

Bericht

Projekttitle **Recyclingfähigkeit von Verpackungen**
Bewertungskatalog

Auftraggeber **Interzero Recycling Alliance GmbH**

Projekt-Nr. **530592**

Bearbeiter **Thorsten Pitschke**

Stand **Januar 2025**

INHALTSVERZEICHNIS

1	Veranlassung	1
2	Zentrale Aspekte der Bewertungsmethodik	2
3	Zielprozesse für die werkstoffliche Verwertung von Verpackungen.....	4
4	Übersicht Bewertungskatalog	15
5	Ebene 1: Zuordnung der Vp zum Erfassungssystem	18
6	Ebene 2: Sortierbarkeit gemischt erfasster Vp (LVP)	20
7	Ebene 3: Eignung für werkstoffliche Verwertung und Bereitstellen von Sekundärprodukten	28
8	Quantitative Bewertung der Recyclingfähigkeit.....	50
	Literatur	55

1 Veranlassung

Zur Förderung eines recyclinggerechten Designs von Verpackungen ist der Dialog zwischen den Akteuren der Wertschöpfungskette wesentlich. Bereits heute bestehen einige, teils geschlossene Plattformen und Angebote zum Austausch. Dennoch besteht in der Breite weiterer Informationsbedarf zu den Anforderungen an die recyclingfreundliche Verpackungsgestaltung bei Entwicklern, Abfüllern und dem Handel. Potenziell starke Lenkungswirkung bietet dazu § 21 des Verpackungsgesetzes, der die Gestaltung der Lizenzentgelte für Verkaufsverpackungen in Abhängigkeit von der Recyclingfähigkeit vorsieht. Durch die ökologische Gestaltung der Lizenzentgelte sollen prinzipiell recyclingfähige Verpackungen mit geringen - und nicht recyclingfähige Verpackungen mit höheren - Beteiligungsentgelten belegt werden. § 21 Verpackungsgesetz adressiert die Frage einer konkreten Bewertung der Recyclingfähigkeit von Verpackungen an die am Lebensweg einer Verpackung beteiligten Akteure. Im Folgenden werden die zentralen Rahmenbedingungen für eine Methodik zur Bestimmung der Recyclingfähigkeit von Verpackungen vorgestellt. Den Ausgangspunkt der zugehörigen Überlegungen bilden u.a. die abfallwirtschaftlichen Regelungen zur Entsorgung von Verpackungen, das Kreislaufwirtschafts- sowie das Verpackungsgesetz und die Verpackungsverordnung in der derzeit gültigen Fassung. Zusätzlich wird dem in der DIN EN 13430 „Anforderungen an Verpackungen für die stoffliche Verwertung“ formulierten Rahmen Rechnung getragen.

Im Rahmen der im September 2024 durchgeführten Aktualisierung wurde der Bewertungskatalogs an die aktuelle Version des Mindeststandards der Zentralen Stelle Verpackungsregister [ZSVR 2024] angepasst.

Ziel des Recyclings ist es, bei der Produktion von neuen Gütern den Rohstoff- und Energieeinsatz durch den Einsatz von recyceltem Material zu reduzieren. Unter dem Begriff der Recyclingfähigkeit versteht man grundsätzlich die Eigenschaft eines Produktes, die es erlaubt, die verwendeten Materialien nach Ende der Lebensdauer wieder dem Stoffkreislauf zu zuführen und damit den Stoffkreislauf zu schließen. Dabei kommt es bei dem Maß der Recyclingfähigkeit darauf an,

- wie die Verpackung gestaltet und beschaffen ist,
- in welcher Qualität und Quantität die Verpackungen den materialspezifischen Verwertungswegen zugänglich gemacht und dort behandelt werden können
- welche Sortier- und Verwertungstechniken seitens der Entsorgungswirtschaft eingesetzt werden, um einzelne Materialströme zu separieren und mit hoher Ausbeute in Zielfraktionen aufzukonzentrieren und
- welche Qualität das Recyclingprodukt erreicht, vor dem Hintergrund, dass ein Wiedereinsatz als Substitut von Primärmaterial angestrebt ist

2 Zentrale Aspekte der Bewertungsmethodik

2.1 Untersuchungsgegenstand

Entsprechend der Definition nach Verpackungsgesetz und der DIN 55405 „Verpackungen - Terminologie – Begriffe“ sind Verpackungen Produkte zur Aufnahme, zum Schutz, zur Handhabung, zur Lieferung oder zur Darbietung von Waren, die vom Hersteller an den Benutzer oder Verbraucher weitergegeben werden.

Im Fokus dieses Konzeptes zur Bewertung der Recyclingfähigkeit stehen Verkaufsverpackungen. Verkaufsverpackungen fallen typischerweise nach Gebrauch beim Endverbraucher an und werden dann über die Sammelsysteme der dualen Systeme beziehungsweise im Fall pfandpflichtiger Getränkeverpackungen über das Pfandsystem des Handels erfasst. Die in der Regel eingesetzten Verpackungsmaterialien, auch als Packstoffe bezeichnet sind: Glas, Kunststoffe, Papier/Pappe/Kartonage (PPK), Aluminium, Weißblech und Kombinationen bzw. Verbunde dieser Materialien (z.B. Flüssigkeitskarton). Dabei finden in Verpackungen oftmals mehrerer Materialien, teils auch nur in kleinen Anteilen, Anwendung. Packhilfsmittel wie z.B. Etiketten oder Verschlüsse werden ebenfalls als Teil der Verpackung in der Bewertung der Verpackung berücksichtigt.

2.2 Abgrenzung Recyclingfähigkeit / Öko-Design

Für Hersteller und Entwickler von Verpackungen ist die Recyclingfähigkeit neben weiteren Faktoren, eine Dimension im übergeordneten Kontext des „Öko-Designs“ von Verpackungen. Weitere Aspekte, die in diesem Kontext diskutiert werden, sind beispielsweise:

- Ökobilanz als Methode zu Systematisierung und Bewertung von Umweltwirkungen über den gesamten Lebenszyklus der Verpackung. Dabei ist die Aussage über die Umweltwirkung immer eine Frage der Systemgrenzen der Betrachtung. Die Betrachtung fängt bei der Rohstoffgewinnung an und kann bis hin zum Wiedereinsatz als Rezyklat bei der Herstellung neuer Verpackungen oder der zusätzlichen Berücksichtigung der verpackten Ware gehen.
- Materialeffizienz als Strategie zur Reduzierung des Materialverbrauchs: Das gleiche Ergebnis soll mit weniger Material erzielt werden. Die Maßnahmen hierzu reichen von materialsparenden Fertigungsverfahren bis zur verbesserten Produktkonstruktion, von der Mitarbeiterschulung bis zur Kooperation mit Zulieferern und Kunden. Materialeffizienz ist primär ein Thema im Herstellungs- nicht aber im Recyclingprozess nach Gebrauchsende.
- Recycled Content als Maß für den Anteil von Sekundärmaterial im Neuprodukt. Das Hinwirken auf einen (hohen) Sekundärmaterialanteil ist eine Maßnahme die das Schließen von Stoffkreisläufen befördert.

Die genannten Aspekte des Öko-Designs von Verpackungen können sich auf verschiedene Lebenswegstufen beziehen, daher sind auch Zielkonflikte zwischen diesen Dimensionen möglich. Im Rahmen dieser Konzeption wird nur die Recyclingfähigkeit einer Verpackung bewertet, Rückschlüsse auf weitere Dimensionen des Öko-Design können aus dieser Bewertung nicht gewonnen werden.

2.3 Bewertung der Recyclingfähigkeit

Die Bestimmung der Recyclingfähigkeit muss in Bezug auf eine zugrunde liegende Verwertungsstruktur erfolgen (z.B. eingesetzte Erfassungs-, Sortier- und Aufbereitungsverfahren). Besondere Relevanz haben dabei die Art der Verwertung (i.S.v. werkstofflich, rohstofflich bzw. energetisch) und die Qualität der jeweiligen Verwertungsprodukte mit Blick auf die potenziellen Wiedereinsatzgebiete.

Das VerpackG (§21 Absatz 4) weist mit der Förderung der werkstofflichen Verwertung¹ den Bezugspunkt aus, auf den die Recyclingfähigkeit von Verpackungen Bezug nehmen sollte. Vor diesem Hintergrund werden im Rahmen der vorgestellten Methodik Verpackungen, die nach Erfassung und Sortierung

- hochwertig und werkstofflich verwertet werden können, als **recyclingfähig** bezeichnet. Eine Verwertung zu Produkten, die ursprünglich eingesetzte Primärmaterialien ersetzen, wird dabei als hochwertig bezeichnet. Die Verfügbarkeit hochwertiger Behandlungskapazitäten bzw. der Umfang einer hochwertigen und werkstofflichen Verwertung wird in der Bewertung berücksichtigt.
- nur energetisch verwertet werden können, als **nicht recyclingfähig** bezeichnet.

Die Bewertung von Recyclingfähigkeit beinhaltet auch den Aspekt, dass der Erfolg der werkstofflichen Verwertung für bestehende Recyclingströme beispielsweise hinsichtlich Qualität und Ausbeute durch eingetragene Störstoffe nicht gefährdet werden soll. Störende Substanzen, Materialien oder Materialkombinationen sind im Rahmen der Bewertung zu identifizieren und hinsichtlich der Möglichkeit zur Abtrennung und des Einflusses auf die Produktqualität zu bewerten.

Die Bewertung der Recyclingfähigkeit wird darauf abzielen effizient und valide das Potenzial zu ermitteln, ob und in welchem Umfang eine Verpackung bzw. die daraus separierten Materialien oder Materialkombinationen die jeweiligen physikalischen oder chemischen Anforderungen erfüllen, um entlang der Sortier- und Verwertungsprozesse im Pfad für eine hochwertige werkstoffliche Verwertung zu verbleiben.

Dabei ist ein für jede Verpackung spezifisch durchzuführender Praxistest an realen Verwertungsanlagen zum Quantifizieren einer realen Recyclingfähigkeit nicht vorgesehen. Die Prüfung der physikalischen oder chemischen Voraussetzungen der Eigenschaften erfolgt in aller Regel auf Basis von Produktinformationen und experimentellen Untersuchungen.

2.4 Betrachtungsgrenze

Die Bewertung der Recyclingfähigkeit umfasst prinzipiell die gesamte Entsorgungskette der Verpackungen ab Gebrauchsende. Diese Schritte sind:

- **Erfassung**
Abgabe der gebrauchten Verpackung an das jeweilige materialspezifische Erfassungssystem (inkl. möglicher Auftrennung durch den Konsumenten in Verpackungsmaterialien, Restentleerbarkeit, Abschätzung Fehlzuordnung Erfassungssystem, etc.)

¹ Werkstoffliche Verwertung ist nach VerpackG die Verwertung durch Verfahren, bei denen stoffgleiches Neumaterial ersetzt wird oder das Material für eine weitere stoffliche Nutzung verfügbar bleibt

- **Sortierung**
Sortierung gemischt erfasster Verpackungen
- **Aufbereitung**
Materialspezifische, werkstoffliche Verwertung der Verpackungsmaterialien und Bereitstellung eines Sekundärprodukts (z.B. Regranulat)

Entlang aller Stufen der Verwertungskette kann die Abtrennung von Verpackungsteilen erfolgen, die für eine hochwertige werkstoffliche Verwertung entweder nicht geeignet sind oder diesem Pfad verloren gehen. Im Rahmen der hier zu entwickelnden Methodik soll die Recyclingfähigkeit daher als eine graduelle Eigenschaft verstanden werden, die letztendlich die Relation von erwarteter Sekundärprodukt- und eingesetzter Verpackungsmaterialmenge bewertet.

Die Berücksichtigung der einzelnen Prozessschritte und Produkte der werkstofflichen Verwertung ist wichtig für die Bewertung der Recyclingfähigkeit. Allein die Bereitstellung einer Verpackung für einen hochwertigen werkstofflichen Verwertungsprozess als Indikator ihrer Verwertbarkeit, analog zur Berechnung von Verwertungsquoten, würde zu kurz greifen.

2.5 Status der referenzierten Entsorgungsstruktur

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). Eine ausführlichere Beschreibung der materialspezifischen Verwertungsprozesse enthält Kapitel 3.

2.6 Zusammenfassung

Die Bewertung der Recyclingfähigkeit einer Verpackung charakterisiert den Anteil der in der Verpackung enthaltenen Materialien, die nach Sortierung und Verwertung wieder zur Herstellung von Produkten aus dem ursprünglichen Primärmaterial verwendet werden können. Dementsprechend werden zur Ermittlung der erwarteten Recyclingfähigkeit die chemischen und physikalischen Eignungen der Verpackung hinsichtlich ihrer Sortier- und Verwertbarkeit bewertet. Bezugspunkt für diese Bewertung sind die verpackungsmaterialspezifischen, in Deutschland relevanten und industriell eingesetzten Sortierungs- und Verwertungsprozesse.

3 Zielprozesse für die werkstoffliche Verwertung von Verpackungen

Verkaufsverpackungen werden nach Gebrauch getrennt vom Restabfall und materialspezifisch über die Sammelsysteme der dualen Systeme beziehungsweise im Fall pfandpflichtiger Getränkeverpackungen über das Pfandsystem des Handels erfasst.

Dabei sind zunächst auch das Verbraucherverhalten und die grundsätzliche Handhabbarkeit der Verpackungen bei der getrennten Erfassung zu berücksichtigen. Als Beispiel kann an die-

ser Stelle zum einen die Möglichkeit der Zuordnung zum Sammelsystem durch den Konsumenten genannt werden. Diese ist gegeben, sobald der Verpackungsabfall eindeutig dem dafür vorgesehenen Erfassungssystem zugeordnet werden kann. So kann Behälterglas beispielsweise als eindeutig sortierfähig eingestuft werden, da für den Konsumenten das Material Glas als solches klar erkennbar ist. Gleiches gilt für die Zuordnung metallischer Verpackungen in entsprechende separate Erfassungssysteme (sofern vorhanden). Dies kann ebenso für die eindeutig richtige Zuordnung der Verkaufsverpackungen aus Kunststoff in die dafür vorgesehenen Erfassungswege (Gelber Sack, Gelbe Tonne) angenommen werden. Schwieriger wird es, wenn die Verpackung aus verschiedenen Materialien besteht, die vom Konsumenten zu dem noch in einzelne Bestandteile aufgetrennt werden sollten (Beispiel Joghurtbecher: Deckel aus Aluminium, dünner Kunststoffkörper ummantelt mit Pappe). Dabei wird vom Konsumenten Eigenleistung für die Durchführung der technisch sachgerechten Sortierung verlangt. Nicht alle Konsumenten sind dazu bereit, weswegen auch hier mit Verlusten der einzelnen Verpackungsbestandteile zu rechnen ist.

Die folgende Darstellung der Aufbereitungsketten für verschiedene Verpackungsabfallanteile beschreibt einen breiten, nicht ausschließlichen Stand der Technik. Generell stellen die dargestellten Prozesse und Prozessketten das Verfahrensgerüst zur Bewertung einer Recyclingfähigkeit, d.h. diese dargestellten optischen und physikochemischen Behandlungsverfahren werden zur Bemessung der Recyclingfähigkeit herangezogen.

Prozessinnovationen im Aufbereitungssektor machen gegebenenfalls künftig eine Anpassung des beschriebenen Stands der Technik erforderlich.

3.1 Sortierung LVP-Gemisch

Leichtverpackungen (LVP), d.h. Verkaufsverpackungen aus Kunststoff, Aluminium, Weißblech und Verbundstoffen wie Flüssigkeitskartons, werden meist im Gemisch gesammelt. Die Erfassung erfolgt überwiegend im Holsystem. Das LVP-Gemisch wird dann in Sortieranlagen in Fraktionen für die nachgelagerte Verwertung separiert. Das Sortierergebnis wird beeinflusst von vertraglichen und gesetzlichen Vorgaben sowie von Einflussgrößen, die der technischen Ausführung der Sortieranlage sowie deren Betriebsweise zuzuordnen sind. Der Stand der Technik der LVP-Sortierung ist charakterisiert durch eine in hohem Maße automatisierte Prozessgestaltung sowie eine Auftrennung von Kunststoffverpackungen nach Kunststoffarten. Bei der LVP-Sortierung nach Stand der Technik werden je nach konkreter Anlagenkonfiguration die folgenden Sortierfraktionen erzeugt: Kunststofffolien (überwiegend LDPE), PE, PP, PS, PET, MPO (gemischte Polyolefine), PO-flex, PP-flex, Mischkunststoffe (MKS) sowie PPK aus LVP, Flüssigkeitskartons (FKN), Fe-Metalle wie Weißblech und Nichteisenhaltige (NE-) Metalle wie Aluminium.

Die wesentlichen Schritte einer Sortierung des LVP-Sammelgemisches nach Stand der Technik sind in Abbildung 3-1 dargestellt (siehe auch [UBA 2024]):

- Aufschluss der Gebinde (Gelber Sack) zur Freilegung der Verpackungsabfälle
- Siebklassierung als Vorbereitung für die größenabhängigen Sortierstufen und zur Abtrennung von kleinteiligen Sortierresten (<20 mm)
- Windsichtung der Fraktionen >220 mm und 20 – 220 mm zur Abtrennung von Kunststofffolien bzw. einer Fraktion flexibler **Mischkunststoffe (MKS)**. Oft wird die Folienfraktion zusätzlich über Nah-Infrarot (NIR)-Trenner oder integrierte Aufbereitung nach Kunststoffart

separiert. So werden möglichst reine **LDPE Fraktionen** oder Fraktionen mit **flexiblen PO/PP** erzeugt.

- Magnetscheidung zur Gewinnung von **Weißblech** bzw. **Fe-Metallen**
- Abtrennen von **Flüssigkarton (FKN)** mittels NIR aus der Fraktion 20 – 220 mm (Windsichterschwer- und -leichtfraktion) und dem Teilstrom aus der Wirbelstromabscheidung
- Wirbelstromscheidung zur Gewinnung von **Aluminium**
- Mehrfachsortierung der formstabilen Kunststoffe mittels NIR. In der Regel werden an Kunststoffarten **PET, PE, PP** oft **PS**, teilweise **MPO** und eine **PPK** Fraktion erzeugt.

Manuelle Kontrolle der automatisiert abgetrennten Sortierfraktionen. (KI)-gestützte Objekterkennung in Kombination mit NIR-Trennern oder Sortierrobotern sind bereits in einigen Anlagen als Alternative oder Ergänzung zur händischen Sortierung im Einsatz (vergleiche [UBA 2024]).

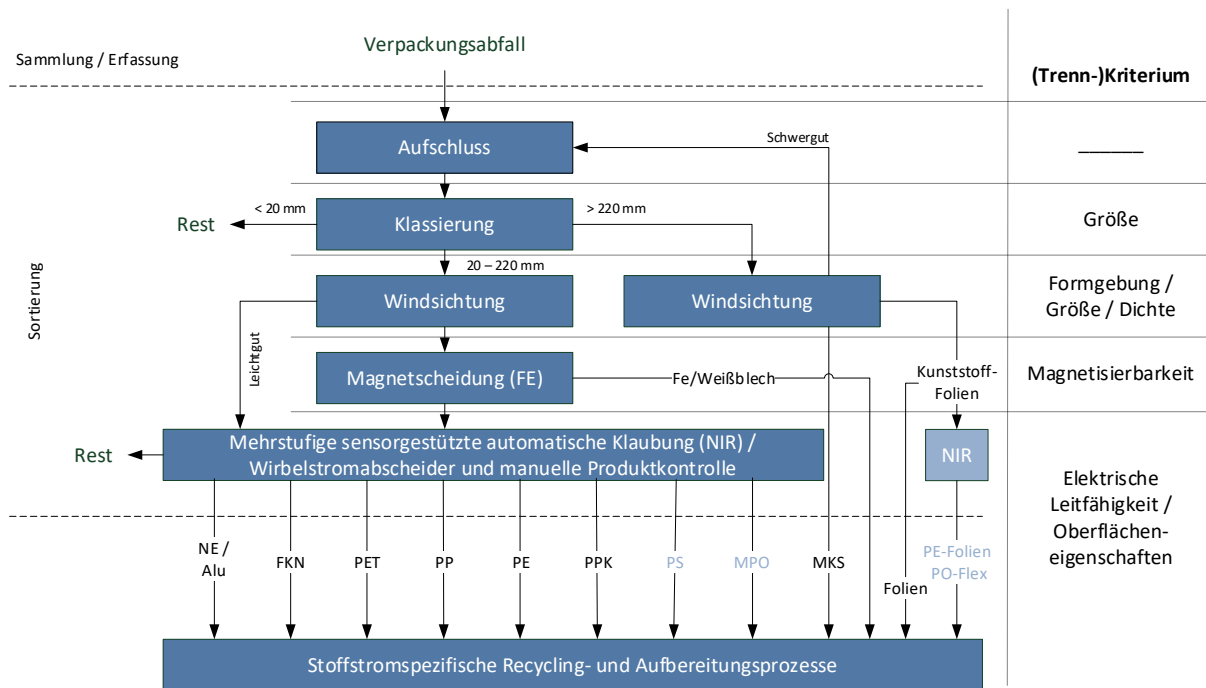


Abbildung 3-1: Prozessschritte LVP-Sortierung. Blaue Schrift: Fraktionen werden teilweise, d.h. in manchen Sortieranlagen, erzeugt.

