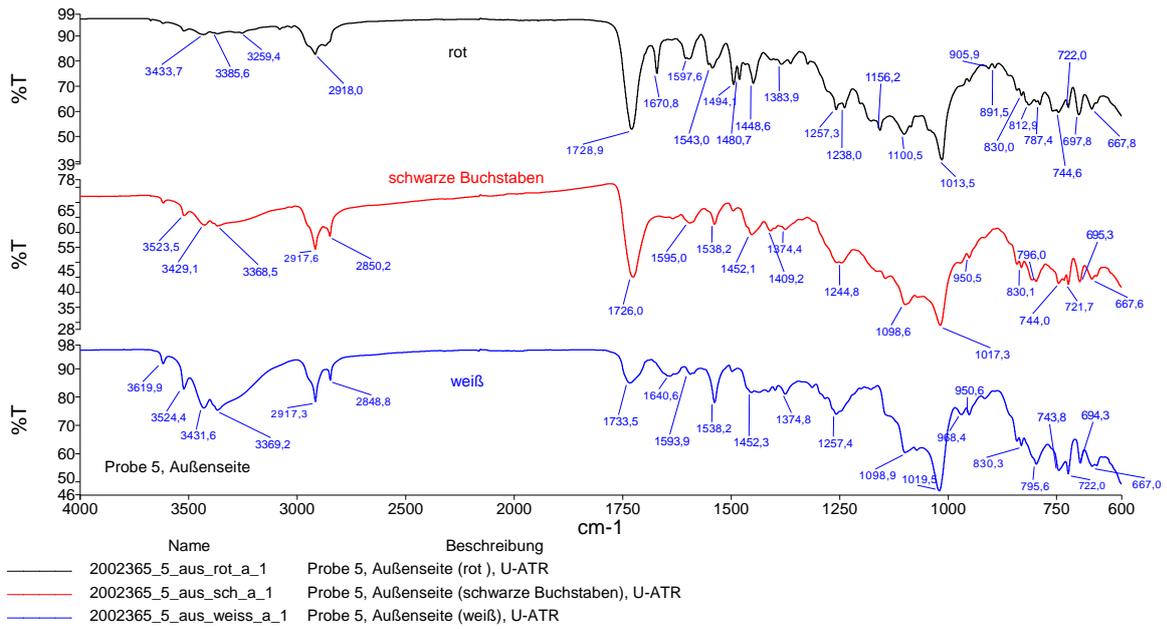


Abbildung 16: IR Spektrum der Innenseite der Probe 5

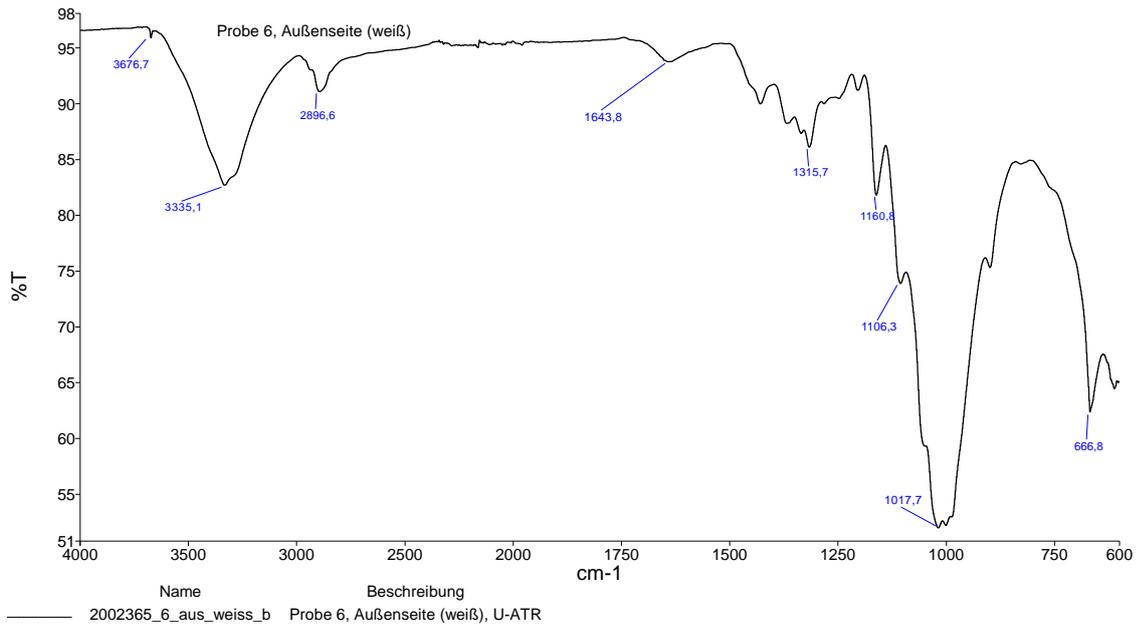


Abbildung 17: IR Spektrum der Außenseite der Probe 6

10 Literaturverzeichnis

- ARA. (2021): ARA Circular Design. Macht selbst das beste Verpackungsdesign besser. Von https://www.ara.at/fileadmin/user_upload/Downloads/Publikationen/Circular_Design_Folder/ARA_Folder_Circular-Design_Einzelseiten_04_2021.pdf abgerufen
- ARA. (2019): Rohstoff Kunststoff. Ressourcen und Kreislaufwirtschaft neu denken. Und machen. Von https://www.ara.at/fileadmin/user_upload/Downloads/Kunststoffbroschuere/ARA_Kunststoffbroschuere.pdf abgerufen
- bifa Umweltinstitut. (2019). Bericht. Recyclingfähigkeit von Verpackungen. Konkretisierung, Untersuchungsrahmen und Kriterienkatalog. Augsburg März 2019.
- Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. (2020). *Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich*. Wien: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie.
- Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. (2021). Entwurf. Verordnung der Bundesministerin für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, mit der die Verpackungsverordnung 2014 geändert wird (Verpackungsverordnungs-Novelle 2021) Von https://www.wko.at/service/ooe/umwelt-energie/Entwurf_Verpackungsverordnung-Novelle_2021.pdf aufgerufen
- EFSA (2012). PET-Recyclingverfahren für Lebensmittelkontaktmaterialien: EFSA verabschiedet erste Gutachten. Von <https://www.efsa.europa.eu/de/press/news/120802> abgerufen.
- Europäische Kommission. (2018). *Eine europäische Strategie für Kunststoffe in der Kreislaufwirtschaft. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen*. Europäische Kommission.
- Europäisches Parlament. (2019). *Richtlinie (EU) 2019/904 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 05. Juni 2019 über die Verringerung der Auswirkungen bestimmter Kunststoffprodukte auf die Umwelt*.
