



GEMEINSAM RECYCELN.
GEMEINSAM WERTE SCHAFFEN.
forum-rezyklat.de

PET-Schalen – Impulse zur Stärkung des Recyclings

Handreichung für die Gestaltung von formstabilen PET-Thermoform-Verpackungen sowie für den Aufbau von Sortier- und Recyclingtechnologien zur Steigerung der Recyclingfähigkeit – erarbeitet durch das Fachpaket „Technologie und Recyclingfähigkeit“ des Forum Rezyklat

Version 1 – 28.05.2025

Inhaltsverzeichnis

1	Abkürzungen.....	3
2	Einleitung.....	5
3	Verpackungsgestaltung	7
4	Verpackungsgestaltung in Kombination mit Sortier- und Verwertungs-technologien.....	9
5	Sortierung und Verwertung	10
6	Offene Fragen	13
7	Ausblick	15
8	Literaturverzeichnis.....	16

1 Abkürzungen

PET	Polyethylenterephthalat
PE	Polyethylen
PP	Polypropylen
PO	Polyolefine (PE, PP)
PA	Polyamid
EVOH	Ethylen-Vinylalkohol
LVP-Sortieranlage	Leichtverpackungssortieranlage
NIR-Scanner	Nah-Infrarot-Scanner
EFSA	Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit
PPWR	EU-Verordnung 2025/40 über Verpackungen und Verpackungsabfälle (Packaging and Packaging Waste Regulation)

Disclaimer

Dieses Dokument stellt eine Orientierungshilfe für die unterschiedlichen Stakeholder entlang der Wertschöpfungskette dar. Die Inhalte wurden mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt und werden nur zu allgemeinen Informationszwecken bereitgestellt. Sie stellen insbesondere keine Rechtsberatung dar. Für deren Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernimmt das Forum Rezyklat keine Haftung. **Es wird explizit darauf hingewiesen, dass es sich hierbei um Hilfestellungen und Erläuterungen von Möglichkeiten zur Optimierung des PET-Schalen-Recyclings handelt und keine konkreten Handlungsempfehlungen formuliert werden.** Es werden zudem einige Aspekte des PET-Schalen-Recyclings angesprochen, wofür bislang noch keine finale Aussage getroffen werden kann, sondern weiterer Untersuchungsbedarf besteht (siehe Kapitel Ausblick).

2 Einleitung

Das Forum Rezyklat ist ein Bündnis von Partnern entlang der gesamten Wertschöpfungskette von Verpackungen. Ziel ist es, einen Beitrag zur Erhöhung der Recyclingquote und des Recyclinganteils in Verpackungen zu leisten. Die Arbeitsgruppe „Recycling von PET-Schalen“ beschäftigt sich dabei intensiv mit Überlegungen wie die Sortier- und Verwertungsinfrastruktur von PET-Schalen ausgebaut werden kann, da hier die Notwendigkeit zur Optimierung festgestellt wurde. Im Rahmen des Arbeitspaketes wurde unter „PET-Schalen-Recycling“ nicht nur die Sortierung und Verwertung verstanden, sondern ebenso die Verpackungsgestaltung und die Einsatzmöglichkeiten des Rezyklats betrachtet – entsprechend bezieht sich die Formulierung „PET-Schalen-Recycling“ im Folgenden immer auf die Gesamtheit dieser Aspekte.

PET-Schalen werden für verschiedenste Füllgüter im Lebensmittel- sowie auch im Nichtlebensmittelbereich eingesetzt. Unter PET-Schale versteht das Forum Rezyklat (halb-)starre Verpackungsanwendungen aus thermogeformtem PET – unabhängig von ihrer Farbigkeit oder Transparenz/Opazität. Typischerweise beinhaltet dies Schalen (z.B. für Frischobst, Fertigsalate), Becher (z.B. für Fertigdesserts, verzehrfertiges Obst), Blister (z.B. für Haushaltswaren, Installationsartikel), Klarsichtschachteln (z.B. für Spielwaren, Elektrogeräte) sowie Runddosen (z.B. für Süßwaren, Weihnachtsbaumkugeln).