Die Qualitätsanforderungen für diese Fraktionen (Produktspezifikationen) sind in einem gemeinsamen Katalog der Systembetreiber dargelegt². Die typischen Sortierfraktionen sind:

- Kunststoffe: PP, PE, PET (transparente Flaschen), Folien > DIN A4, MKS und große Kunststoffhohlkörper. Teilweise werden außerdem die Fraktionen PS, PE-Folien, PO-flex bzw. PP-flex, schwarze formstabile Kunststoffe, PET-Schalen erzeugt
- Metalle: Aluminium, Weißblech
- Faserhaltige Fraktionen: Flüssigkartons, teils PPK-Verbunde
- Sonstige: Sortierreste

² Für detaillierte Informationen siehe <https://www.gruener-punkt.de/de/download.html>

3.2 PE, PP, PS und Folien

Beim Recycling von Verpackungskunststoffen stehen thermoplastische Kunststoffe im Fokus. Thermoplaste lassen sich innerhalb bestimmter Temperaturbereiche verformen. Sofern keine Überhitzung und somit Schädigung des Materials erfolgt, ist dieser Prozess in gewissem Umfang wiederholbar. Die Zahl der möglichen Wiederholungen, hängt im Wesentlichen von der Qualität, sprich Reinheit, des Stoffstromes ab. An Thermoplasten werden die Polyolefine PP und PE im Verpackungsbereich besonders häufig eingesetzt. Beim Recycling von Kunststoffverpackungen aus PP, PE und PS werden im Wesentlichen die in Abbildung 3-2 dargestellten Schritte durchlaufen.

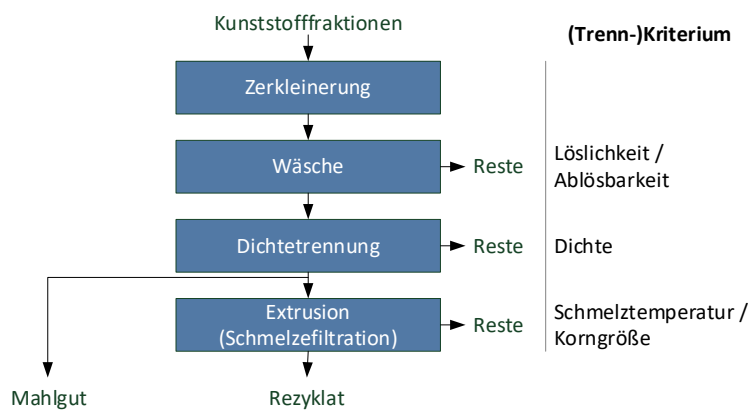


Abbildung 3-2: Prozessschritte für das Recycling von Standardverpackungskunststoffen.

Die Sortierfraktionen aus PP, PE und PS weisen eine Reinheit von mindestens 94 % auf. Im Rahmen der Verwertung ist der erste Schritt, nach der Ballenöffnung, die Zerkleinerung der Kunststoffverpackungen. Bei der anschließenden intensiven Wäsche sollen u.a. Reste des Füllmaterials, Anhaftungen, Etiketten etc. soweit als möglich entfernt werden. In den meisten Anlagen erfolgt die Wäsche kalt [UBA 2024] und es werden in der Regel keine Waschsubstanzen hinzugegeben. Materialverbunde, die sich im Waschprozess nicht auflösen lassen, können in den weiteren Prozessschritten zu Herausforderungen führen. Manche Anlagen verbessern durch eine Heißwäsche die Qualität der Reinigung und steigern so die Rezyklatqualität [UBA 2024].

In der anschließenden Dichtentrennung im Schwimm-Sink-Verfahren werden Zielkunststoff (Schwimmfraktion für PE- oder PP-Recycling bzw. Sinkfraktion bei PS-Recycling mit 2 stufiger Dichtentrennung) und Störanteile abgetrennt, um die Reinheit der Polymerfraktion weiter zu erhöhen. Dies stößt jedoch an seine Grenzen, sofern Materialien mit sehr ähnlichen Dichten voneinander getrennt werden sollen oder Anhaftungen (z.B. Multilayer oder PPK-Reste) am Zielpolymer dessen originäre Dichte verändern.

Der Hauptverarbeitungsschritt von PE- und PP-Mahlgut hin zum Rezyklat ist die Extrusion inklusive Schmelzefiltration. Im Extruder wird das Material aufgeschmolzen, homogenisiert, entgast und filtriert. Einige Anlagen nehmen vor der Schmelzefiltration noch eine Sortierung des Mahlguts nach Farbe oder Material vor [UBA 2024]. PS wird nach [UBA 2024] nach der Dichtentrennung getrocknet und meist als Mahlgut abgegeben.

Kunststofffolien > DIN A4 werden in der Sortierung über Klassierung und Windsichtung abgetrennt. Mittels NIR-Trenner werden von vielen Anlagen auch kleinformatige Folien < DIN A4 sortiert. Überwiegend bestehen die so abgeschiedenen Folien aus LDPE. Die Folien werden zu Mahlgut zerkleinert. Nach [UBA 2024] werden in einigen Anlagen über NIR PP-Anteile und

weitere Störstoffe abgetrennt. Im Rahmen der sich anschließenden Wäsche, meist kalt und ohne Detergenzien, werden Klebstoffreste, Papier und Etiketten und andere Störstoffe entfernt. Durch Dichtentrennung werden dann Anteile mit Dichte $>1\text{g/cm}^3$ abgetrennt. Anschließend wird das Mahlgut getrocknet im Extruder homogenisiert, geschmolzen und zu Regranulat verarbeitet.

3.3 PET

Bei PET bestehen hohe Anforderungen an den Verwertungsprozess und die Qualität der Sekundärprodukte, da die erzeugten Regranulate oft wieder im Verpackungsbereich eingesetzt werden. Derzeit konzentriert sich das PET-Recycling auf transparente PET-Flaschen aus dem Pfandsystem oder der LVP-Sortierung. Formstabile Verpackungen aus PET, wie Schalen oder Trays, aus der deutschen Verpackungssammlung werden aktuell nur in geringem Umfang einer werkstofflichen Verwertung zugeführt.

In Abbildung 3-3 sind die wesentlichen Schritte im Rahmen der Verwertung dargestellt.

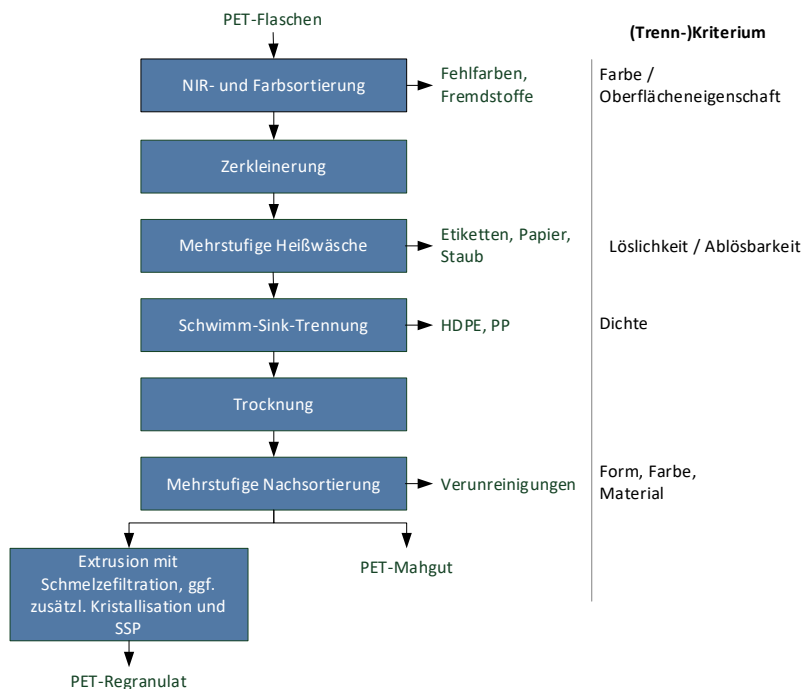


Abbildung 3-3: Prozessschritte PET-Recycling (nach [UBA 2024]).

Nach [UBA 2024] werden PET-Multilayer-Schalen sowie opake PET-Schalen vorab mittels NIR-VIS und teilweise zusätzlich manuell abgetrennt. Die erfassten PET-Flaschen werden nach der Vorsortierung und teilweise Farbsortierung zu „Flakes“ zerkleinert und mehrstufig, mit heißem Wasser und unter Zusatz von Lauge von Etiketten, Getränke rückständen und weiteren Schmutzpartikeln gesäubert. Verschlüsse, etc. werden im Rahmen einer Schwimm-Sink-Trennung ausgeschleust. Ein Recycling des Verschlussmaterials (PE, PP) wird üblicherweise durchgeführt. Die PET-Flakes verbleiben auf Grund ihrer höheren Dichte in der Sinkfraktion. Die Flakes werden anschließend getrocknet. Um Störstoffanteile weiter zu reduzieren, durchlaufen die dann Flakes weitere Nachsortierungsschritte wie Windsichtung, Material-, Farberkennung und Metallabtrennung.

Heute werden von den Verwertern in der Regel die Flakes als Mahlgut abgegeben. Nur wenige Recycler erzeugen selbst Regranulat durch Schmelzfiltration. Sehr vereinzelt ist eine SSP (Solid State Polymerisation) zur Verbesserung der Regranulatqualität direkt in den Verwertungsprozess integriert (vergleiche [UBA 2024]).

Herausfordernd bei der Schmelzfiltration von PET ist u.a., dass bedingt durch die hohe Schmelztemperatur von PET organische Störanteile bis in das Rezyklat verschleppt werden und dessen Qualität erheblich mindern. So werden beispielsweise PA-Copolymere in das Produkt eingetragen und können dort zu einer gelblichen Färbung des Rezyklats führen, dass dann nur noch zur Produktion farbiger Flaschen eingesetzt werden kann.

3.4 Mischkunststoffe (MKS)

Oft werden MKS nach der Sortierung für die energetischen Verwertung bereitgestellt. Teilweise gehen MKS aber auch der Verarbeitung zu Kunststoffzwischenprodukten (z.B. Regranulate) zu. Soweit die MKS derartig werkstofflich verwertet werden, gelten die grundlegenden Verfahrensschritte des nassmechanischen Kunststoffrecycling (Zerkleinern, Waschen, Dichtentrennung und Extrusion; vergleiche auch Abbildung 3-2), wobei die Produkthanforderungen im Vergleich zu Regranulat aus Kunststoffarten in der Regel weniger anspruchsvoll sind. MKS werden aber auch in trockener Prozessführung, beispielsweise über Intrusionsverfahren, direkt in fertige Produkte überführt (z.B. Lärmschutzwände, Bauzaunfüße), wobei allerdings in der Regel nicht die Verwendung von Primärkunststoffen substituiert wird³. Die feinkörnigen Mischkunststoffe werden hierbei nach einer Agglomeration unter Zugabe von Farbstoffen und/oder Folienagglomeraten in Intrusionsprozessen zu Produkten weiterverarbeitet [Bosewitz, 2013].

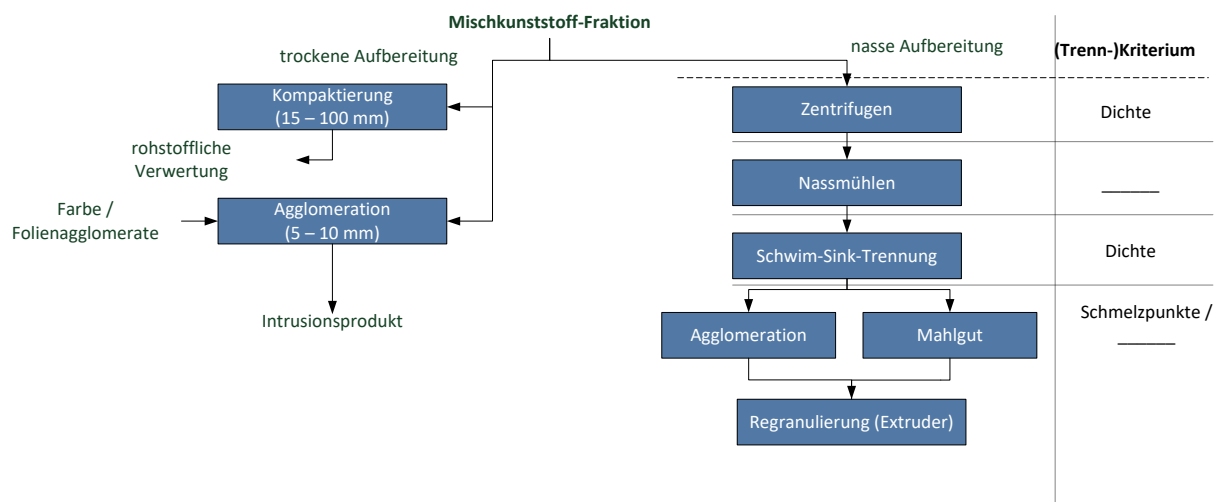


Abbildung 3-4: Übersicht der Verarbeitungswege von Mischkunststoffen [Bosewitz, 2013].

3.5 Flüssigkeitskarton (FKN) und PPK aus LVP (PPK-Verbunde)

Für FKN besteht der Anspruch, dass die Reinheit nach Sortierung bei mindestens 90 % liegt. Ziel der Aufbereitung von FKN ist es, die Zellstofffasern ebenso wie Kunststoff-Aluminium-

³ Nach [Consultic 2015] finden sich etwa 60% der werkstofflich verwerten MKS in derartigen Produkten wieder.

Anteile zurückzugewinnen. Voraussetzung dafür ist, dass der Kunststoff-Aluminium-Anteil schonend vom Karton gelöst werden kann.

Wesentlicher Bestandteil des Recyclings von FKN ist der Waschprozess, in welchem die Trennung der Fasern von Aluminium- und Kunststoffanteilen erfolgt. Dazu wird das Material zunächst zerkleinert und anschließend in eine große, ca. 30 Meter lange Waschtrommel geleitet. Unter Zugabe von Wasser wird das Gemisch in der rotierenden Trommel zerfasert. Am Ende der Trommel wird der Faserbrei durch kleine Öffnungen abgeschwemmt, wodurch die Trennung von den Folienresten mit dem Aluminiumanteil erfolgt. Der Faserbrei wird über Reinigungsstufen noch von Fremdstoffen befreit und anschließend, nach Eindickung und Trocknung, den Verarbeitungslinien zur weiteren Papierherstellung zugeleitet. Das Rejekt, bestehend aus dem Folien-Aluminium-Anteil, kann in Zementwerken energetisch oder in speziellen Recyclingwerken werkstofflich verwertet werden. Im Rahmen der werkstofflichen Verwertung werden heute LDPE-Regranulat bzw. PO-Mahlgut und Al-Konzentrat erzeugt (vergleiche [UBA 2024]).

In Abbildung 3-5 sind die wesentlichen Schritte beim Recycling von FKN dargestellt

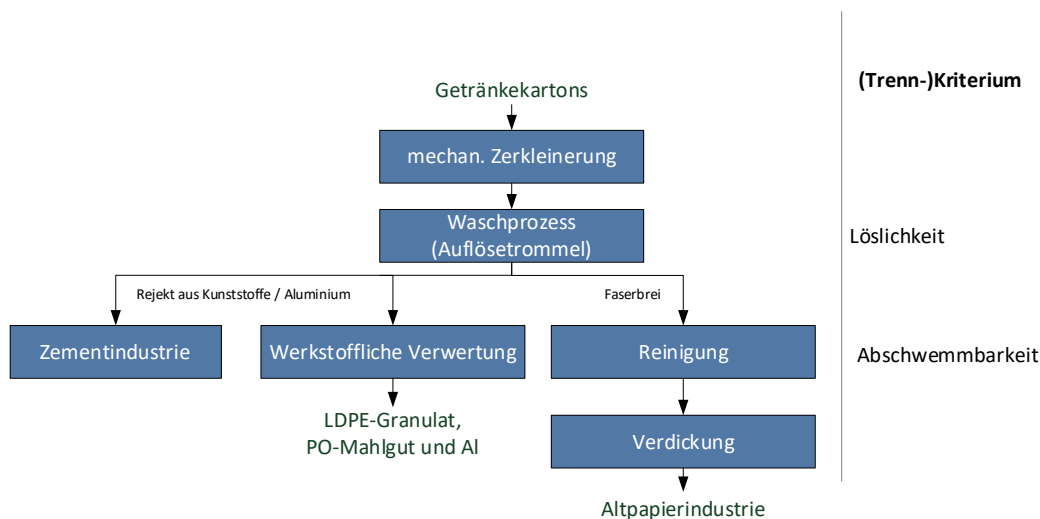


Abbildung 3-5: Prozessschritte Flüssigkeitskartonrecycling.

Bei Verwertung der verbundmaterialreichen Sortierfraktion PPK aus LVP sind die Prozessschritte ähnlich wie bei der Verwertung der FKN-Fraktion. Das Ziel ist hier die Rückgewinnung des Faseranteils. Wesentlicher Prozessschritt ist auch hier ein Waschvorgang mit entsprechenden Verweilzeiten, sodass die Verbunde voneinander gelöst werden können. Bestandteile, die nicht voneinander gelöst werden können, werden als Rejekte ausgeschleust und üblicherweise der thermischen Verwertung zugeführt.

3.6 Aluminium

Aluminium als Teil der LVP-Fraktion findet sich häufig in Folien und Verbundverpackungen. Für das Recycling von Aluminium aus der LVP-Sammlung hat sich die Pyrolyse etabliert. In Abbildung 3-6 sind die wesentlichen Schritte des Verfahrens dargestellt (vergleiche [GDA, W 18] und [Erdmann et al. 2009]):

- Zerkleinerung

- Abtrennen von Störanteilen über Magnet- / Wirbelstrom- und Schwimm-Sink-Abscheider
- Pyrolyse (Drehrohrpyrolyse mit nachgeschalteter Bankglühe) zur Entfernung organischer Störanteile
- Nachsortierung und sensorgestützte Sortierung
- Schmelze in der Regel unter Zugabe von Schmelzsalzen und Abtrennen oxidischer Aluminiumanteile

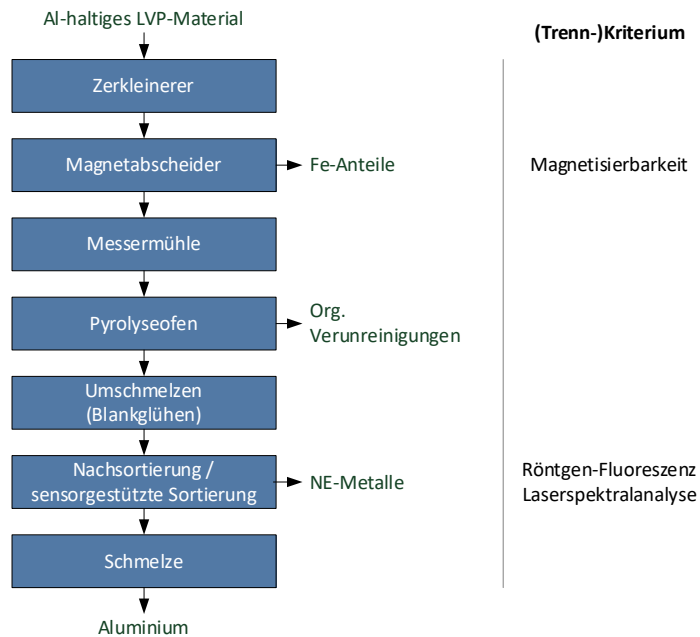


Abbildung 3-6: Recyclingverfahren von LVP-Aluminium.

3.7 Weißblech / Fe-Metalle

Weißblech- bzw. Fe-Metallverpackungen, als Teil der LVP-Sammlung oder im Bringsystem erfasst, gelangen z.B.- als Konservendosen in den Verpackungsstrom. Weißblechverpackungen lassen sich aufgrund ihrer ferromagnetischen Eigenschaften sehr gut vom übrigen LVP-Gemisch separieren.

Die zur Aufbereitung durchgeführten Schritte sind (vergleiche Abbildung 3-7):

- Zerkleinerung zum Aufschluss des Materials
- Abtrennen metallischer und organischer Störanteilen u.a. über NE-Abscheider und Sichter
- Schmelze durch Einsatz im Elektro-Lichtbogenofen bzw. im Sauerstoffkonverter bei Einsatz in der Hochofenroute. Organische Verunreinigungen werden dabei durch das Einblasen von Sauerstoff oxidiert. Andere anorganische Elemente gehen entweder als Legierungsbestandteile⁴ in das Metall über oder werden als Schlacke abgetrennt [UBA, 2016-1].