- FH Campus Wien. (2020). *Circular Packaging Design Guideline*. Von https://www.fh-campuswien.ac.at/fileadmin/redakteure/Forschung/FH-Campus-Wien_Circular-Packaging-Design-Guideline_FIN_ENG_Web.pdf abgerufen
- Institut cyclos-HTP GmbH. (07. 10 2019). Von <https://www.cyclos-htp.de/publikationen/a-b-katalog/> abgerufen
- Institut cyclos-HTP GmbH. (2020). *Prüfung und Testierung der Recyclingfähigkeit*. Aachen.
- Interseroh Austria. (2021). Von www.interseroh.at abgerufen
- Mag. Dr. Martin Wellacher, M. A. (2020). *Umsetzung der EU-Kunststoffstrategie in der Steiermark Ausgangslage, Potentiale, technische Möglichkeiten und Maßnahmen*. Leoben: Montanuniversität Leoben.
- Pavlovic, K. (2020). *Analyse des PET-Getränkeflaschenmarktes in Österreich mit Fokus auf verwendete Bänderolen/Sleeves*. Wien.
- Plattform, E. P. (Februar 2010). www.epbp.org. EPBP.

Pomberger, Roland (2020): Über theoretische und reale Recyclingfähigkeit. Österr Wasser- und Abfallw 2021 · 73:24–35. <https://doi.org/10.1007/s00506-020-00721-5>

Reclay Systems GmbH. (2021). Von <https://circulate.eco/> abgerufen

RecyClass. (Jänner 2021). *RecyClass*. Von https://recyclclass.eu/wp-content/uploads/2020/12/RECYCLASS-RECYCLABILITY-METHODOLOGY_v.1.1.1.pdf abgerufen

Stiftung Zentrale Stelle Verpackungsregister. (2020). *Mindeststandard für die Bemessung der Recyclingfähigkeit von systembeteiligungspflichtigen Verpackungen gemäß § 21 Abs. 3 VerpackG*. Osnabrück.

Wirtschaftskammer Österreich (2020): Der zehn-Punkte-Plan der WKO für eine alltagstaugliche Kreislaufwirtschaft. Ein ganzheitliches Konzept. Online verfügbar: <https://news.wko.at/news/oesterreich/WKO-10-Punkte-Plan.pdf>. Zugriff am: 15.06.2021

Zentrale Stelle Verpackungsregister. (2021). Von www.verpackungsregister.org abgerufen