⁴ Um im Falle des Weißblechs das Zinn vom Stahlblech zu trennen, werden die Abfälle zuvor einer Elektrolyse zugeführt.

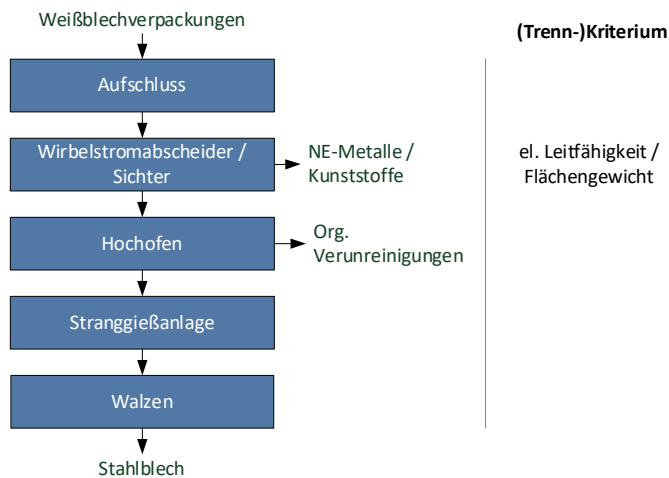


Abbildung 3-7: Recyclingverfahren von LVP-Weißblech

reinigungen werden dabei durch das Einblasen von Sauerstoff oxidiert. Andere anorganische Elemente gehen entweder als Legierungsbestandteile in das Metall über oder werden als Schlacke abgetrennt [UBA, 2016-1]

3.8 PPK (Faserbasierte Verpackungen)

Für die im Hol- oder Bringsystem getrennt von anderen Verpackungsabfällen erfasste PPK-Verpackungen existiert ein materialspezifischer Verwertungsweg. Die wesentlichen Ausgangsmaterialien für das Recycling von PPK sind grafische Papiere, Wellpappe, Karton und weitere Verpackungspapiere. Der aus Sicht des Recyclings wertgebende Anteil ist der Faserstoffanteil. Die zur Verwertung eingesetzten Prozessschritte dienen dem Ziel, das Altpapier bzw. die Fasern von Verunreinigungen und Störstoffen zu separieren und dann die Fasern für die Papierproduktion verfügbar zu machen. Die wesentlichen Schritte bei Trockensortierung gemischter PPK sind nach Stand der Technik (vergleiche auch Abbildung 3-8):

- Klassierung bzw. Abtrennung von Grob- und Feingut mittels Ballistikseparatoren
- Magnetscheidung zur Separierung von Eisenmetallen
- Mechanische Pappenseparation beispielsweise mithilfe eines Rotorsiebes
- Sortierung des Stoffstromes über Nah-Infrarot-Scansysteme (NIR)
- Manuelle händische Nachsortierung

Anschließend erfolgt die weitere Aufbereitung im Papierwerk in den folgenden Schritten:

- Das Altpapiermaterial wird in einem Pulper mit Wasser suspendiert (Auslösung/Zerfaserung).
- Der suspendierte Faserstoff wird dann einer Reinigung u.a. mit Hilfe von Klassieraggregaten und Wirbelschleudern unterzogen (Reinigung).
- Pigmente, Lös- und Bindemittel der Druckfarben werden von den Fasern gelöst und entfernt. Beim Flotations-Deinking wird in einer Flotationszelle der Papiermasse Wasser, Natronlauge und Seife zugesetzt. Luftdüsen erzeugen einen Schaum, an dessen Bläschen sich die Druckfarbenbestandteile anhängen. Sie treiben an die Oberfläche und werden abgetrennt (Druckfarbenentfernung / Deinking).

Die im Rahmen der Aufbereitung abgetrennten Rejekte (Schmutzstoffe, nicht lösbare Bestandteile) werden energetisch verwertet.

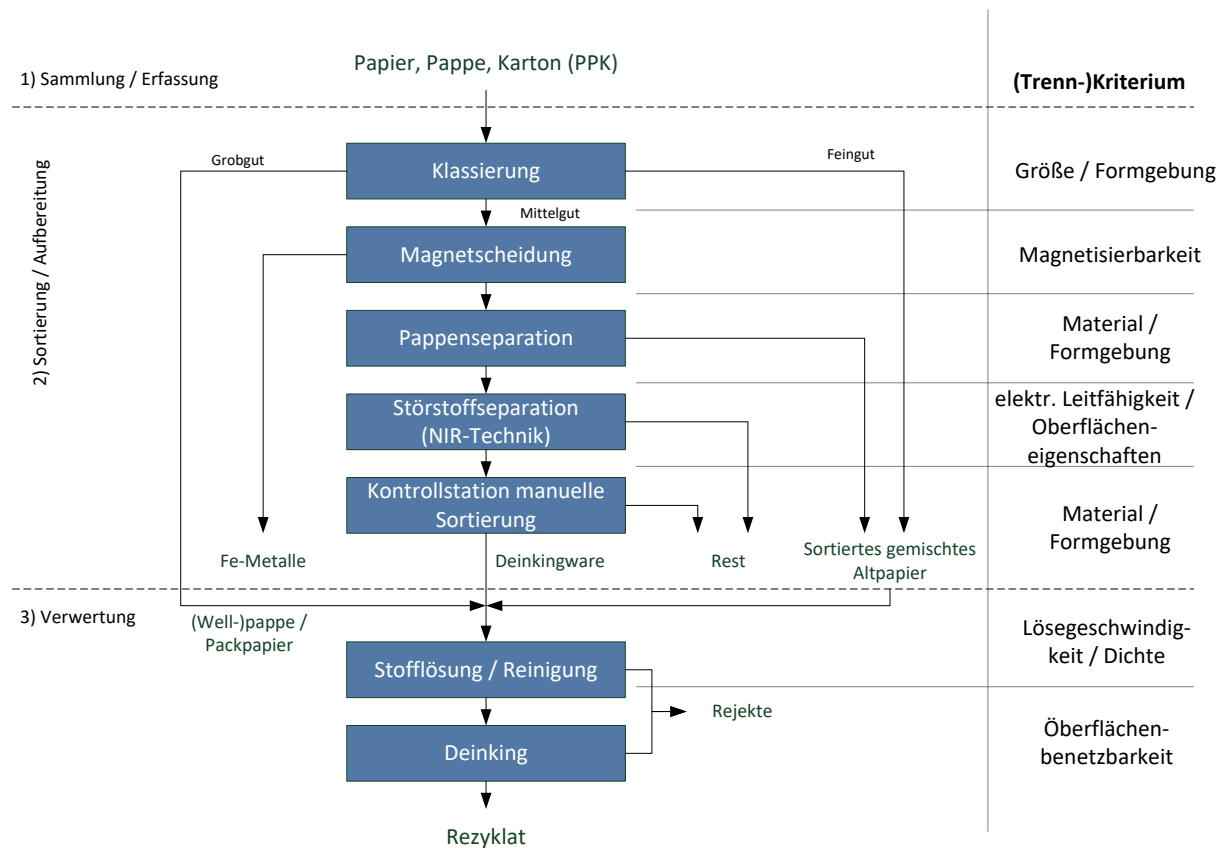


Abbildung 3-8: Prozessschritte PPK-Recycling [UBA, 2016-1].

Eine Herausforderung für das Recyclingverfahren stellen u.a. Druckfarben dar, die mit den gängigen Deinkingverfahren nicht vom Altpapier gelöst werden können. Probleme bereiten auch spezielle klebende Verunreinigungen, sogenannte Stickys (bspw. aus Haftetiketten oder Schmelzklebern in Broschüren), die fragmentiert werden und damit nicht mehr abtrennbar sind. Stickys können im weiteren Verfahren zu Schäden führen. Sie können sich an Maschinenteilen ablagern, die mit der Papierbahn in Kontakt sind, und zu Papierbahn-Abrissen führen [Gruber, 2011].

3.9 Behälterglas

Für im Bringsystem farblich getrennt erfasste Behälterglas existiert ein materialspezifischer Verwertungsweg. Die Reinheit des Altglases ist die zentrale Anforderung des Prozesses. Die wesentlichen Schritte der Aufbereitung sind dabei (vergleiche [bvse 2016, [Erdmann et al. 2009] und [UBA 2024]):

- Grob- und Farbsortierung
- Zerkleinerung (z.B. Walzenbrecher) und Klassierung, um für die nachgeschalteten Sortieraggregate einen optimalen und homogenen Abfallstrom zu gewährleisten
- Klassierung
- Abtrennung von Fe- (Magnetabscheider) und NE-Metallen (Wirbelstromscheider)

- Abtrennung anhaftender Etiketten und Verunreinigungen, wie z.B. Beschichtungen oder Staub entweder durch mechanische Etikettenentferner mit Trommeltrockner oder Absaugung ohne weitere Trocknung.
- Klassierung
- Mittels Windsichter werden leichte, flächige Verunreinigungen (beispielsweise Kunststoffe) abgetrennt
- Keramik, Steine und Porzellan (KSP) sowie Fehlfarben werden über optoelektronische Systeme selektiert

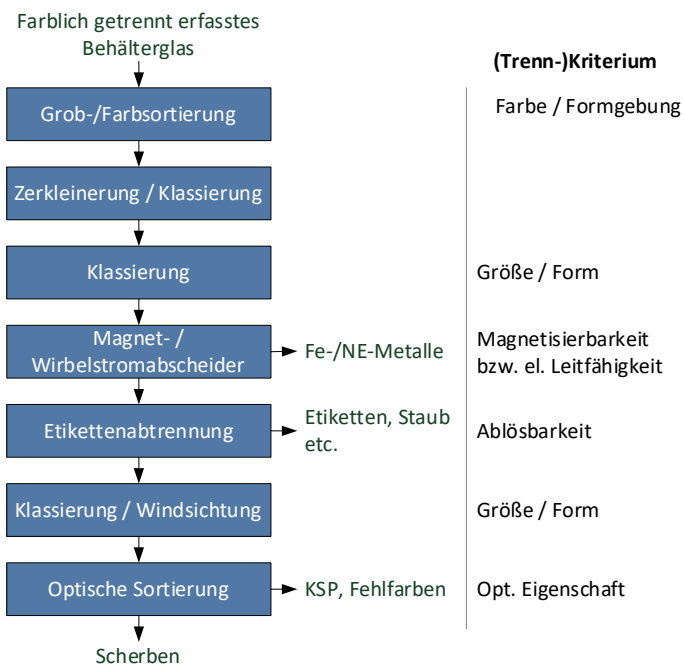


Abbildung 3-9: Prozessschritte Behälterglasrecycling

Am Ende des Prozesses steht ein Glasgranulat zur Verfügung, das qualitativ den ursprünglichen Rohstoffen für die Behälterglasherstellung entspricht. In der anschließenden Verwertung in der Glashütte wird das aufbereitete Altglas mit Sand, Soda, Kalk und Zuschlagstoffen vermischt, erhitzt und geschmolzen.

4 Übersicht Bewertungskatalog

Im Folgenden wird ein breit anwendbares Standard-Vorgehen zur Bewertung der Recyclingfähigkeit von Verpackungen⁵ beschrieben.

Die Bewertungssystematik gliedert sich in drei Ebenen, die jeweils durch spezifische Bewertungskriterien ausgestaltet werden:

- Bewertungsebene 1: Zuordnung der Verpackung zum Erfassungssystem
- Bewertungsebene 2: Sortierbarkeit gemischt erfasster Verpackungen (LVP)
- Bewertungsebene 3: Eignung für werkstoffliche Verwertung und Bereitstellen von Sekundärprodukten

In Ebene 1 wird die Zuordenbarkeit der Verpackung zum vorgesehenen Erfassungssystem beleuchtet.

Ebene 2 bewertet die Recyclingfähigkeit mit Blick auf das Zielmaterial im Wesentlichen dahingehend, ob im Anschluss an die Erfassung im Gemisch mit anderen Verpackungen eine Identifizierbarkeit bzw. Sortierbarkeit der zu bewertenden Verpackungen zur Bereitstellung für die werkstoffliche Verwertungsverfahren gegeben ist. Zentrale Identifikationsmerkmale gemischt erfasster Verpackungen sind die Magnetisierbarkeit (Weißblech-Verpackungen), die elektrische Leitfähigkeit (Al-Verpackungen) und NIR Identifizierbarkeit der Oberfläche (Kunststoffe, PPK, Flüssigkeitskarton).

Unter der Voraussetzung, dass die Verpackung in der Sortierung i.d.R. in die für das Zielmaterial vorgesehene Sortierfraktion⁶ ausgelesen wurde, werden in Ebene 3 schließlich Ausbeute und Qualität des aus der Verpackung gewonnenen Sekundärmaterials bewertet. Zentrale Kriterien sind dabei der Anteil abtrennbarer und nicht-verwertbarer Verpackungsanteile und störende Einträge in das Sekundärprodukt bzw. den Recyclingprozess.

Voraussetzungen und Annahmen für die Bewertung einer Verpackung sind, dass

- die Verpackung im Rahmen der dualen Systems lizenziert ist bzw. lizenzierungsfähig ist
- der Konsument die Verpackung oder Verpackungsbestandteile dem vorgesehenen Erfassungssystem für Verpackungen - vorbehaltlich des in Kapitel 5.1 beschriebenen Kriteriums - ausnahmslos korrekt zuordnet
- der Konsument nach Gebrauch die gesamte Verpackung, d.h. ohne Abtrennung einzelner Verpackungsbestandteile, an das vorgesehene Erfassungssystem abgibt. Ausnahmen bilden dabei Verpackungsbestandteile,
 - die zum Gebrauch des Inhalts immanent und irreversibel abgetrennt werden müssen (z.B. Klarsichtfolie um CD-Hüllen, Einweg-Abreißverschluss, Kronkorken) oder
 - die lose mit dem Packmittel verbunden sind und daher ohne Trennmaßnahme durch den Konsumenten (wie z.B. schneiden, drehen, reißen) zum üblichen Gebrauch vollständig vom Packmittel zu trennen sind (z.B. Umverpackungen, Einlegeböden, Schachteln für Süßigkeiten, Stül- und Schnappdeckel),

die sich allein durch die mechanische Beanspruchung bei Transportvorgängen oder bei Vorbereitung auf die Sortierung voneinander trennen. Für diese Verpackungsbestandteile ist die Recyclingfähigkeit getrennt vom eigentlichen Packmittel zu bewerten.

⁵ Definitionen des Verpackungsbegriffes nach VerpackV Anhang V (zu § 3 Abs. 1 Nr. 1).

⁶ zum Umgang mit Sonderfällen für die Betrachtung in Ebene 3 siehe Abbildung 7-1

Nicht berücksichtigt werden die vom Konsumenten möglicherweise vorgenommene Trennung von händisch zerlegbaren Verpackungskombinationen und deren materialspezifische Abgabe an die entsprechenden Erfassungssysteme (ein „3K-Joghurtbecher“ würde demzufolge als eine Verpackungseinheit aus Kunststoffbecher, Papier-Mantel und Kunststoff-/Al-Deckel bewertet).

- der Verpackung ein Zielmaterial des Recyclingprozesses zugeordnet wird.
Da die weitere Sortierung (Ebene 2) und Aufbereitung (Ebene 3) von Verpackungen grundsätzlich materialspezifisch erfolgt, muss die Art des bestimmenden Verpackungsmaterials im Verständnis des Gutstoffs oder Zielmaterial für den weiteren Recyclingprozess festgelegt werden. Nach [ZSVR 2024] ist bei Verpackungen aus Weißblech oder Aluminium sowie metallhaltigen Verbundverpackungen (wie z.B. mehrlagige Verpackungen mit Aluminiumlayer, Aerosoldosen, Kombidosen mit Weißblechboden, nicht aber metallisierte Verpackungen und Becher mit Al-Platinen und FKN) stets das jeweilige Metall Zielmaterial des Recyclings. Ansonsten wird unter Zielmaterial in der Regel das Verpackungsmaterial (Packstoff) mit dem größten Gewichtsanteil an der Verpackung verstanden. Hat in Ausnahmefällen ein Material, das nur als Packhilfsmittel, z.B. für Verschlüsse oder Ummantelungen, verwendet wird den größten Gewichtsanteil, wird das Zielmaterial abweichend anhand dem der Verpackung zu Grunde liegenden Packmittel⁷ (z.B. Becher, Beutel, Dose, Flasche, Schale, Tray, Tube) bestimmt.

Aufgrund der großen Vielfalt und Entwicklungsdynamik bei der Gestaltung von Verpackungen kann es im Einzelfall möglich werden, dass anhand spezieller Informationslagen oder Sachverhalte⁸ eine Bewertung der Recyclingfähigkeit abweichend vom Standardvorgehen zielführend ist. Abweichungen vom Standardvorgehen sind dann entsprechend auszuweisen und zu begründen.

In der folgenden Tabelle sind die Kriterien zur Bewertung der Recyclingfähigkeit und deren Relevanz für die möglichen Zielmaterialien zusammengefasst.

⁷ Verpackungskomponente, die den Hauptbestandteil der Verpackung bildet und zur Aufnahme von Packgut bestimmt ist. Sie dient seinem teilweisen oder vollständigen Umhüllen und bildet im Endzustand einen offenen oder geschlossenen Hohlkörper. (vergleiche DIN 55405).

⁸ U.a. bei der Bewertung von Verpackungen aus Holz oder Keramik

Tabelle 4-1: Übersicht Kriterienkatalog. X = Kriterium für entsprechendes Zielmaterial anzuwenden.
Vp = Verpackung

Kriterium	Kurzbezeichnung	PE	PS	PP	PET	FKN, PPK-Verb.	Weißblech / Fe	Aluminium	PPK	Glas
Ebene 1 Zuordnung der Verpackung zum Erfassungssystem										
Ist das vorgesehene Erfassungssystem der Vp für den Verbraucher zuordenbar?	Erfassungssystem zuordenbar	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ebene 2: Sortierbarkeit gemischt erfasster Verpackungen										
Ist die Vp groß genug?	Mindestgröße	X	X	X	X	X		X		
Identifizierbarkeit Weißblech-Vp: Ist die Vp magnetisierbar? (Magnetisierbarkeit) ¹⁾	Magnetisierbarkeit	X	X	X	X	X	X			
Identifizierbarkeit Al-Vp: Ist die Vp elektrisch hinreichend leitfähig? (Leitfähigkeit) ¹⁾	Leitfähigkeit	X	X	X	X	X		X		
Identifizierbarkeit Vp aus Kunststoff, FKN, PPK-Verbund, PPK und Glas: Ist die Vp anhand der Oberfläche erkennbar?	Oberflächeneigenschaften	X	X	X	X	X			X ²⁾	X ²⁾
Ebene 3 Eignung für werkstoffliche Verwertung und Bereitstellen von Sekundärprodukten										
Kann für die Vp eine hochwertige Verwertung erwartet werden?	Hochwertigkeit Verwertungsweg	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Enthält die Vp nicht verwertbare Anteile, die im Rahmen der Aufbereitung abgetrennt werden können?	Abtrennbare, nicht verwertbare Anteile	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Erfolgt über die Vp ein Eintrag von (nicht abtrennbaren) Verunreinigungen mit Risiko der Kontamination des Recyclingprodukts bzw. der Störung des Recyclingprozesses?	Nicht abtrennbare Anteile bzw. Verunreinigungen	X	X	X	X	X	X	X	X	X

¹⁾ Zielmaterial Kunststoff bzw. PPK-Verbund (nicht FKN): Prüfen hinsichtlich Identifikation aufgrund von WB- bzw. Al-Minderanteilen

²⁾ Vp aus Glas und PPK werden getrennt vom LVP-Gemisch als Monomaterial erfasst. Eine Identifizierung von PPK (über NIR) und Glas (über optische Sortierung) als Zielmaterial findet deshalb nicht im Rahmen einer LVP-Sortierung, sondern nachgelagert im eigentlichen werkstofflichen Verwertungsprozess statt. Dessen unbenommen wird die Bewertung der Identifizierbarkeit aus Gründen der Übersichtlichkeit formal Ebene 2 zugeordnet. Im Regelfall (Ausnahmen siehe [ZSVR 2022] bzw. Tabelle 6-7) ist die Identifizier- bzw. Sortierbarkeit von Vp aus Glas und PPK als gegeben anzunehmen.

5 Ebene 1: Zuordnung der Vp zum Erfassungssystem

5.1 Ist das vorgesehene Erfassungssystem der Vp für den Verbraucher zuordenbar? (Erfassungssystem zuordenbar)

Erläuterung

Zur Sicherstellung der Recyclingfähigkeit bei Sortierung und Aufbereitung muss der Konsument die Verpackung nach Gebrauch dem vorgesehenen Erfassungssystem zuführen. Der Verbraucher hat dabei grundsätzlich zu entscheiden, ob die Verpackung für LVP-, PPK- oder Behälterglassammlung vorgesehen ist⁹. Verpackungen, in denen LVP-Materialien (z.B. Kunststoffe und Aluminium) mit PPK kombiniert sind, können deshalb unter Umständen zu Herausforderungen bei der Zuordnung führen¹⁰. Dies kann besonders bei Verpackungsgestaltungen in Form von Verbunden oder mit prägnant ausgeprägten Packhilfsmitteln (z.B. umschließende Papp-Etiketten für Joghurt-Becher) sein. Entsorgungshinweise bieten eine Möglichkeit bei potenziell schwierig zuordenbaren Verpackungsgestaltungen den Verbraucher bei seiner Entscheidung zu unterstützen.

Operative Durchführung Bewertung

Tabelle 5-1: Bewertung des Kriteriums Erfassungssystem zuordenbar

Aspekt	Erläuterung
Fachlicher Informationsbedarf zur Bewertung	Verpackungsmaterialien, Gewichtsanteile, Zielmaterial (Definition siehe Kapitel 4)
Bewertungsmethode, Werkzeug	Bestimmung anhand der zur Verfügung gestellten Verpackungsprobe. Sollte das Zielmaterial nicht eindeutig erkennbar sein, dann Durchführung entsprechender Laboranalysen zu den eingesetzten Materialarten und deren Gewichtsanteilen

⁹ Getrennterfassung von metallischen Verpackungen in manchen Städten oder Landkreisen ebenfalls möglich

¹⁰ Bei Kombinationen von LVP-Material (in der Regel als Verschlüsse) mit Behälterglas oder möglicherweise Fe-Metall werden vereinfachend keine Schwierigkeiten bei der Zuordnung zum materialspezifischen Erfassungssystem angenommen.

Tabelle 5-2: Bewertung des Kriteriums Erfassungssystem zuordenbar

Klassifizierung / Bewertung	Erläuterung Einordnung
Vorgesehenes Erfassungssystem für Verbraucher intuitiv <u>problemlos</u> zuordenbar	Packmittel besteht nur aus den LVP-Materialien Kunststoff, Aluminium, Weißblech oder Papier bzw. Behälterglas. Packhilfsmittel aus Papier (Etiketten) haben nur einen geringen Gewichtsanteil (deutlich kleiner 20 Massen-%)
Vorgesehenes Erfassungssystem für Verbraucher intuitiv <u>eingeschränkt</u> zuordenbar	Packmittel ist FKN oder Packmittel ist ein Verbund auf PPK-Basis bzw. Packmittel ist Kunststoff und Packhilfsmittel aus PPK haben einen erheblichen Gewichtsanteil (deutlich größer 20 Massen-%). Die Verpackung enthält aufgedruckte Hinweise zur vorgesehenen Erfassung (nur der Aufdruck eines Recyclingsymbols analog dem „Grünen Punkt“ genügt nicht).
Vorgesehenes Erfassungssystem für Verbraucher intuitiv <u>schwer</u> zuordenbar	Packmittel ist ein Verbund auf PPK-Basis bzw. Packmittel ist Kunststoff und Packhilfsmittel aus PPK haben einen erheblichen Gewichtsanteil an der Verpackung. Die Verpackung enthält keine aufgedruckten Hinweise zur vorgesehenen Erfassung.
Vorgesehenes Erfassungssystem für Verbraucher <u>nicht</u> zuordenbar	Packmittel ist weder Kunststoff, FKN, PPK-Verbund, Aluminium, Weißblech oder Papier bzw. Behälterglas

6 Ebene 2: Sortierbarkeit gemischt erfasster Vp (LVP)

6.1 Ist die Vp groß genug? (Mindestgröße)

Erläuterung

Die Mindestgröße einer Verpackung ist ein wichtiges Merkmal für den Sortiererfolg von gemischt erfassten LVP. Unterschreitet die Verpackung eine Mindestgröße, so ist sehr wahrscheinlich, dass diese bereits in den ersten Schritten der Sortierung ausgeschleust wird d.h. sie erfährt nicht die erforderliche Sortiertiefe für ein hochwertiges Recycling. Eine Ausnahme bilden dabei eisenmetallische Verpackungen bzw. Verpackungsteile (z.B. Kronkorken), die in aller Regel auch aus kleinteiligen Materialströmen mit hohem Sortiererfolg abgetrennt werden:

- Die Klassierung des Ausgangsmaterials in zwei bis drei Größenklassen erfolgt mit Trommelsieben¹¹. Die Eingrenzung des Kornspektrums auf ein festgesetztes Minimum bzw. Maximum ist notwendig, um sicherzustellen, dass die nachfolgenden Sortieraggregate effizient arbeiten können. Verpackungen, die die Mindestgröße unterschreiten, können nur eingeschränkt der richtigen Zielfraktion zugeordnet werden.
- Die Luftdüsenleiste einer NIR-Sortiereinheit hat zwischen jedem Ausblaselement (Luftdüse) einen Abstand (siehe Abbildung 6-1). Üblicherweise liegen die Düsenabstände in einem Bereich von 12,5 – 37,5 mm. Verpackungen, die kleiner als der Düsenabstand sind, werden mit geringerer Wahrscheinlichkeit, Verpackungen von ausreichender Mindestgröße mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgetragen werden.

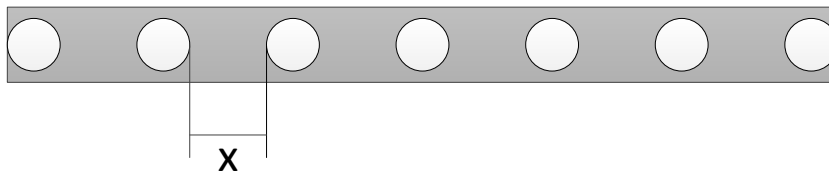


Abbildung 6-1: Schematische Darstellung einer NIR-Luftdüsenleiste mit einem Düsenabstand von 12,5 – 37,5 mm

Üblicherweise liegt die untere Korngröße in der Klassierung (Trommelsiebung) in einem Bereich von 20 bis 50 mm. Als erforderliche Mindestgröße für Verpackungen werden deshalb 20 mm angesetzt, da so auch ein Abtrennen mittels NIR-Sortiereinheit noch möglich ist.

Operative Durchführung Bewertung

Tabelle 6-1: Bewertung des Kriteriums Mindestgröße

Aspekt	Erläuterung
Fachlicher Informationsbedarf zur Bewertung	Größe, Abmessungen der Verpackung.
Bewertungsmethode, Werkzeug	Bestimmung mittels augenscheinlicher Betrachtung der Verpackungsprobe, bedarfsweise ergänzt durch einen Laborversuch (Laborversuch: Vermessen der Verpackung bzw. die Verpackung darf eine runde Öffnung mit einem Durchmesser 20 mm nicht passieren)

¹¹ Entweder wird ein großes Trommelsieb mit zwei Siebquerschnitten oder zwei Trommelsieben mit jeweils einem Siebquerschnitt eingesetzt.

Tabelle 6-2: Bewertung des Kriteriums Mindestgröße

Klassifizierung / Bewertung	Erläuterung Einordnung
Vp hat eine ausreichende Größe	Vp ist in zwei Abmessungen größer als 20 mm
Vp hat <u>keine</u> ausreichende Größe	Vp ist in zwei Abmessungen kleiner als 20 mm

6.2 Identifizierbarkeit Weißblech-Vp: Ist die Vp magnetisierbar? (Magnetisierbarkeit)

Erläuterung

Verpackungen, die sich magnetisieren lassen, können mit hoher Trennschärfe und Ausbeute vom Verpackungsstrom abgetrennt werden. Üblicherweise ist ein Überbandmagnet nach dem Klassierungsprozess oberhalb eines Förderbandes oder einer Abwurfkante mit einem Abstand von max. 1 m angebracht. Damit die Verpackungen abgetrennt werden können und in den vorgesehenen Verwertungspfad für Eisenverpackungen gelangen, müssen diese ausreichende ferromagnetische Eigenschaften aufweisen.

Für Verpackungen werden normalerweise Weißbleche (Eisen) in Form von z. B. Blechdosen eingesetzt. Etiketten, Ummantelungen oder Schutzschichten aus Kunststoffen wirken sich in aller Regel nicht negativ auf die Sortierung mittels Magnetscheider aus. Es wird davon ausgegangen, dass der Eisenanteil der Weißblechverpackungen für gewöhnlich ausreichend hoch ist und eine Magnetscheidung gewährleistet ist.

Operative Durchführung Bewertung

Tabelle 6-3: Bewertung des Kriteriums Magnetisierbarkeit

Aspekt	Erläuterung
Fachlicher Informationsbedarf zur Bewertung	Magnetisierbarkeit bzw. Fe-Anteil
Bewertungsmethode, Werkzeug	Die Magnetisierbarkeit ist ein Trennmerkmal, das einen hohen Sortierfolg ermöglicht. Ist WB das Material mit größten Gewichtsanteil an der Vp kann pauschal davon ausgegangen werden, dass die Verpackung uneingeschränkt sortiert werden kann. Bei Vp mit geringeren WB-Anteilen (Minderanteile, dennoch ist WB Zielmaterial) ist die Identifizierbarkeit abzuschätzen. Im Zweifelsfall sind Anlagen- bzw. Laborversuche durchzuführen. Für einen Laborversuch wird folgender Aufbau vorgeschlagen: Für die Laborversuche soll ein quaderförmiger Ferrit-Permanentmagnet eingesetzt werden. Die Maße des Magneten sollten mindestens 10*10*5 cm betragen. Der Magnet wird in einem Abstand von 5 cm ¹² über die zu prüfende Vp angebracht. Die Vp muss in verschiedenen Lageoptionen unter dem Magnet getestet werden. Wenn die Vp in allen Lagen durch den Magnet angehoben wird, ist die Vp als magnetisierbar zu bewerten.

¹² Abstand für den beschriebenen Labormagneten (10*10*5 cm). Für andere Labormagnete muss der Abstand ggfs. angepasst werden.

Tabelle 6-4: Bewertung des Kriteriums Magnetisierbarkeit

Klassifizierung / Bewertung	Vereinfachte Bewertung	Anlagen-/ Technikumsversuch
Detektion WB uneingeschränkt möglich.	WB ist Zielmaterial und Material mit dem größten Gewichtsanteil an der Vp (z.B. Dose) Kein Versuch erforderlich, da pauschal angenommen wird, dass eine Detektion in jedem Fall gegeben ist	WB ist Zielmaterial, obwohl WB nicht den größten Gewichtsanteil an der Vp hat (z.B. metallhaltiger Verbund) Detektion von WB findet in allen untersuchten Lagen statt
Detektion WB eingeschränkt oder nicht möglich	-	Findet die Detektion von WB nur in einem Teil der untersuchtenagemöglichkeiten statt, <u>wird das Sortierverhalten der Vp anhand des Materials mit größten Gewichtsanteil (z.B. Kunststoff, oder Papier) bewertet</u>

6.3 Identifizierbarkeit Al-Vp: Ist die Vp elektrisch hinreichend leitfähig? (Leitfähigkeit)

Erläuterung

Anhand der elektrischen Leitfähigkeit einer Verpackung ist es möglich gezielt eine Nichteisenmetallfraktion (insbesondere Aluminium) zu erzeugen. Zum Abtrennen dieser Fraktion werden Wirbelstromscheider eingesetzt. Diese nutzen für die Abscheidung die Entstehung von Wirbelströmungen in elektrisch leitfähigen Materialien bei sich ändernden Magnetfeldern aus. Dabei ist es prinzipiell unerheblich, ob die leitfähige Schicht (z. B. Aluminiumfolie) von anderen Schichten (PPK, Kunststoff) umschlossen wird. Grundsätzlich steigt der Ausbringerfolg mit der Flächenausdehnung und der Schichtdicke des Nichteisenmetalls sowie dem Al-Massenanteil an der Gesamtverpackung. Zudem gilt es zu unterscheiden, ob die Verpackung eine Aluminiumfolie enthält, oder ob diese nur mit Aluminium bedampft ist¹³.

Übliche Verpackungen mit Aluminiumanteilen sind Joghurtbecher-Deckel, Vakuumverpackungen für Kaffee, Alu-Folien, Alu-Tuben, Tierfutterschalen, leere Tablettenverpackungen (Alu-Kunststoff-Blister) oder Kaffeekapseln. Aluminium kann dabei das originäre Zielmaterial der Verpackung sein oder insbesondere in Verbund mit den Zielmaterialien Kunststoff und PPK¹⁴ einen Minderanteil darstellen. Bei Verwendung von Al sowohl als Zielmaterial als auch als Minderanteil ist die Identifizierbarkeit anhand der Leitfähigkeit zu überprüfen.

¹³ Aufgedampfte Aluminiumschichten haben einen hohen Porenanteil, die Leitfähigkeit ist so deutlich eingeschränkt.

¹⁴ aber nicht FKN, dass in der Sortierkette vorgelagert als eigene Fraktion durch NIR-Detektion erzeugt wird

Operative Durchführung Bewertung

Tabelle 6-5: Bewertung des Kriteriums Leitfähigkeit

Aspekt	Erläuterung
Fachlicher Informationsbedarf zur Bewertung	Elektrische Leitfähigkeit bzw. Al-Anteil
Bewertungsmethode, Werkzeug	Ist Al das Material mit größten Gewichtsanteil an der Vp kann pauschal davon ausgegangen werden, dass die Verpackung mittels Wirbelstromscheider sortiert werden kann. Für den Fall von geringeren Al-Anteilen (Al-Minderanteil, dennoch ist Al Zielmaterial) sind im Zweifelsfall Anlagen- bzw. Technikumsversuche durchzuführen. Der Wirbelstromscheider muss in den wichtigsten Einstellparametern (siehe Abbildung 6.2) einem im realen LVP-Anlagenbetrieb eingesetzten Wirbelstromscheider entsprechen. Die zu prüfende Vp ist verschiedenen Lagemöglichkeiten auf dem Wirbelstromscheider zu testen. Wird die Vp in allen Lagen über den Trennscheitel hinaus ausgetragen, ist die Vp als elektrisch leitfähig zu bewerten.

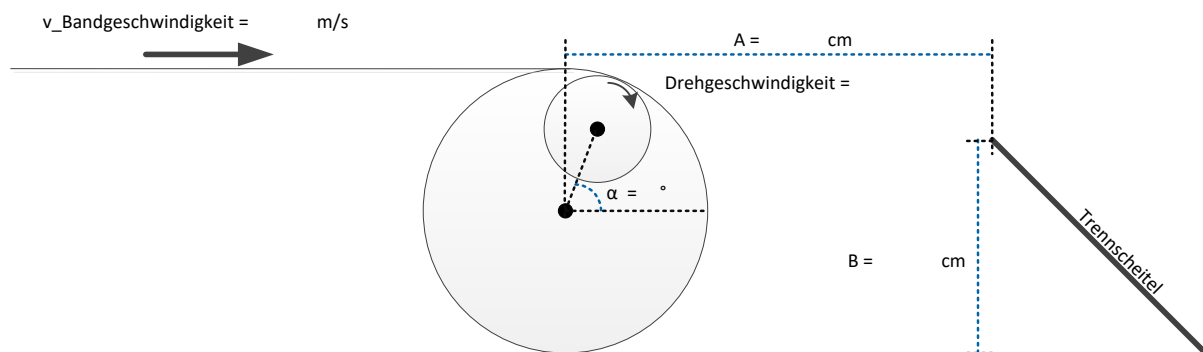


Abbildung 6-2: Skizze eines Wirbelstromscheidungers mit exzentrisch gelagertem Polrad und den wichtigsten Einstellparametern (Bandgeschwindigkeit, Winkel der Poltrommel, Drehgeschwindigkeit, Abstand und Höhe Trennscheitel)

Tabelle 6-6: Bewertung des Kriteriums elektrische Leitfähigkeit

	Vereinfachte Bewertung	Anlagen-/ Technikumsversuch
Klassifizierung / Bewertung	Al ist Zielmaterial und Material mit dem größten Gewichtsanteil an der Vp (z.B. Dose)	Al ist Zielmaterial, obwohl Al nicht den größten Gewichtsanteil an der Vp hat (z.B. metallhaltiger Verbund)
Detektion Al uneingeschränkt möglich.	Kein Versuch erforderlich, da pauschal angenommen wird, dass eine Detektion in jedem Fall gegeben ist	Detektion von Al findet in allen untersuchten Lagemöglichkeiten statt
Detektion Al eingeschränkt oder nicht möglich	-	Findet die Detektion von Al nur in einem Teil der untersuchten Lagen statt, wird das Sortierverhalten der Vp anhand des Materials mit größten Gewichtsanteil (z.B. Kunststoff, oder Papier) bewertet

6.4 Identifizierbarkeit Vp aus Kunststoff, FKN, PPK-Verbund bzw. PPK und Glas: Ist die Vp anhand der Oberfläche erkennbar? (Oberflächeneigenschaften)

Erläuterung

Das Kriterium der Oberflächeneigenschaften ist zentral für die Identifikation von Kunststoffverpackungen, Flüssigkeitskartons (FKN) und Papierverbunden (PPK). Mittels NIR (Nahinfrarot) Messtechnik werden in den meisten Sortieranlagen verschiedene Kunststoffarten (PET, PE, PP, PS, etc.) sowie deren Verbunde unterschieden und mittels Druckluft gezielt aus dem Abfallstrom ausgeblasen. Die Voraussetzung für eine erfolgreiche NIR Sortierung hängt von verschiedenen Faktoren ab:

- Detektierbarkeit des Zielmaterials an Oberfläche
 - Art des Oberflächenmaterials
 - Aufbau und Schichtdicken von Materialverbunden (Multilayer)
 - Oberflächenfarbe
 - Reflexionsverhalten
- Mehrere detektierbare Materialien haben Anteil an der Oberfläche (z. B. Flasche aus PE mit Deckel aus PP) und Lage der Verpackung auf dem Sortierband (insbesondere bei flächigen Verpackungen mit Multilayeraufbau können je nach Seite, die der Trenneinheit zugewandt ist verschiedene Materialien detektiert werden)

Die Oberflächenfarbe sowie deren Reflexionsverhalten sind entscheidende Faktoren, die maßgeblich die Sortierbarkeit beeinflussen. Oberflächen, die spiegeln oder metallisch beschichtet sind, reflektieren die nahinfrarote Strahlung unspezifisch, so dass eine Detektion des Materials nicht möglich ist. Dunkle oder schwarze Materialien absorbieren die Nahinfrarotstrahlung. Eine Reflexion hin zur Detektoreinheit wird verhindert. Eine Erkennung des Materials und somit ein Austrag in die Zielfraktion ist nicht möglich. Auf diese Art beschichtete oder dunkel gefärbte Kunststoffe können nicht in den richtigen Verwertungspfad überführt werden und gelangen in die Fraktion der Sortierreste oder Mischkunststoffe.

Problematisch für die Identifikation sind außerdem Verpackungen, die aus mehreren Materialien bestehen. Grundsätzlich kann eine Verpackung aus einem Multilayer (verschiedene Materialschichten) und/oder mehreren Verpackungsteilen, wie z.B. Packhilfsmitteln aufgebaut sein. Die NIR-Erkennung von Verpackungen mit Multilayern wird durch den Schichtaufbau, die jeweiligen Schichtdicken, die eingesetzten Materialien und individuellen Einstellungen des NIR Sortierers beeinflusst. Auch eine vollständige Beschichtung mit Fremdmaterial könnte prinzipiell zu einer korrekten Identifikation des Zielmaterials führen, wenn die Schichtdicke des Fremdmaterials ausreichend gering und das Reflexionsverhalten günstig ist.

Letztendlich ist aber entscheidend, an welchen Stellen auf der Oberfläche gemessen wird. Die Wahrscheinlichkeit einer korrekten Zuordnung zur Zielfraktion steigt mit dem Oberflächenanteil des Zielmaterials. Wird die Oberfläche des Zielmaterials mit mehr als 30 % Fremdmaterial¹⁵ bedeckt ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass keine richtige Identifikation des Zielmaterials stattfindet. Etiketten, Aufdrucke oder Banderolen können sich so negativ auf die NIR Erkennbarkeit des Zielmaterials auswirken, wenn diese nicht aus dem Zielmaterial bestehen. Auch

¹⁵ Plastics Recyclers Europe: www.plasticsrecyclers.eu

Verschlussysteme (Deckel, Kappen, Schraubverschlüsse, Siegelfolien, Ausgiesser, Dispenser, etc.) aus Fremdmaterial können verhindern, dass die Verpackung der richtigen Zielfraktion zugeordnet wird. In beiden genannten Fällen besteht die Gefahr, dass das Material des Packhilfsmittels detektiert wird. Dies hängt zusätzlich von der Lage der Verpackung auf dem Sortierband (insbesondere bei flächigen Packmitteln) und zum anderen von den technischen Spezifikationen des NIR-Trenners ab.

Eine Sonderstellung nehmen große, flächige, formflexible Kunststoffe (Folien) ein.

Flächige Verpackungen erschweren bzw. verhindern, insbesondere durch Bedeckung, die Identifikation anderer Verpackungen. Außerdem lassen sich Kunststoff-Folien schwerer mittels NIR Technik abtrennen, da das Flugverhalten während des Ausblasens diffus ist. Auch können formflexible Kunststoffe bei hohen Bandgeschwindigkeiten auf dem NIR Detektionsband ihrer Position ändern. Ein zielgerichtetes Ausblasen ist nicht mehr gegeben. Um diesen Effekten vorzubeugen werden großflächige, formflexible Kunststoffe mittels Windsichter bereits am Beginn des Sortierprozesses ausgeschleust und i.d.R. nach manueller Produktkontrolle als separate Fraktion der weiteren Verwertung zugeführt.

Für diese Verpackungen kann eine Identifizierung bzw. Sortierung auch über das Flächengewicht anstelle die NIR-Detektion der Oberfläche erfolgen. Im Rahmen dieser Bewertungsmethodik wird ab einer Fläche > DIN A4 von einem Austrag, unabhängig von den anlagenspezifischen Aggregat Einstellungen, ausgegangen.

Verpackungen aus Glas und PPK werden getrennt vom LVP-Gemisch als Monomaterial erfasst. Eine Identifizierung von PPK (über NIR) und Glas (über optische Sortierung) als Zielmaterial findet deshalb nicht im Rahmen einer LVP-Sortierung, sondern nach materialspezifischer, getrennter Erfassung im eigentlichen werkstofflichen Verwertungsprozess statt. Dessen unbenommen wird die Bewertung der Identifizierbarkeit aus Gründen der Übersichtlichkeit formal Ebene 2 zugeordnet. Im Regelfall (Ausnahmen siehe [Tabelle 6-7]) kann die Identifizier- bzw. Sortierbarkeit von Vp aus Glas und PPK als gegeben angenommen werden.

Operative Durchführung Bewertung

Tabelle 6-7: Bewertung des Kriteriums Oberflächeneigenschaft

Aspekt	Erläuterung
Fachlicher Informationsbedarf zur Bewertung	<ol style="list-style-type: none"> 1. Farbe und Reflexionsverhalten der Oberfläche/n 2. Bei verschiedenen Oberflächenmaterialien: Aufteilung der Oberfläche in Prozent (zusätzlich Lageabhängigkeit) 3. Sonderfall formflexible Kunststoffe: Fläche, Abmessungen der Verpackung.

Bewertungsmethode,
Werkzeug

Nach [ZSVR 2024] ist eine empirische Prüfung der Identifizier-/ Abtrennbarkeit in Versuchen in der Regel nicht erforderlich. **Verpackungsmerkmale, die aber eine Prüfung Identifizier-/ Abtrennbarkeit durch Versuche erfordern sind:**

Kunststoffverpackungen

- großflächige Etikettierung (> 50 % der Oberfläche) mit Fremdmaterial
- Fullsleeve-Etikettierung (Ausnahme: Fullsleeves ohne Lichtbarriere von PET-Hohlkörpern – clear oder light blue – bei Verwendung von OPS-, PET- oder PO-Sleeves)
- Multilayer-Aufbau (außer: PE-/ PP-EVOH)
- Metallisierung (außer inwendig / in der Mittelschicht metallisiert)
- Farbgebung unter Verwendung rußbasierter Farbstoffe (auch bei Verwendung in innenliegenden Layern)
- > 50 % vollflächig schwarz bedruckt (inkl. Fondfarbe) unter Verwendung rußbasierter Pigmente
- unterschiedliche Kunststoffarten auf Vorder- und Rückseiten
- Großflächig (> 50% der projizierten Fläche) aufgebrauchte Metallpigmente (Lackierung, Beschichtung oder Prägung)
- Netze

Faserbasierte Verbundverpackungen / PPK-Verbunde

- vollflächig lackierte Oberfläche
 - außer klare Schutzlacke bis zu einer Lackstärke <= 5 Mikrometer oder
 - außer innenliegend bei Beuteln, Tüten und Tragetaschen, wenn die Papiergrammatur mindestens 100 g/m² beträgt
- kunststoffbeschichte Oberfläche
 - außer innenliegend bei Beuteln, Tüten und Tragetaschen, wenn die Papiergrammatur mindestens 100 g/m² beträgt
- großflächig (> 50 % der projizierten Fläche) aufgebrauchte Metallpigmente (Lackierung, Bedruckung, Beschichtung oder Prägung)
- schwarz durchgefärbt unter Verwendung rußbasierter Pigmente
- >50 % vollflächig schwarz bedruckt (inkl. Fondfarbe) unter Verwendung rußbasierter Pigmente

Faserbasierte Verpackungen / PPK-Verpackungen

- vollflächig lackierte Oberfläche
 - (außer klare Schutzlacke bis zu einer Lackstärke <= 5 Mikrometer oder
 - außer innenliegend bei Beuteln, Tüten und Tragetaschen, wenn die Papiergrammatur mindestens 100 g/m² beträgt
- kunststoffbeschichte Oberfläche
 - außer innenliegend bei Beuteln, Tüten und Tragetaschen, wenn die Papiergrammatur mindestens 100 g/m² beträgt
- - großflächig (> 50 % der projizierten Fläche) aufgebrauchte Metallpigmente (Lackierung, Bedruckung, Beschichtung oder Prägung)

FKN

- vom Standardaufbau (nicht nassfest ausgerüsteter Karton, PE ± Alu) abweichende Ausführung

- großflächig (> 50 % der projizierten Fläche) aufgebrauchte Metallpigmente (Lackierung, Bedruckung, Beschichtung oder Prägung)
- -> 50 % vollflächig schwarz bedruckt (inkl. Fondfarbe) unter Verwendung rußbasierter Pigmente

Glas

- fehlende Transparenz bzw. Transluzenz (Detektion mit optischen Sortiereinheiten im ultravioletten bzw. sichtbaren Lichtwellenbereich (Wellenlängenbereich 400 nm-780 nm))

Die Bewertung erfolgt über

- augenscheinliche Einschätzung, ob Verpackungsmerkmale vorliegen, die eine Prüfung erfordern (andernfalls wird eine uneingeschränkte Identifizierbarkeit der Vp angenommen)
- im Sonderfall formflexibler Kunststoffe: Bestimmung mittels augenscheinlicher Betrachtung bzw. Vermessen der Verpackungsprobe
- Versuch zur Bewertung der Identifizierbarkeit (falls entsprechende Verpackungsmerkmale vorhanden)

Nach [ZSVR 2024] soll die Prüfung mit einer betriebsüblichen Detektionseinheit erfolgen. Für einen Versuch wird folgende Durchführung vorgeschlagen: In mindestens 10 Durchläufen wird die Verpackung, z.B. durch Aufwerfen oder Fallenlassen auf das Zuführband, dem NIR-Trennaggregat zugeführt (über die zufällige Aufgabeposition soll die in der Realität zu erwartende Lage der Verpackung berücksichtigt werden) und die prozentuale Zuordnung zu den Sortierfraktionen in die die Verpackung ausgetragen wird über alle Durchläufe ermittelt.

Tabelle 6-8: Bewertung des Kriteriums Oberflächeneigenschaft

Klassifizierung / Bewertung	Vereinfachte Bewertung	Versuch (erforderlich falls Merkmal nach [ZVSR 2024 Anhang 2] vorhanden)
Detektion und Abtrennbarkeit Zielmaterial uneingeschränkt möglich.	Es liegt kein Verpackungsmerkmal nach [ZVSR 2024 Anhang 2 bzw. Tabelle 6-7] vor oder die Verpackung hat eine Fläche deutlich >DIN A4 (Sonderfall formflexibler Kunststoff)	Eine richtige Zuordnung des Zielmaterials findet in mindestens 95% aller Durchläufe statt.
Detektion und Abtrennung Zielmaterial eingeschränkt		Eine richtige Zuordnung des Zielmaterials findet in 75 % bis 95% aller Durchläufe statt.
Detektion und Abtrennung Zielmaterial deutlich eingeschränkt		Eine richtige Zuordnung des Zielmaterials findet in 75 % bis 50% aller Durchläufe statt.
Detektion und Abtrennung Zielmaterial nicht möglich		Eine richtige Zuordnung des Zielmaterials findet in weniger als 50% aller Durchläufe statt.

7 Ebene 3: Eignung für werkstoffliche Verwertung und Bereitstellung von Sekundärprodukten

Ausgangspunkt für die Bewertung in Ebene 3 ist, dass die Verpackung i.d.R. in die für das Zielmaterial vorgesehene Fraktion sortiert wird.

In Sonderfällen, bei LVP-Materialien bei denen die Sortierbarkeit des Zielmaterials nicht gegeben ist, ist in Ebene 3 anstelle der für das Zielmaterial vorgesehenen Fraktion, die für die Verpackung tatsächliche zu erwartende Sortierfraktion bzw. deren Verwertungsweg zu bewerten. Das zugehörige Entscheidungsrastrer ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

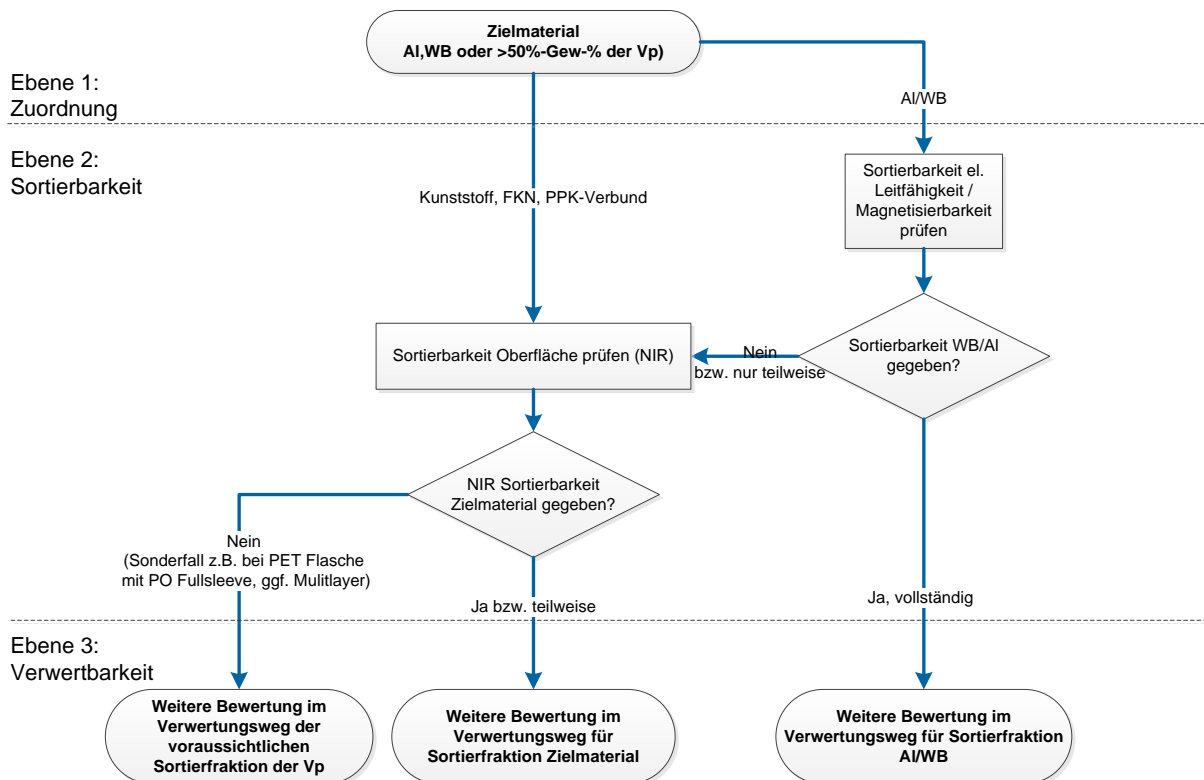


Abbildung 7-1: Auswahl des Verwertungsweg zur Bewertung in Ebene 3 für gemischt erfasste Verpackungen (LVP).

7.1 Kann für die Vp eine hochwertige Verwertung erwartet werden? (Hochwertigkeit Verwertungsweg)

Die aus der LVP-Sortierung erzeugten und als Ballenware gepressten Fraktionen und die materialspezifisch getrennt erfassten Verpackungen aus PPK und Behälterglas gehen der Verwertung zu. Die Vermarktung ist stark abhängig von der Materialqualität und den aktuellen Vermarktungspreisen. Im Status-Quo werden sortierte Kunststoffe (PP, PE, PET, PS, Folien), Metalle, Flüssigkeitskartons, PPK und Behälterglas, abgesehen von materialfremden Anteilen in der Regel werkstofflich verwertet und als Sekundärprodukte wieder der Kunststoff verarbeitenden Industrie oder AI-, Stahl-, Glas- und Papierherstellern zugeführt.

Die hier vorgestellte Methode zur Bewertung der Recyclingfähigkeit priorisiert hochwertige werkstoffliche Aufbereitungswege mit Blick auf den potenziellen Wiedereinsatz der Verwer-

tungsprodukte als Substitut entweder für das originäre Primärmaterial. Ausschließlich energetisch verwertete Verpackungen werden grundsätzlich als nicht recyclingfähig im Sinne dieser Methode eingestuft.

Die Bewertung der Recyclingfähigkeit erfolgt in Bezug auf die heute in Deutschland relevanten eingesetzten, materialspezifischen Erfassungs- und Verwertungsprozesse. Heute steht nur für ausgewählte Verpackungsmaterialien eine hochwertige werkstoffliche Verwertung grundsätzlich zur Verfügung. Diese Verpackungsmaterialien sind Eisen, Aluminium, Behälterglas, PPK, FKN und die Kunststoffarten PE, PP, PS und PET (z.B. transparente Flaschen. Für andere Verpackungsmaterialien (z.B. PVC, biologisch abbaubare Kunststoffe, Holz) ist demzufolge derzeit keine Recyclingfähigkeit anzunehmen¹⁶.

Für sortierte Mischfraktionen aus anderen PET-Packmitteln (z.B. Trays, Blister) finden sich heute kaum Abnehmer für eine werkstoffliche Verwertung, da unterschiedliche PET-Arten zum Einsatz kommen, die gemeinsam nicht bzw. kaum werkstofflich verwertbar sind.

Diese Schwierigkeiten führen dazu, dass derzeit nahezu ausschließlich PET-Flaschen einer hochwertigen werkstofflichen Verwertung zugeführt werden, während übrige PET-Fraktionen (z.B. PET-Schalen) meist energetisch verwertet werden [Öko-Institut 2016].

In der folgenden Tabelle sind die im Status quo zu erwartenden Aufbereitungswege und eine Einschätzung mit Blick auf die Hochwertigkeit zusammengefasst.

Tabelle 7-1: Übersicht Verwertungswege

Sortierfraktion	Wertstoff	Erwartete Verwertung bezüglich Wertstoff [ZVSR 2024]	Ausschluss [ZVSR 2024]
PE, formstabil, halb-starr	Für Blasform- oder Spritzgussprodukte: HDPE (PO)	Hochwertig werkstofflich	Kartuschen für Dichtmassen
PP, formstabil, halb-starr	Für Spritzgussprodukte oder Thermoforms: PP (PO)	Hochwertig werkstofflich	Kartuschen für Dichtmassen
PS, formstabil, halb-starr	Für Spritzgussprodukte: PS, formstabiler PE und PP-Anteil	Nur begrenzt hochwertig werkstofflich	geschäumter Kunststoffe inkl. EPS-Artikel
PET-Flaschen transparent, klar oder bunt (PET-A)	Für Flaschen (nicht kontaktsensitiv) oder Thermoforms oder Verpackungsband: PET; PO aus Verschlüssen	Hochwertig werkstofflich	opake PET-Flaschen und andere PET-Artikel
Sonstige PET-Verpackungen (PET-A) wie Schalen, Stülpedeckel, Becher, sonst. thermoforms	Für Thermoforms oder Verpackungsband: PET	Überwiegend energetisch / nur im Einzelfall hochwertig werkstofflich	-
PE, großformatige Folien ≥ DIN A4	Für Blasfolie und Spritzgussprodukte: LDPE (PO)	Hochwertig werkstofflich	Aluminiumbedampfte Kunststoffe
PP, großformatige Folien ≥DIN A4	Für Spritzgussprodukte oder Thermoforms: PO	Nur begrenzt hochwertig werkstofflich	Aluminiumbedampfte Kunststoffe

¹⁶ So sind heute die Mengen aus Verpackungsabfällen aus biobasierten Polymeren (z.B. PLA-/ Stärkeblends) im LVP-Strom noch zu gering, um ein grundsätzlich mögliches aber noch unwirtschaftliches sorten- bzw. typenreines werkstoffliches Recycling durchzuführen.

Sortierfraktion	Wertstoff	Erwartete Verwertung bezüglich Wertstoff [ZVSR 2024]	Ausschluss [ZVSR 2024]
PE, flexibel < DIN A4	Für Blasfolie und Spritzgussprodukte: PO	Nur begrenzt hochwertig werkstofflich	
PP, flexibel < DIN A4	Für Spritzgussprodukte oder Thermoforms: PO	Nur begrenzt hochwertig werkstofflich	
EPS	EPS	Überwiegend energetisch / nur im Einzelfall hochwertig werkstofflich	
FKN (Kartonverbundmaterialien aus Karton/PE oder Karton/Aluminium/PE)	Faserstoffanteil (für Wellpappenrohpa-piere) PO-Anteil (für Spritzgussprodukte) und Al-Anteil	Hochwertig werkstofflich	Sonstige Artikel aus Papier, Pappe, Karton
Sonstige faserbasierte Verbundverpackungen (ohne metallische Hauptkomponente) (→PPK aus LVP) wie kaschierte Faltschachteln, Kombidosen, beschichtete Papiere, beidseitig beschichtete Pappbecher, Wickler, etc	Für Wellpappenrohpa-piere: Faserstoffanteil	Nur begrenzt hochwertig werkstofflich ¹⁷	Flüssigkeitskar-tons, Wachs-, Pa- raffin-, Bitumen- und Ölpapiere
PPK-Verpackungen, ohne Verbunde wie Wellpappe, Faltschach- teln, Papiertüten, etc.	Faserstoffanteil	Hochwertig werkstofflich ¹⁸	Flüssigkeitskar- tons, Wachs-, Pa- raffin-, Bitumen- und Ölpapiere
Weißblech und Fein- blechverpackungen so- wie Weißblech enthal- tende Verbunde wie z.B. Konserven, Aero- sol-, Lack- und Farbdosen, Blecheimer, Kom- bidosen mit Weißblech- boden	Fe- und Al-Anteil	Hochwertig werkstofflich	

¹⁷ Für Verpackungen mit flüssigen oder pastösen Füllgütern ist ein Einzelnachweis nach Kapitel 4.2 [ZSVR 2022] zu erbringen.

¹⁸ Für Verpackungen mit flüssigen oder pastösen Füllgütern ist ein Einzelnachweis nach Kapitel 4.2 [ZSVR 2022] zu erbringen.

Sortierfraktion	Wertstoff	Erwartete Verwertung bezügl Wertstoff [ZVSR 2024]	Ausschluss [ZVSR 2024]
Aluminium-verpackungen und Verbunde auf Aluminiumbasis (wie z.B. Konserven- Aerosoldosen, Schalen, Tuben) oder aluminiumfolienhaltige Verbundverpackungen, Tablettenblister, Standbodenbeutel, Trocken-suppentüten, Tuben	Al- und Fe-Anteil Für Al-Verbunde nur Al-Anteil	Hochwertig werkstofflich	
Behälterglas und Glasverpackungen	Glas-Anteil; Fe- und Al-Anteil aus Deckeln und Verschlüssen	Hochwertig werkstofflich	Bleiglas, nicht aufbereitetes Sicherheitsglas, Glaskeramik, Leuchtmittel, TV-Glas, Quarzglas und sonstige bleihaltige Gläser

Operative Durchführung Bewertung

Tabelle 7-2: Bewertung des Kriteriums Hochwertigkeit Verwertungsweg

Aspekt	Erläuterung
Fachlicher Informationsbedarf zur Bewertung	Zu erwartender Verwertungsweg für die Verpackung
Bewertungsmethode, Werkzeug	Festlegung der erwarteten Sortierfraktion (siehe Abbildung 7-1) und Zuordnung eines erwarteten Aufbereitungsweges (siehe Tabelle 7-1).

Tabelle 7-3: Bewertung des Kriteriums Hochwertigkeit Verwertungsweg

Klassifizierung / Bewertung	Erläuterung Einordnung
Erwarteter Aufbereitungsweg für das Zielmaterial ¹⁹ der Verpackung ist hochwertig werkstofflich	Sortierfraktion Folien, PP, PE, FKN, NE-Metalle, PET (transparente Flaschen) Weißblech, PPK oder Behälterglas
Erwarteter Aufbereitungsweg für das Zielmaterial der Verpackung ist überwiegend hochwertig werkstofflich	<ul style="list-style-type: none"> • PS, formstabil, halbstarr • PP, großformatige Folien ≥DIN A4 • PE, flexibel < DIN A4 • PP, flexibel < DIN A4
Erwarteter Aufbereitungsweg für das Zielmaterial der Verpackung ist nur zum Teil hochwertig werkstofflich	<ul style="list-style-type: none"> • PPK aus LVP
Erwarteter Aufbereitungsweg für das Zielmaterial der Verpackung ist nur im Einzelfall hochwertig werkstofflich bzw. der Aufbereitungsweg für das Zielmaterial der Verpackung ist ausschließlich energetisch	<ul style="list-style-type: none"> • Sonstige PET-Verpackungen (PET-A) (Ausnahme in Einzelfall auf Nachweis) • EPS (Ausnahme in Einzelfall auf Nachweis) • Zielmaterial ist <u>nicht</u> WB / Fe, Aluminium, Behälterglas, Getränkekarton, PPK, PE, PP, PS oder PET oder • Sortierreste sind als erwartete Fraktion nach der Sortierung anzunehmen • Verpackung aus einer Sortierfraktion (siehe Spalte 4 Tabelle 7-1) ausgeschlossen

Sofern im Einzelfall das Vorhandensein der für die hochwertige werkstoffliche Verwertung notwendigen Infrastruktur sowie deren Nutzung belegt werden können, kann eine Ausnahme gelten. Ein solcher Beleg muss für den jeweiligen Einzelfall umfassen: Nachweis, dass das Ergebnis des Recyclingverfahrens hochwertig im Sinne des Mindeststandards ist und wiegescheingestützter Nachweis über die in angemessenem Umfang erfolgte Belieferung des Verwertungsweges [ZSVR 2024].

¹⁹ In Sonderfällen, bei LVP-Materialien, bei denen die Sortierbarkeit des Zielmaterials nicht gegeben ist, ist in Ebene 3 anstelle der für das Zielmaterial vorgesehenen Fraktion, die für die Verpackung tatsächliche zu erwartende Sortierfraktion bzw. deren Verwertungsweg zu bewerten.

7.2 Verpackungskunststoffe (PE, PP, PS, PET)

7.2.1 Enthält die Vp nicht-verwertbare Anteile, die im Rahmen der Aufbereitungsschritte abgetrennt werden können? (abtrennbare Verpackungsbestandteile)

Erläuterung

Bei der Aufbereitung der Standard-Verpackungskunststoffe gibt es einzelne materialfremde Verpackungsbestandteile, die im Aufbereitungsprozess stören oder die Qualität des Recyclingprodukts möglicherweise negativ beeinflussen. Einige solcher nicht-verwertbaren Verpackungsanteile können jedoch in der Regel in den verschiedenen Schritten des Aufbereitungsprozesses (Wäsche, Schwimm-Sink-Trennung, Schmelzextrusion) abgetrennt werden.

- Die Wäsche wird in der Regel im wässrigen Medium durchgeführt. Ziele der Wäsche sind die Reinigung von Produktanhaftungen und das Ablösen bzw. Abtrennen von Etiketten, fremden Materialien und anderen störender Bestandteilen wie z.B. Aufdrucken.
- Anschließend wird in der Regel eine Dichte-Trennung (Schwimm-Sink-Trennung) der vorab zerkleinerten und gewaschenen Verpackung vorgenommen, sodass die gewünschte Kunststofffraktion weiter angereichert werden kann. Mithilfe von Wasser werden Kunststoffsorten mit einer Dichte größer bzw. kleiner 1 g/cm^3 voneinander trennt. Bei der Aufbereitung von Polyolefinen (Dichte $< 1 \text{ g/cm}^3$) können Kunststoffe und andere Materialien mit einer Dichte $> 1 \text{ g/cm}^3$ als Sinkfraktion abgetrennt werden. An ihre Grenzen stößt die Dichtentrennung bei Kunststoffarten mit geringen Dichteunterschieden. So können Kunststoffe mit einer ähnlichen Dichte wie PP und PE nicht voneinander getrennt werden. Hier können spezielle Flüssigkeiten mit einer Dichte, die zwischen denen der Zielkunststoffe liegt, zum Einsatz kommen. Dies wird jedoch eher selten praktiziert. Bei dem Recycling von PET ($> 1 \text{ g/cm}^3$) können durch die Schwimm-Sink-Trennung insbesondere Verschlüsse, welche zumeist aus PE-HD bestehen, abgetrennt und verwertet werden. Die zerkleinerten Verschlusssteile landen dann in der Leichtfraktion und werden so vom nicht schwimmenden PET abgetrennt. Auch PS ($> 1 \text{ g/cm}^3$) wird als Sinkfraktion gewonnen und von spezifisch leichteren PO-Anteilen befreit. Die Veränderung der Dichte des originären Verpackungsmaterials, z. B. durch die Verwendung von Blends und Additiven, kann einen Eintrag von Verunreinigungen in die Zielfraktion des Trennschritts oder eine Ausschleusung von eigentlich erwünschten Kunststoffsorten aus der Zielfraktion zur Folge haben.
- Bei der weiteren Aufbereitung von Kunststofffraktionen steht die Gewinnung von Regranulaten (ohne Zusätze) oder Regeneraten (mit Zusätzen) im Umschmelzprozess im Mittelpunkt. Beim Extrudieren / Schmelzprozess gehen diejenigen Anteile in das Regranulat mit über, welche eine niedrigere Schmelztemperatur im Vergleich zu Verarbeitungstemperatur haben. Sie können dort zur Verschlechterung der Eigenschaften des Produktes führen (ausführlich Kapitel 7.2.2). Als potenziell problematisch erweist sich dabei die Verarbeitung von Verbundmaterialien, Blends und Kunststoffen mit Additiven. Höher schmelzende Bestandteile können mittels Schmelzfiltration zwar als Rückstand abgetrennt und ausgebracht werden, erhöhen allerdings den Reinigungsaufwand für das Filtersieb und führen auch zu Ausbeuteverlusten an Zielmaterial im Rahmen der Filtration. Niedrig schmelzende Bestandteile gelangen hingegen ins Rezyklat und/oder zersetzen sich vorab, was zu einer Verschlechterung der mechanischen und optischen Eigenschaften des Rezyklates führt.

Es folgt ein Überblick von Stoffen, die im Rahmen der oben genannten Aufbereitungsschritte abgetrennt werden können.

Tabelle 7-4: Überblick der abtrennbaren, nicht-verwertbaren Verpackungsbestandteile (nach European PET Bottle Platform und Plastics Recyclers Europe).
Verarbeitungstemperaturen für Neuware nach Saechtling²⁰.

	Wäsche der zerkleinerten Verpackungsteile	Dichte-Trennung der zerkleinerten, gewaschenen Verpackungsteile	Umschmelzprozess der Zielfraktion aus der Dichtentrennung
PE-HD	Klebstoffe (wasserlöslich unter 60 °C), Papieretiketten	Verpackungsteile, Stoffe mit Dichte > 1 g/cm ³ : PS, PET, PVC, EVA mit Aluminium	Verpackungsbestandteile, Stoffe, etc. mit einer Schmelztemperatur größer Verarbeitungstemperatur (ca. 160-220°C)
PE-LD	Klebstoffe (wasserlöslich unter 60 °C), Papieretiketten	Verpackungsteile, Stoffe mit Dichte > 1 g/cm ³ : PS, PET, PVC, EVA mit Aluminium	Verpackungsbestandteile, Stoffe, etc. mit einer Schmelztemperatur größer Verarbeitungstemperatur (ca.180-250°C)
PP	Klebstoffe (wasserlöslich unter 80 °C, Papieretiketten)	Verpackungsteile, Stoffe mit Dichte > 1 g/cm ³ : PS, PET, PVC, EVA mit Aluminium	Verpackungsbestandteile, Stoffe, etc. mit einer Schmelztemperatur größer Verarbeitungstemperatur (ca.200-270°C)
PET, transparente Flaschen	Klebstoffe (wasser- oder alkalilöslich im Temperaturbereich 60 – 80 °C), Papieretiketten	Verpackungsteile, Stoffe mit Dichte < 1 g/cm ³ : PE, PP, geschäumtes PET, OPP, EPS	Verpackungsbestandteile, Stoffe, etc. mit einer Schmelztemperatur größer Verarbeitungstemperatur (ca.260-300°C)
PS	Klebstoffe (wasserlöslich), Papieretiketten	Verpackungsteile, Stoffe mit Dichte < 1 g/cm ³ : PE, PP, geschäumtes PET, OPP, EPS und mit Dichte >1,08 g/cm ³ : PET, Al	Verpackungsbestandteile, Stoffe, etc. mit einer Schmelztemperatur größer Verarbeitungstemperatur (ca.170-280°C)

PO-Anteile an transparenten PET-Flaschen (insb. Verschlüsse) können im Rahmen der PET-Aufbereitung (Schwimmfraktion der Dichte-Trennung) für eine weitere stoffliche Verwertung abgetrennt werden. Analog kann auch für formstabile PE- und PP-Anteile, die beim PS-Recycling abgetrennt werden eine stoffliche Verwertung angenommen werden.

Bei den anderen Leicht- bzw. Schwerfraktionen aus der Dichtentrennung weiterer Kunststoffarten ist zumeist aufgrund der heterogenen Zusammensetzung (verschiedenste Kunststoffsorten bzw. Nicht-Kunststoff-Materialien) eine energetische Verwertung die einzige Lösung.

²⁰ Verarbeitungstemperaturen für Regranulate tendenziell geringer

Operative Durchführung Bewertung

Tabelle 7-5: Bewertung des Kriteriums der abtrennbare Verpackungsbestandteile

Aspekt	Erläuterung
Fachlicher Informationsbedarf zur Bewertung	<p>Beschreibung von Packmittel und Packhilfsmitteln (inkl. Klebstoffe) insbesondere hinsichtlich</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verwendeter Materialien (inkl. Zusammensetzung und Anteile), Massenanteilen, Aufbau • Löslichkeit der eingesetzten Klebstoffe • Dichte der eingesetzten Materialien, Schmelzpunkt bzw. Glasübergangstemperatur <p>durch Untersuchungen oder auf Basis valider Sekundärinformationen</p>
Bewertungsmethode, Werkzeug	<p>Falls keine validen Sekundärinformationen (z.B. Herstellerangaben bzw. Prozessenerfahrungen zu Unverträglichkeiten z.B. von Zuschlagstoffen, nicht-abtrennbaren Anteilen mit dem Zielmaterial) zu den Verpackungsmaterialien vorhanden, helfen Untersuchungen u.a. zur Löslichkeit, Dichte und Umschmelzverhalten im Labormaßstab:</p> <p>Einschätzung der Löslichkeit von Klebern / Etiketten: Es könnte z.B. analog der Vorgehensweise des Quick Test QT504 der European PET Bottle Platform (www.epbp.org/page/8/downloads) vorgegangen werden. Die Versuchsbeschreibung gilt für PET. Bei den weiteren Kunststofffraktionen kann in einer wässrigen Phase in den jeweils angegebenen Temperaturbereichen, analog zum beschriebenen Ablauf im Quick Test QT504 vorgegangen werden.</p> <p>Einschätzung des Schwimm-Sink-Verhaltens: Es könnte z.B. analog der Vorgehensweise des Quick Test QT502 der European PET Bottle Platform vorgegangen werden. Alternativ kann eine Dichtebestimmung von Verpackungsteile nach Zerkleinerung (nur nicht geschäumte Materialien) nach DIN 1183-1 vorgenommen werden.</p>

Tabelle 7-6: *Bewertung des Kriteriums abtrennbare, nicht verwertbare Verpackungsbestandteile²¹. Angaben in Massen-%. Leistungsstufen nach Anhang II der PPWR Abänderungen des europäischen Parlaments zum Vorschlag der Kommission vom 18.04.2024.als Zusatzinformation*

Klassifizierung / Bewertung	Erläuterung Einordnung	Leistungsstufen und nicht-verwertbare Anteile nach PPWR-Entwurf Anhang II ²²
Vp enthält <u>keine</u> abtrennbaren, nicht-verwertbaren Anteile	Die Sekundärinformationen zur Vp bzw. die durchgeführten Untersuchungen belegen, dass die Vp keine materialfremden und abtrennbaren Anteile enthält (Verpackung aus Monomaterial)	Stufe A (≤ 5%)
Vp enthält <u>geringe</u> Anteile	Die Sekundärinformationen zur Vp bzw. die durchgeführten Untersuchungen belegen, dass die Vp materialfremde und abtrennbare Anteile bis maximal 10% enthält.	
Vp enthält <u>signifikante</u> Anteile	Die Sekundärinformationen zur Vp bzw. die durchgeführten Untersuchungen belegen, dass die Vp materialfremde und abtrennbare Anteile zwischen 10% bis maximal 30% enthält.	Stufe B (>5% - ≤20%)
Vp enthält <u>erhebliche</u> Anteile	Die Sekundärinformationen zur Vp bzw. die durchgeführten Untersuchungen belegen, dass die Vp materialfremde und abtrennbare Anteile zwischen 30% bis maximal 50% enthält.	Stufe C (>20% - ≤30%)
Vp enthält <u>große</u> Anteile	Die Sekundärinformationen zur Vp bzw. die durchgeführten Untersuchungen belegen, dass die Vp materialfremde und abtrennbare Anteile von mehr als 50% enthält.	Technisch nicht recyclingfähig
Vp wird vollständig abgetrennt	Die Sekundärinformationen zur Vp bzw. die durchgeführten Untersuchungen belegen, dass die Vp z.B. durch nicht-abtrennbare materialfremde Anteile (z.B. Additive oder Verbunde) in ihren Eigenschaften so verändert wird (z.B. Dichte), dass sie komplett abgetrennt wird.	

7.2.2 Erfolgt über die Vp ein Eintrag von (nicht abtrennbaren) Verunreinigungen mit Risiko der Kontaminierung des Recyclingprodukts bzw. Störung des Recyclingprozesses? (Verunreinigungen mit Risiken)

Erläuterung

Stoffe mit eher **geringem Kontaminationsrisiko** sind im Verständnis dieser Methodik diejenigen Stoffe in der Verpackung, welche in der Regel konzentrationsabhängig, die optischen, mechanischen oder weiteren Eigenschaften des Rezyklats und damit die Vermarktbarkeit nicht

²¹ PO-Anteile aus der PET-Aufbereitung werden als abtrennbare aber verwertbare Anteile nicht berücksichtigt

²² Abänderungen des europäischen Parlaments zum Vorschlag der Kommission vom 18.04.2024 für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über Verpackungen und Verpackungsabfälle, zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/1020 und der Richtlinie (EU) 2019/904 sowie zur Aufhebung der Richtlinie 94/62/EG vom 18.04.2024.

Die genaue Berechnung der Leistungsstufen nach PPWR wird in delegierten Rechtsakten festgelegt. Die Angabe der Leistungsstufen dient zur Orientierung der Klassifizierung im Rahmen dieses Bewertungskatalogs, die nach eigenen Kriterien erfolgt.

wesentlich negativ beeinflussen. Das Rezyklat weist lediglich geringe Einschränkungen bei der Verarbeitbarkeit und dem nachgelagerten Einsatzgebiet auf.

Stoffe mit **erheblichem Kontaminationsrisiko** sind diejenigen Stoffe in der Verpackung, welche teils konzentrationsabhängig die optischen und mechanischen Eigenschaften so wesentlich negativ beeinflussen, dass das im Aufbereitungsprozess zu erwartende Produkt möglicherweise nicht mehr marktfähig ist und nur noch der energetischen Verwertung zugeführt werden kann. Das Rezyklat weist dann erhebliche Einschränkungen bei der Verarbeitbarkeit und dem nachgelagerten Einsatzgebiet auf.

In folgender Tabelle sind vereinfachend und nicht abschließend, typische Störstoffe dargestellt. Die Angaben wurden im Wesentlichen aus den Empfehlungen von [ZVSR 2024], Recyclclass²³ und [APR 2022] übernommen. Die Angaben in Tabelle 7-7 geben für die genannten Materialien dabei eine Einschätzung hinsichtlich der in der Realität zu erwartenden Prozessstörungen bzw. Verunreinigungen. Eine konkrete Bewertung würde in der Regel spezifische Untersuchungen erfordern. Für einige, spezifische Kontaminationen (nach [ZVSR 2024] und [APR 2021]) kann pauschal eine Recyclingfähigkeit der Verpackung ausgeschlossen werden.²⁴

Recyclingunverträglichkeit durch eingeschränkte Restentleerbarkeit von Kunststoffverpackungen

In der Verpackung nach Gebrauch verbleibende Restinhalte spezieller Füllgüter können die Aufwände für den Recyclingprozess der Verpackung erhöhen. Für die Füllgüter Silikone, Acrylate, Polyurethane und sonstige vernetzende Substanzen, Wachse und Paraffine sowie bituminöse Massen (Auswahl nach [ZSVR 2024]) wird deshalb die potenziell, eingeschränkte Restentleerbarkeit einer Kunststoffverpackung als Verunreinigung bewertet.

Bislang sind relevante Aspekte, die für eine spezifische Bewertung der Restentleerbarkeit von Verpackungen zu berücksichtigen sind, wie z.B. "bestimmungsgemäße Ausschöpfung" oder eine Mindestmengenschwelle für Füllgutreste" im Rahmen des Mindeststandard noch nicht spezifiziert. Bis dahin werden, entsprechend Mindeststandard, für Kunststoffverpackungen die Füllgüter Silikone, Acrylate, Polyurethane und sonstige vernetzende Substanzen, Wachse und Paraffine sowie bituminöse Massen als Recyclingunverträglichkeit bewertet. Der Grad der Kontamination (geringes, hohes Risiko bzw. nicht recyclingfähig) ist vom konkreten Füllgut abhängig, so dass die Bewertung anhand einer Einzelfallbewertung getroffen wird.

Die Einschätzung erfolgt bis auf Weiteres pauschal und nur auf Basis der Art des Füllgutes. Nicht berücksichtigt werden

- des Charakters des Füllgutes (z.B. fest, flüssig, zähflüssig),
- Menge des verbleibenden Restinhalts oder
- Merkmale der Verpackungsgestaltung, die eine Restentleerbarkeit erschweren können

²³ <https://recyclclass.eu/recyclclass/design-for-recycling-guidelines>

²⁴ Nach [ZSVR 2021] muss für eine davon abweichende Feststellung der Unschädlichkeit für die Recyclingfähigkeit unverträglicher Stoffe ein Einzelnachweis geführt werden.

Tabelle 7-7: Vereinfachter Überblick Verunreinigungen mit potenziellem Risiko (nach [ZVSR 2024], <https://recyclclass.eu/recyclclass/design-for-recycling-guidelines>, [APR 2021], siehe dort auch für ausführlichere Informationen auch zu weiteren Packmitteln).

Zielmaterial	Geringes Risiko	Hohes Risiko	Nicht recyclingfähig [ZVSR 2024]
PE, flexibel (für Blasfolien- und Spritzgussprodukte)	<p>Packmittelmateriale: Multilayer mit ≤5% PP</p> <p>Barrieren: ≤5% EVOH, metallisierte Barrierschichten</p> <p>≤1% PVOH (für farbige Folien nach Recyclclass)</p> <p>Verpackungsbestandteile: PP-, PPK</p> <p>Farben /Drucke: Aufdrucke <50% (transparente Folien) Aufdrucke >50% (farbige Folien) ≤0,8% NC-basierte Druckfarben (nach Recyclclass für farbige Folien)</p>	<p>Packmittelmateriale: Multilayer PE/PP mit >5% PP</p> <p>Barrieren: >5% EVOH, PVOH (transparente Folien und >1% für farbige Folien nach Recyclclass)</p> <p>Verpackungsbestandteile: Metallisierte Etiketten, alle weiteren Materialien mit Dichte <1g/cm³</p> <p>Farben /Drucke: Aufdrucke >50% (transparente Folien), blutende Farben, giftige, gefährliche Tinten >0,8% NC-basierte Druckfarben (nach Recyclclass für farbige Folien)</p>	<p>Faserhaltige Etiketten, wenn sich der Zelluloseanteil unter den Bedingungen einer Kaltwäsche nicht ablösen lassen</p> <p>PA-Schichten, aus Polyamid²⁵</p> <p>PE-X-Komponenten²⁶</p> <p>PVDC-Schichten</p> <p>sonstige Nicht-PE Polymerschichten (außer Haftvermittler, Klebstoffe, PP, EVA und EVOH)</p> <p>nicht-Polymer-Schichten (außer SiOx/AlOx/Metallisierung)</p> <p>NC-basierte Druckfarben im Zwischenlagendruck</p> <p>[APR 2024]: PVC</p>

²⁵ Einzelnachweis Polyamid-6 oder Co-Polyamid 6/6.6 in coextrudierten PE/PA(EVOH)-Folien in Kombination mit einem MAH-gepfropften PE als Haftvermittler (HV) in einem Verhältnis von mindestens 0,5 g HV pro g PA(+EVOH) bzw. Polyamid-6 in laminierten PE/PA-Folien in Kombination mit einem MAH-gepfropften PE als Verträglichkeitsvermittler (VV) in einem Verhältnis von mindestens 0,15 g VV pro g PA

²⁶ Einzelnachweis für PE-Xc < 50 kGy

Zielmaterial	Geringes Risiko	Hohes Risiko	Nicht recyclingfähig [ZVSR 2024]
PP-flexibel (für Spritzgussprodukte oder Thermofoms)	<p>Packmittelmaterial: Multilayer mit PE ($\leq 10\%$ nach Recyclclass),</p> <p>Barrieren: EVOH ($\leq 5\%$ nach Recyclclass), metallisierte Barrierschichten</p> <p>Verpackungsbestandteile: PE-, PPK</p> <p>Farben /Drucke:: Aufdrucke $< 50\%$ (transparente Folien) Aufdrucke $> 50\%$ (farbige Folien) Additiv: PBT Voiding Agent $< 5\%$ (nach Recyclclass für gefärbte Folien)</p>	<p>Verpackungsbestandteile: Metallisierte Etiketten, alle weiteren Materialien mit Dichte $< 1\text{g/cm}^3$</p> <p>Klebstoffe: nicht löslich</p> <p>Farben /Drucke: Aufdrucke $> 50\%$ (transparente Folien), blutende Farben, giftige, gefährliche Tinten,</p>	<p>Silikonkomponenten; geschäumte nicht thermoplastische Elastomere mit der Dichte $< 1\text{g/cm}^3$; geschäumte nicht-polyolefinische Komponenten; Faserhaltige Etiketten, wenn sich der Zelluloseanteil unter den Bedingungen einer Kaltwäsche nicht ablösen lässt.</p>
HDPE formstabil (für Blasform- oder Spritzgussprodukte)	<p>Barrieren: EVOH $< 1\%$²⁷</p> <p>Verpackungsbestandteile: (z.B. Kappen, Etiketten, Verschlüsse): PP $> 8\%$²⁸);</p> <p>Farben /Drucke: direkte Bedruckung (gefärbte Behälter)</p>	<p>Packmittelmaterial: Multilayer HDPE + (PLA, PVC, PS, PET, PETG)</p> <p>Barrieren: EVOH $> 1\%$; Aluminium</p> <p>Verpackungsbestandteile: Metallisierungen bzw. Al, PVC; foliertes Papier</p> <p>Farben /Drucke: blutende Farben, giftige, gefährliche Tinten, direkte Bedruckung (farblose Behälter),</p>	<p>Silikonkomponenten Faserhaltige Etiketten, wenn sich der Zelluloseanteil unter den Bedingungen einer Kaltwäsche nicht ablösen lässt PET-Sleeves Dichte $< 1\text{g/cm}^3$ PA-Barrieren PE-X-Komponenten PVDC-Barrieren Nicht-PO-Kunststoffe der Dichte $< 1\text{g/cm}^3$</p>

²⁷ Ausnahme EVOH $> 6.0\%$ in Kombination mit PE-g-MAH tie layers (MAH $> 0,1\%$) und EVOH zu tie layers Verhältnis ≤ 2
(<https://recyclclass.eu/de/novel-findings-for-functional-barriers-in-hdpe-containers/>)

²⁸ Annahme auf Basis ISD-Information.

Zielmaterial	Geringes Risiko	Hohes Risiko	Nicht recyclingfähig [ZVSR 2024]
PP formstabil (für Spritzgussprodukte oder Thermoforms)	Barrieren: EVOH < 1% ²⁹ Verpackungsbestandteile: (z.B. Kappen, Etiketten, Verschlüsse): PE > 8% ³⁰ Farben / Drucke: direkte Bedruckung (gefärbte Behälter)	Packmittelmaterial: Multilayer PP + (PLA, PVC, PS, PET, PETG) Barrieren: EVOH > 1%; Aluminium Verpackungsbestandteile: Metallisierung, Al, PVC, Klebstoffe: nicht löslich Farben / Drucke: blutende Farben, giftige, gefährliche Tinten, direkte Bedruckung (farblose Behälter),	Silikonkomponenten Komponenten geschäumter nicht thermoplastischer Elastomere Faserhaltige Etiketten, wenn sich der Zelluloseanteil unter den Bedingungen einer Kaltwäsche nicht ablösen lässt PET-Sleeves Dichte < 1g/cm ³ PA-Barrieren PVDC-Barrieren Nicht-PO-Kunststoffe der Dichte < 1 g/cm ³
PS formstabil (für Spritzgussprodukte)	Barrieren: EVOH Farben/Drucke: Aufdrucke < 50%	Barrieren: PA, PVDC Farben/Drucke: Aufdrucke > 50%	Fremdkunststoffe oder Multilayer der Dichteklasse Dichte 1,0 – 1,08 g/cm ³ Faserhaltige Etiketten, wenn sich der Zelluloseanteil unter den Bedingungen einer Kaltwäsche nicht ablösen lässt
PET-Flaschen Transparent (für Flaschen - nicht kontakt-sensitiv, Thermoforms oder Verpackungsband) und sonstige transparente, formstabile PET Verpackungen (Thermoforms oder Verpackungsband)	Additive, Füllstoffe: AA-/UV-Blocker, O ₂ -Absorber, Aufheller Etiketten: leicht metallisierte Etiketten, hot-melts Farben / Drucke: Direkte Bedruckung mit Produktionscode, MHD	Farben: transparente Farben außer „light-blue“, opake, fluoreszierende, metallische Flaschenfarbe Additive, Füllstoffe: bio- / oxo- / photochemisch abbaubare Additive, Nanokomposites Etiketten: stark metallisierte Etiketten, zerfaserbare Papieretiketten Klebstoffe: nicht löslich Farben / Drucke: Aufdruck mit blutenden Farben, giftige, gefährliche Tinten, direkter Aufdruck; PET mit wasserlöslicher Farbe	PET-G-Komponenten, POM-Komponenten, PVC-Komponenten EVOH-Schichten, Silikonkomponenten, PA-Monolayer-Schichten für transparente PET-Flaschen, farblos und „light-blue“ PVC-Etiketten/Sleeves, PS-Etiketten/Sleeves, PET-G-Etiketten/Sleeves, sonstige Etiketten/Sleeves/bedruckte Oberfolien mit Dichte (inkl. Druck und Lackierung) > 1g/cm ³ sonstige blended-barriers PA-Additivierung für transparente PET-Flaschen, farblos und „light-blue“ Nicht ablösbare (abwaschbare) Klebstoffapplikationen (in Wasser oder alkalisch bei 80°C) nicht magnetische Metalle Elastomerkomponenten der Dichte > 1 g/cm ³ Direktdruck (abgesehen von Produktionscode, MHD und UFI-Code61) [APR 2024]: Verpackungsbestandteile (Labels, Dosierer, etc..) mit PVC PLA

²⁹ Ausnahme analog HDPE formstabil

³⁰ Annahme auf Basis ISD-Information.

Operative Durchführung Bewertung

Tabelle 7-8: Bewertung des Kriteriums Verunreinigungen mit Risiken.

Aspekt	Erläuterung
Fachlicher Informationsbedarf zur Bewertung	Potenzielle Kontaminationen (ausführlich siehe https://recyclclass.eu/recyclclass/design-for-recycling-guidelines , [ZSVR 2024] [APR 2021]) vereinfacht dargestellt in Tabelle 7-7 in der Verpackung. Im Zweifelsfall weitere Untersuchungen und Recherchen zu möglichen Produkt- / Prozessrisiken von nicht abtrennbaren Materialkombinationen, Klebstoffen, Additiven, etc. Art des Füllgut: Silikone, Acrylate, Polyurethane, sonstige vernetzende Substanzen, Wachse / Paraffine oder bituminöse Massen f
Bewertungsmethode, Werkzeug	Laboruntersuchung mit entsprechender Analytik (z.B. DSC, Mikrotomschnitte, Füllstoffanalyse: TGA (Thermisch gravimetrische Analyse) oder Lösemittelbasierter Polymeraufschluss (IVV-Methode)).

Tabelle 7-9: Bewertung des Kriteriums Verunreinigungen mit Risiken.

Klassifizierung / Bewertung	Erläuterung Einordnung
Vp trägt keine störenden Verunreinigungen in das Produkt bzw. den Recyclingprozess ein	Keine störenden Verunreinigungen, die nicht abgetrennt werden können
Vp trägt störende Verunreinigungen mit geringem Kontaminationsrisiko für Recyclingprodukt bzw. -prozess ein	Die Vp enthält Bestandteile mit geringem Kontaminationsrisiko enthalten, die im Aufbereitungsprozess nicht abtrennbar sind (differenzierte Bewertung nach Anzahl der Arten an Verunreinigungen).
Vp trägt störende Verunreinigungen mit hohem Kontaminationsrisiko für Recyclingprodukt bzw. -prozess ein	Die Vp enthält Bestandteile mit hohem Kontaminationsrisiko, die im vorhergehenden Aufbereitungsprozess nicht abtrennbar sind (differenzierte Bewertung nach Anzahl der Arten an Verunreinigungen).
Vp trägt störende Verunreinigungen ein, die eine Recyclingfähigkeit ausschließen	Die Vp enthält Bestandteile für die eine Recyclingfähigkeit der Verpackung pauschal auszuschließen ist, unabhängig davon, ob diese im vorhergehenden Aufbereitungsprozess abzutrennen sind.

7.3 Faserbasierte Verpackungen (PPK-Verpackungen, PPK-Verbund) und FKN

7.3.1 Enthält die Vp nicht verwertbare Anteile, die im Rahmen der Aufbereitungsschritte abgetrennt werden können? (abtrennbare Verpackungsbestandteile)

Erläuterung

Das Ziel des Recyclings von PPK-Verpackungen besteht darin, den Faserstoffanteil aus der Verpackung über Zerkleinerung zurückzugewinnen. Für den Recyclingerfolg ist die Zerkleinerbarkeit des Faserstoffs entscheidend. PPK-Verpackungen werden zum Aufschluss der Fasern in einem Pulper behandelt. Dabei werden nicht nur Reste von Füllmaterial entfernt, sondern auch Produktanhaftungen und ggf. anhaftende Etiketten entfernt. Störende Anteile, die im Rahmen der Aufbereitungsschritte abgetrennt werden können, sind recyclingfreundliche Klebstoffe und

Druckerfarben, nassfeste Papiere, materialfremde Verschlusssysteme oder Heftklammern sowie EPS oder Kunststofffolien und Faseranteile, die sich im Rahmen des Aufschlusses nicht freilegen lassen. Beim Hindurchdrücken des Faserbreis durch die Siebköpfe werden in der Regel alle Stoffe, die sich nicht im vorherigen Pulperschnitt gelöst haben, abgetrennt und bedingen damit keine negative Beeinträchtigung des Materials. Dies ist allerdings auch immer mit einem Verlust an Fasermaterial verbunden. Außerdem können auch papierfremde Stoffe in die wässrige Phase übergehen.

Gegenüber dem Recycling von PPK-Verpackungen benötigt die Zerkleinerung von FKN und anderen Papierverbund-Materialien einen speziellen Prozess mit höheren Zerkleinerungszeiten und -energien sowie eine aufwändigere Rejekt-Linie.

Nicht verwertbare, abtrennbare Anteile werden im Altpapier unerwünschte Materialien genannt. Sie werden unterteilt in

- papierfremde Bestandteile wie Metalle, Kunststoffe, synthetische Materialien etc. und
- papierfremde Stoffe, die in die wässrige Phase übergehen (wasserlöslich, kolloidal gelöst oder feindispers und
- Papier, Pappe und Kartonagen, die als Rohstoff für eine normale Produktion ungeeignet sind (z. B. Verbunde von Papier mit Kunststoff und/oder Aluminium, nassfeste Papiere, wachshaltige Papiere, lackierte Papiere).

Operative Durchführung Bewertung

Tabelle 7-10: Bewertung des Kriteriums „abtrennbare Verpackungsbestandteile“

Aspekt	Erläuterung
Fachlicher Informationsbedarf zur Bewertung	Beschreibung von Packmittel und allen Packhilfsmitteln (inkl. Klebstoffe) insbesondere hinsichtlich <ul style="list-style-type: none"> • Verwendete Materialien (inkl. Zusammensetzung und Anteile), Massenanteilen, Aufbau • Anteil unerwünschter Materialien
Bewertungsmethode, Werkzeug	Bestimmung über Ermittlung der papierfremden Produktbestandteile (inkl. Stoffen, die in die wässrige Phase übergehen) und der Zerkleinerbarkeit nach PTS-Methode PTS-RH 025/2022 oder CEPI Recyclability Laboratory Test Method (CEPI) / 4evergreen). Den speziellen Prozessbedingungen beim Recycling von Papierverbunden und FKN, die notwendig sind, um den Faseranteil zurückzugewinnen ist Rechnung zu tragen.

Bewertung analog Tabelle 7-6.

7.3.2 Erfolgt über die Vp ein Eintrag von (nicht abtrennbaren) Verunreinigungen mit Risiko der Kontaminierung des Recyclingprodukts oder. Störung des Recyclingprozesses? (Verunreinigungen mit Risiken)

Erläuterung

Verunreinigungen mit eher geringem Risiko

Bei der Herstellung von Recyclingpapier sind in Abhängigkeit vom Zielprodukt optische Inhomogenitäten zu vermeiden. Es sollen keine Verunreinigungen in das Produkt eingetragen werden, welche in der Papierbahn als Schmutzpunkte oder anderweitig optische Abweichungen wahrgenommen werden können.

Weiterhin sind Bestandteile störend, die klebend sind, kleinteilig fragmentiert werden und wieder zusammenballen können (Stickys). Größere Stickys (über 2 mm äquivalenter Kreis-durchmesser) können durch die Prozesse der Stoffaufbereitung aussortiert werden. Kleinere Stickys können jedoch zu Ablagerungen an Papierbahn führenden Maschinenelementen führen, die Papierbahnabrisse und damit Produktionsausfälle auslösen.

Verunreinigungen mit erheblichem Risiko

Verunreinigungen mit erheblichem Risiko die Papierfasern negativ zu beeinflussen, sind alle Stoffe, welche die Papierfasern für den Wiedereinsatz unbrauchbar machen. Hierzu zählen Nassfestmittel und nicht lösliche dispergierende Klebstoffe.

Die European Printing Ink Association (EuPIA) hat eine Ausschlussliste³¹ an Stoffen und Materialien ausgegeben, welche aufgrund ihrer Schädlichkeit nicht mehr eingesetzt werden sollten. Komponenten aus der EUPIA-Liste sind in Verpackungen nicht zu erwarten. Von einer allgemeinen Prüfung kann abgesehen werden.

Bei Verwendung von Nassfestmitteln, Imprägniermitteln, Wachsen u. ä. sowie bei beidseitig beschichteten oder metallisierten Papieren und Kartons (außer Flüssigkeitskartons) sowie generell bei faserbasierten Verbundverpackungen und bei PKK-Verpackungen für nicht trockene Füllgüter, für z.B. Flüssigkeiten, bestimmte Lebensmittel, Öle und Emulsionen, ist die Feststellung einer Recyclingfähigkeit beispielsweise nach PTS Methode PTS-RH 025/2022 oder CEPI / 4evergreen erforderlich.

In der folgenden Übersicht sind Verunreinigungen mit potenziell geringem bzw. erheblichem Risiko für das Herstellen von Recyclingfasern zusammengefasst.

³¹ EuPIA Exclusion List for Printing Inks and related Products

Tabelle 7-11: Überblick zu Verunreinigungen mit potenziellem Risiko für Referenzanwendung Wellpappenroh papier

	Geringes Risiko	Nicht recyclingfähig [ZSVR 2024]
PPK, PPK-Verbund und FKN	<p>Wegen optischer Inhomogenität im aufbereiteten Stoff bedingt rezyklierbar (Bewertung nach CEPI / 4evergreen scorecard scorecard: minor or some visual quality issues)</p> <ul style="list-style-type: none"> Das Produkt ist rezyklierbar, aber wegen geringer Zerfaserbarkeit hinsichtlich der Produktgestaltung verbesserungswürdig (Bewertung nach PTS Methode PTS-RH 025/2022) 	<p>Polymere thermoplastische Dispersionsbeschichtungen sowie Schmelzklebstoffapplikationen, soweit nicht nachgewiesen wird, dass sie im Rezyklat keine Unverträglichkeiten hervorrufen.. Die in der EPRC-Scorecard³² genannten Ausnahmen für Schmelzklebstoffapplikationen gelten:</p> <ul style="list-style-type: none"> Klebstoff-Erweichungstemperatur (nach R&B): ≥ 68 °C Layer-Schichtdicke (nichtreaktiver Klebstoff): ≥ 120 μm Layer-Schichtdicke (reaktiver Klebstoff): ≥ 60 μm Horizontale Abmessungen der Klebstoffapplikation (in jede Richtung): $\geq 1,6$ mm <p>Erhebliche Einschränkungen durch klebende Verunreinigungen (Bewertung nach CEPI / 4evergreen scorecard: „significant adhesion issues“)</p> <ul style="list-style-type: none"> Im Papierrecycling nicht sinnvoll verwertbar wegen zu geringer Zerfaserbarkeit (Bewertung nach PTS Methode PTS-RH 025/2022) <p>Kunststoff-/Al-Anteile in FKN: PA-Schichten (für mögliche Einzelnachweise siehe Tabelle 7-7) PET im Verbund mit PE biologisch abbaubare Polymere Nicht-Polymer-Schichten (außer Aluminiumfoliensicht sowie SiOx/AIOx/Metallisierung); Nicht-PO-Kunststoffe der Dichte < 1 g/cm³</p>
	<p>Hohes Risiko</p> <ul style="list-style-type: none"> Erhebliche Einschränkungen der optischen Qualität (Bewertung nach CEPI / 4evergreen scorecard: „significant visual quality issues“) 	

³² www.paperforrecycling.eu/download/882.

Operative Durchführung Bewertung

Tabelle 7-12: Bewertung des Kriteriums „Verunreinigungen mit Risiken“

Aspekt	Erläuterung
Fachlicher Informationsbedarf zur Bewertung	Potenzielle Recyclingunverträglichkeiten in der Verpackung
Bewertungsmethode, Werkzeug	Prüfung nach Methode PTS-RH 025/2022 oder CEPI / 4evergreen: <ul style="list-style-type: none"> Bestimmung des Zerfaserungsverhaltens und des Anteils unerwünschter Materialien (inkl. Stoffen, die in die wässrige Phase übergehen) Prüfung auf klebende Verunreinigungen bzw. auf optische Inhomogenitäten

Bewertung analog Tabelle 7-9.

7.4 Weißblech- und NE-Metalle

7.4.1 Enthält die Vp nicht verwertbare Anteile, die im Rahmen der Aufbereitungsschritte abgetrennt werden können? (abtrennbare Verpackungsbestandteile)

Erläuterung

Bei WB-Verpackungen kommt es im Verwertungsverfahren zu einer nahezu vollständigen Schließung des Stoffkreislaufs für den Eisenanteil der Verpackung. Bedingt durch das Aufbereitungsverfahren (Schmelzprozess) kommt es jedoch zu Verlusten beispielsweise von NE-Metallen oder organischen Verbindungen. Konkret sind derartige Verpackungsbestandteile Etiketten, Beschichtungen mit Zinn (Weißblech), einer Emailleschicht oder anderen anorganischen und organischen Materialien³³.

Beim Recycling von Aluminium-Verpackungen ist der Anteil von organischen Bestandteilen (Etiketten aus Papier oder Kunststoff) bei der Recyclingfähigkeit zum Abzug zu bringen, da diese pyrolysiert werden.

Tabelle 7-13: Überblick zu abtrennbaren, störenden Verpackungsbestandteilen

	Materialfremde Anteile, deren Abtrennung im Schmelz- oder Pyrolyseprozess erfolgt
Weißblech	Aluminium, Silizium, organische Verpackungsbestandteile (Kunststoff, PPK)
Aluminium	Organische Verpackungsbestandteile (Kunststoff, PPK)

³³ Diese werden als Verluste bei der Einschmelzung im Hochofen oder im Sauerstoffkonverter oxidiert, die metallischen Verbindungen werden dann über die Schlacke abgeschieden.

Operative Durchführung Bewertung

Tabelle 7-14: Bewertung des Kriteriums „abtrennbaren Verpackungsbestandteile“

Aspekt	Erläuterung
Fachlicher Informationsbedarf zur Bewertung	Beschreibung von Packmittel und allen Packhilfsmitteln insbesondere hinsichtlich <ul style="list-style-type: none"> • Verwendeter Materialien (inkl. Zusammensetzung und Anteile), Massenanteilen, Aufbau durch Untersuchungen oder auf Basis valider Sekundärinformationen
Bewertungsmethode, Werkzeug	Zerlegen der Vp und gfs. Bestimmung des Glühverlustes (DIN 15169). Experteneinschätzung anhand Verpackungsinformationen bzw. Verpackungsanalyse

Bewertung analog Tabelle 7-6.

7.4.2 Erfolgt über die Vp ein Eintrag von (nicht abtrennbaren) Verunreinigungen mit Risiko der Kontaminierung des Recyclingprodukts bzw. Störung des Recyclingprozesses? (Verunreinigungen mit Risiken)

Erläuterung

Verunreinigungen mit geringem Risiko

Art und der Anteil an störenden Verpackungsbestandteilen sind abhängig vom Einsatzgebiet des Recyclingproduktes.

Fe-Verpackungen können prinzipiell anorganische Verpackungsbestandteile wie beispielsweise Kupfer enthalten, die im Aufbereitungsprozess eine Legierung mit Eisen eingehen. Die Konzentration der Legierungsbestandteile und der nachfolgende Verwendungszweck bedingen entweder eine Zufuhr oder Verdünnung der Schmelze durch jeweils benötigte metallische Elemente.

Beim Recycling von Al-Getränkedosen sind bereits geringe Konzentrationen von Kupfer (0,2 Masse-%) und Silizium (0,3 Masse-%) als störend zu betrachten. Beim Recycling von anderen Aluminiumverpackungen sind höhere Toleranzgrenzen (Kupfer: 2,5 Masse-%; Silizium: 1 Masse-%) angesetzt. Auch hier wird reines Aluminium zu dosiert, bis die gewünschte Legierung vorliegt [Erdmann et al., 2009].

Tabelle 7-15: Überblick zu Verunreinigungen mit Risiko

	Verunreinigungen mit geringem Risiko der Kontaminierung des Produkts
Weißblech	Kupfer
Aluminium	Eisen, Silizium, Kupfer

Operative Durchführung Bewertung

Tabelle 7-16: Bewertung des Kriteriums Verunreinigungen mit Risiken

Aspekt	Erläuterung
Fachlicher Informationsbedarf zur Bewertung	Potenzielle Kontaminationen (siehe Tabelle 7-15) in der Verpackung
Bewertungsmethode, Werkzeug	Experteneinschätzung anhand Verpackungsinformationen bzw. Verpackungsanalyse

Bewertung analog Tabelle 7-9.

7.5 Behälterglas

7.5.1 Enthält die Vp nicht verwertbare Anteile, die im Rahmen der Aufbereitungsschritte abgetrennt werden können? (abtrennbare Verpackungsbestandteile)

Erläuterung

Bei Behälterglasverpackungen kommt es im Aufbereitungsprozess zu einer nahezu vollständigen Schließung des Stoffkreislaufs für den Glasanteil. Im Rahmen des Aufbereitungsprozesses werden materialfremde Packhilfsmitteln (z.B. Etiketten) abgetrennt, die, mit Ausnahme metallischer Verschlüsse, nicht werkstofflich verwertet werden. Außerdem können spezielle Verpackungsgestaltungen den verwertbaren Glasanteil ganz oder teilweise reduzieren.

Tabelle 7-17: Überblick zu abtrennbaren, störenden Verpackungsbestandteile

	Materialfremde Anteile deren Abtrennung im Rahmen der Aufbereitung erfolgt
Behälterglas	Packhilfsmittel wie Verschlüsse, Etiketten Für abtrennbare metallische Anteile z.B. aus Verschlüssen darf eine werkstoffliche Verwertung angenommen werden

Tabelle 7-18: Überblick zu störenden Verpackungsbestandteile, die den verwertbaren Glasanteil verringern

	Materialfremde Anteile, die den verwertbaren Glasanteil reduzieren
Behälterglas	Bei mit Kunststoffhaftetiketten versehenen Glasverpackungen ist der von diesen Etiketten abgedeckte Glasanteil nicht dem verfügbaren Wertstoffanteil zuzurechnen, sofern es sich um wasserfeste/hydrophobe Haftetiketten handelt. Glasanteile, die z.B. durch Lackierung oder Einfärbung einen optischen Transmissionsgrad im Wellenlängenbereich 400 nm – 780 nm von 10% unterschreiten Bei Korbflaschen ist grundsätzlich von einem Totalverlust des Glasanteils auszugehen

Operative Durchführung Bewertung

Tabelle 7-19: Bewertung des Kriteriums „abtrennbare Verpackungsbestandteile“

Aspekt	Erläuterung
Fachlicher Informationsbedarf zur Bewertung	Beschreibung von Packmittel und allen Packhilfsmitteln insbesondere hinsichtlich <ul style="list-style-type: none"> • Verwendeter Materialien (inkl. Zusammensetzung und Anteile), Massenanteilen, Aufbau durch Untersuchungen oder auf Basis valider Sekundärinformationen
Bewertungsmethode, Werkzeug	Zerlegen der Vp und gfs. Bestimmung des Glühverlustes (DIN 15169) Experteneinschätzung anhand Verpackungsinformationen bzw. Verpackungsanalyse

Bewertung analog Tabelle 7-6.

7.5.2 Erfolgt über die Vp ein Eintrag von (nicht abtrennbaren) Verunreinigungen mit Risiko der Kontaminierung des Recyclingprodukts bzw. Störung des Recyclingprozesses? (Verunreinigungen mit Risiken)

Erläuterung

Verunreinigungen mit erheblichem Risiko

Bei Behälterglas ist der Eintrag von Bleioxid zu verhindern, da hier die optischen Eigenschaften der Scherben bzw. des neuen Glasprodukts verändert werden. Borosilikatgläser stören das Recycling von Behälterglas, da Bor- und Aluminiumoxide die Eigenschaften des Normalglases verändern. Diese Gläser werden jedoch im Behälterglas-Bereich nicht eingesetzt bzw. kommen hauptsächlich in der Chemie zur Anwendung. Metalle wie Blei, Zinn und Eisen (Banderolen von Sekt- und Weinflaschen) wirken korrosiv auf die Schmelzwannen. Bereits sehr geringe Konzentrationen an Chrom, Eisen, Kobalt und Kupfer können zu Verfärbungen der Glasschmelze führen.

Bei dem Recycling von Behälterglas sind außerdem jegliche Einschlüsse im Glas (Bügel zur Deckelbefestigung) oder Applikationen auf dem Glas aus Metall, welche sich durch Bruch nicht entfernen lassen, problematisch, da diese in die Glasschmelze gelangen. Dort bilden sie Einschlüsse im Glas, was die Glasstruktur schwächen und zum Bruch führen kann. Aluminiumverschlüsse (Schraubdeckel), die in die Glasschmelze gelangen, führen zur Bildung von Silizium, dass Einschlüsse bildet, die die Glasstruktur schwächen. Keramik, Porzellan und Steingut lösen sich nicht in der Schmelze. Es bilden sich Einschlüsse, die durch Spannungen im Glas zu Brüchen führen würden.

Kristallglasverpackungen, die Blei enthalten, sind nicht-recyclingfähig [ZSVR 2024].

In der folgenden Übersicht sind die möglichen Verunreinigungen beim Behälterglasrecycling zusammengefasst.

Tabelle 7-20: Überblick zu Verunreinigungen mit Risiko

	Nicht recyclingfähig [ZVSR 2024]
Behälter- glas	Bleiglas Borosilikatglas Behälterglas mit Keramikkomponenten Behälterglas mit Metallnetzen Bügelverschlüsse mit ausschließlich nicht-ferromagnetischen Metallanteilen

Operative Durchführung Bewertung

Tabelle 7-21: Bewertung des Kriteriums „Verunreinigungen mit Risiken“

Aspekt	Erläuterung
Fachlicher Informationsbedarf zur Bewertung	Potenzielle Kontaminationen (siehe Tabelle 7-20) in der Verpackung
Bewertungsmethode, Werkzeug	Experteneinschätzung anhand Verpackungsinformationen bzw. Verpackungsanalyse

Bewertung analog Tabelle 7-9.

8 Quantitative Bewertung der Recyclingfähigkeit

Die quantitative Bewertung der Recyclingfähigkeit einer Verpackung erfolgt im Rahmen eines Scoring-Modells anhand von Scoring-Punkten. Ausgangspunkt der Bewertung sind die Kriterien zur Bewertung der Recyclingfähigkeit (Kapitel 5ff). Für die Bewertungskriterien ist im Rahmen des Scoring-Modells eine prozentuale Gewichtung vorgegeben (siehe Tabelle 8-2), die unabhängig von der Betrachtung einer einzelnen Verpackung festgelegt ist.

Die quantitative Bewertung der Recyclingfähigkeit erfolgt in folgenden Schritten

- Auf Basis der Ausführungen in den Kapiteln 5 bis 7 kann für die zu untersuchende Verpackung der Erfüllungsgrad für die einzelnen Bewertungskriterien zunächst qualitativ eingeschätzt.
- Anhand der qualitativen Einschätzung zum Erfüllungsgrad der zu untersuchenden Verpackung erfolgt eine gestufte quantitative Bewertung (Benotung) zwischen 20 (beste Bewertung – Stufe 1) und 0 bzw. KO (schlechteste Bewertung – Stufe 5) für jedes Bewertungskriterium. Die zugrunde liegende Skalierung ist in Tabelle 8-1 dargestellt.
- Durch Multiplikation der kriterienspezifischen Bewertung der Verpackung mit der entsprechenden Gewichtung für das jeweilige Kriterium ergibt sich für jedes Kriterium ein Einzel-Scoring.
- Durch Summation über alle Einzel-Scorings ergibt sich die Gesamtbewertung der Recyclingfähigkeit.

Tabelle 8-1: Scoring Modell zur quantitativen Bewertung der Recyclingfähigkeit

Kriterium	Skalierung (Bewertung in Punkten)				
	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4	Stufe 5
	20	15	10	5	0
Ebene 1: Zuordnung der Verpackung zum Erfassungssystem					
Erfassungssystem zuordenbar	Erfassungssystem für Verbraucher intuitiv problemlos zuordenbar	Erfassungssystem für Verbraucher intuitiv eingeschränkt zuordenbar	-	Erfassungssystem für Verbraucher intuitiv schwer zuordenbar	-
Ebene 2: Sortierbarkeit gemischt erfasseter Verpackungen (LVP)					
Mindestgröße	Vp hat eine ausreichende Größe (deutlich >20mm)	-	-	Vp hat keine ausreichende Größe (deutlich <20mm)	-
Identifizier- / Abtrennbarkeit	WB kann uneingeschränkt sortiert und abgetrennt werden	-	-	-	-
Aluminium (Leitfähigkeit)	Al kann uneingeschränkt sortiert/abgetrennt werden	-	-	-	-
KS, FKN, PPK-Verbund, PPK, Glas (Oberflächeneigenschaft)	Detektion/Abtrennung Zielmaterial uneingeschränkt möglich, oder Sonderfall formflexibler	Detektion/Abtrennung Zielmaterial eingeschränkt	Detektion/Abtrennung Zielmaterial deutlich eingeschränkt	-	Detektion/Abtrennung Zielmaterial nicht möglich
Ebene 3: Eignung für werkstoffliche Verwertung und Bereitstellen von Sekundärprodukten					
Hochwertigkeit Verwertungsweg	Erwarteter Verwertungsweg ist hochwertig werkstofflich	Erwarteter Aufbereitungsweg ist überwiegend hochwertig werkstofflich	Erwarteter Aufbereitungsweg ist nur zum Teil hochwertig werkstofflich	-	Erwarteter Verwertungsweg Zielmaterial ausschließlich energetisch bzw. nur im Einzelfall hochwertig werkstofflich
Abtrennbare, nicht verwertbare Anteile	Vp enthält keine abtrennbaren, nicht-verwertbaren Anteile	Vp enthält geringe Anteile (< 10 Massen-%)	Vp enthält signifikante Anteile (> 10 Massen-% und < 30 %)	Vp enthält erhebliche Anteile (> 30 und <50 Massen-%)	Vp wird vollständig aus der Zielfraktion abgetrennt
Nicht abtrennbare Anteile bzw. Verunreinigungen	Vp trägt keine störenden Verunreinigungen ein	Vp trägt eine oder zwei unterschiedliche Art/en an Verunreinigung mit geringem Kontaminationsrisiko ein	Vp trägt drei oder mehr unterschiedliche Arten an Verunreinigungen mit geringem Kontaminationsrisiko ein	Vp trägt eine oder zwei unterschiedliche Art/en an Verunreinigung mit hohem Kontaminationsrisiko ein	Vp trägt störende Verunreinigungen ein, die eine Recyclingfähigkeit ausschließen

Die Recyclingfähigkeit der Verpackung bemisst sich damit über die Anzahl der erreichten Scoring-Punkte. Es sei darauf hingewiesen, dass die Scoring-Punkte bzw. deren %-Anteil am Maximalscore nicht den Rückschluss darauf erlauben, welcher prozentuale Massenanteil der originären Verpackung als Sekundärprodukt nach der Verwertung tatsächlich zur Verfügung stehen könnte. Im Fall, dass die Bewertung 0 Punkte (Stufe 5) für ein Kriterium zu vergeben ist, wird die Bewertung der weiteren Kriterien und die Ermittlung der Recyclingfähigkeit wie beschrieben fortgesetzt. Dagegen ist im Fall, dass für ein Kriterium die Bewertung KO in Stufe 5 vergeben wird, davon auszugehen, dass eine Recyclingfähigkeit für die Verpackung nicht gegeben ist und damit die Verpackung als nicht recyclingfähig zu bewerten ist. Um gerade für derartige Verpackungen das Aufzeigen von Potenzialen für eine verbesserte Recyclingfähigkeit zu erleichtern, wird für die Bewertungsebenen, denen das KO-Kriterium nicht zugeordnet ist, eine Bewertung unter Vorbehalt vorgenommen.

Verpackungen aus Glas, PPK und WB erhalten für das Kriterium Mindestgröße pauschal die Bestbewertung,

- da Vp aus Glas und PPK materialspezifisch erfasst werden und damit ein LVP-Sortierprozess, auf den das Kriterium Mindestgröße rekurriert, nicht vorgesehen ist bzw.
- eine Identifizierung auch von kleinen WB-Verpackungen aus dem LVP-Gemisch angenommen wird.

Verpackungen, deren WB- bzw. AI-Minderanteil nicht für die uneingeschränkte Identifikation anhand der Magnetisierbarkeit bzw. Leitfähigkeit ausreicht, wird das Sortierverhalten der Vp anhand des Materials mit größten Gewichtsanteil (z.B. Kunststoff, oder Papier) bewertet (siehe auch Tabelle 6-4)

Für Verpackungen, die abtrennbare Bestandteile (Definition siehe Kapitel 4) enthalten sind getrennte Bewertungen der Recyclingfähigkeit für jeden Bestandteil erforderlich, da die Bestandteile unterschiedlichen Sortier- und Aufbereitungswegen zugehen können.

Die Berechnungsmethodik ist in der folgenden Tabelle an der exemplarisch angenommenen Bewertung von zwei Verpackungen dargestellt.

Tabelle 8-2: Scoring Modell zu quantitativen Bewertung der Recyclingfähigkeit anhand fiktiver Verpackungsbeispiele

Kriterium	A: Gewichtung Kriterium [%] Summe = 100%	Verpackung I		Verpackung II	
		B: Bewertung (0 bis 20)	A*B: Scoring-Punkte	B: Bewertung (0 bis 20)	A*B: Scoring-Punkte
Ebene 1: Zuordnung der Verpackung zum Erfassungssystem					
Erfassungssystem zuordenbar	10%	20	2	20	2
Ebene 2: Sortierbarkeit gemischt erfasster Verpackungen (LVP)					
Mindestgröße	10%	20	2	20	2
Identifizierbarkeit	20%				
Weißblech (Magnetisierbarkeit)		-	-	-	-
Aluminium (Leitfähigkeit)		-	-	-	-
KS, FKN, PPK-Verbund (Oberflächeneigenschaft)		15	3	15	3
Ebene 3: Eignung für werkstoffliche Verwertung und Bereitstellen von Sekundärprodukten					
Hochwertigkeit Verwertungsweg	20%	20	4	KO	KO
Abtrennbare, nicht verwertbare Anteile	20%	15	3	-	-
Nicht abtrennbare Anteile bzw. Verunreinigungen	20%	20	4	-	-
			Bewertung		Bewertung
Recyclingfähigkeit gesamt			18 von 20		nicht recyclingfähig
dabei Recyclingfähigkeit Ebene 1			2 von 2		(2 von 2)
dabei Recyclingfähigkeit Ebene 2			5 von 6		(5 von 6)
dabei Recyclingfähigkeit Ebene 3			11 von 12		KO

Die weitere Klassifizierung der Recyclingfähigkeit anhand der ermittelten Scoring-Punkte ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 8-3: Klassifizierung der Recyclingfähigkeit anhand des Scoring Modell

Scoring-Punkte	%-Anteil Unter- grenze an Maximal- punktzahl (20)	Klassifizierung Recyc- lingfähigkeit
größer, gleich 19	95%	Sehr gut
kleiner 19 und größer, gleich 16	80%	Gut
kleiner 16 und größer, gleich 13	65%	Eingeschränkt
kleiner 13 und größer, gleich 10	50%	Erheblich eingeschränkt
kleiner 10	<50%	Mangelhaft
KO Bewertung in einem Kriterium		Nicht Recyclingfähig

Literatur

- [APR 2021]: APR Design Guide for Plastics Recyclability. The Association of Plastics Recyclers. <https://plasticsrecycling.org/apr-design-guide> (berücksichtigt mit Stand vom 12.09.2024)
- [Bosewitz, 2013]: Bosewitz, S. [Hrsg.]: Kunststoffrecycling in Produkten – Herkunftskatalog von Erzeugnissen aus Kunststoffabfallströmen, 1. Auflage, VGE Verlag GmbH, Essen, 2013
- [bvse 2016]: Glasrecycling – ein in sich geschlossener Materialkreislauf. www.bvse.de/342/491/4. abgerufen am 24.02.2016
- [Consultic 2015] Analyse/Beschreibung der derzeitigen Situation der stofflichen und energetischen Verwertung von Kunststoffabfällen in Deutschland. Studie erstellt im Auftrag der Interessengemeinschaft der thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e.V.
- [Dehoust et al 2012]: Analyse und Fortentwicklung der Verwertungsquoten für Wertstoffe. UBA-Text 40/2012
- [Erdmann et al. 2009]: Einfluss von RFID-Tags auf die Abfallentsorgung. UBA-Text 27/2009.
- [FKN, 2007]: Fachverband Kartonverpackungen für flüssige Nahrungsmittel e.V. (Hrsg.): Getränkekarton – Im Kreislauf der Natur; www.getraenkekarton.de, abgerufen am 05.09.2017
- [GDA, W 18]: GDA - Gesamtverband der Aluminiumindustri e.V. (Hrsg.): Aluminium in der Verpackung – Herstellung, Anwendung, Recycling (Merkblatt W18); Düsseldorf
- [Gruber, 2011]: Gruber, E.: Papier- und Polymerchemie Vorlesungsskriptum zum Lehrgang „Papier-technik“ an der Dualen Hochschule Karlsruhe, <http://www.gruberscript.net>, abgerufen am 12.09.2017
- [Öko-Institut 2016]: Umweltpotenziale der getrennten Erfassung und des Recyclings von Wertstoffen im Dualen System. Ökobilanz für das Duale System Deutschland.
- [Saechtling] Karl Oberbach: Kunststoff-Taschenbuch. 28. Ausgabe Hanser Verlag
- [UBA 2024]: S. Dorn, M. Fabian: Praxis der Sortierung und Verwertung von Verpackungen im Sinne des § 21 VerpackG 2022/2023. Veröffentlicht als Teilbericht zum Vorhaben mit der Forschungskennzahl 3722 34 im Auftrag des Umweltbundesamtes. Dessau-Roßlau, August 2024
- [UBA_2016-1]: Umweltbundesamt (Hrsg.): Umweltbezogene Bilanzierung von „intelligenten“ und „aktiven“ Verpackungen hinsichtlich der Recyclingfähigkeit und Durchführung eines Dialogs mit Akteuren der Entsorgungs- und Herstellungsbranche, Dessau-Roßlau, April 2016
- [ZSVR 2024]: Mindeststandard für die Bemessung der Recyclingfähigkeit von systembeteiligungspflichtigen Verpackungen gemäß § 21 Abs. 3 VerpackG vom September 2024. Stiftung Zentrale Stelle Verpackungsregister