Die europäische Verordnung 2025/40 über Verpackungen und Verpackungsabfälle (PPWR) legt Anforderungen für die Recyclingfähigkeit und den Rezyklateinsatz in den Artikeln 6 und 7 fest. Die Vorgaben gelten ab 2030 und werden ab 2035 bzw. ab 2040 gesteigert. Um einem Inverkehrbringungsverbot von PET-Schalen ab 2030 entgehen zu können, muss die Sortier- und Recyclinginfrastruktur sowie die Rezyklatnachfrage gestärkt und erweitert werden.

Im Jahr 2022 wurden 5 Millionen Tonnen PET-Verpackungen auf den europäischen Markt gebracht – 21% davon waren PET-Thermoformschalen (Petcore, 2024). Der überwiegende Teil davon wiederum sind Multilayer-Schalen – also Schalen mit Schichten aus unterschiedlichen Materialien, meistens bestehend aus PET in Kombination mit einer PE-Schicht für die Siegelfähigkeit oder einer PA-Barriereschicht (Umweltbundestamt, 2024). Laut der Industrievereinigung Kunststoffverpackungen e.V. liegt der Anteil von Multilayer-Schalen bei 60%, die übrigen 40% sind Monolayer-Schalen (Kunststoffverpackungen, 2021). Bislang werden hauptsächlich die Monolayer-Schalen sortiert und recycelt, da diese weniger Herausforderungen mit sich bringen als die Multilayer-Schalen. Das liegt nicht nur an der Materialkombination der Schichten selbst, sondern auch an der hohen Variabilität der Verpackungsgestaltung bezüglich Farben, Etiketten/Sleeves und Verschlüsse wie Siegelfolien (Petcore, 2024). Doch nicht nur die Multilayer-Schalen stellen eine Herausforderung fürs Recycling dar, sondern grundsätzlich steht es um die Sortier- und Recyclinginfrastruktur von PET-Schalen bislang nicht gut. Die Recyclingkapazität für PET-Schalen in Europa lag im Jahr 2022 bei 57.000 Tonnen (hauptsächlich verteilt auf die Niederlande, Spanien und Frankreich). Zum Zeitpunkt der Untersuchung von Petcore wurde angenommen, dass die Kapazität in 2025 300.000 Tonnen erreicht – das entspräche jedoch immer noch nur ca. 30% des PET-Schalen Inputs. (Petcore, 2024). Neuere Zahlen, die diese Annahme bestätigen würden, existieren bislang nicht. In Deutschland wurden in den Jahren 2022 und 2023 zwischen 0,4 % und 25,5 % der PET-Schalen sortiert und recycelt. Ersteres trifft zu, wenn lediglich die geringe Menge an separat sortierten Schalen betrachtet wird. Letztes ist der Fall, wenn die Schalen gemeinsam mit den Flaschen in den unterschiedlichen Misch-Fraktionen (Mischfraktion aus Flaschen und Schalen zu unterschiedlichen Verhältnissen) mitverwertet werden. Das gilt jedoch nur für transparente Monolayer-Schalen, denn in jedem Fall werden unerwünschte Multilayer und opake Schalen zuvor aussortiert (Umweltbundestamt, 2024).

Im Folgenden ist die eigens erstellte Abbildung 1 zu sehen, welche die aktuellen Sortier- und Verwertungspfade von PET-Schalen in Europa darstellt. Die überwiegende Praxis ist es, nur die PET-Flaschen zu recyceln und die Schalen als Störstoffe zuvor auszusortieren. Sollten Schalen recycelt werden, dann wird hauptsächlich auf die Monolayer-Schalen sortiert. Diese werden anschließend wie oben beschrieben, entweder separat recycelt oder gemeinsam in bestimmten Mischungsverhältnissen mit den Flaschen verwertet. Multilayer-Schalen gehen bislang größtenteils in die thermische Verwertung. Eine solche Differenzierung zwischen Flasche-Schale oder Monolayer-Multilayer findet entweder in der LVP-Anlage selbst, in einer Nachsortieranlage oder direkt beim Recycler statt. Es gibt gewisse Ausnahmen wie bspw. die

Niederlande, wo die Multilayer- gemeinsam mit den Monolayer-Schalen recycelt werden, da der störende Multilayer-Anteil (und damit der Nicht-PET-Anteil) grundsätzlich geringer ist als in Deutschland. Dies entspricht jedoch nicht der überwiegenden Praxis in Europa (Petcore, 2024).

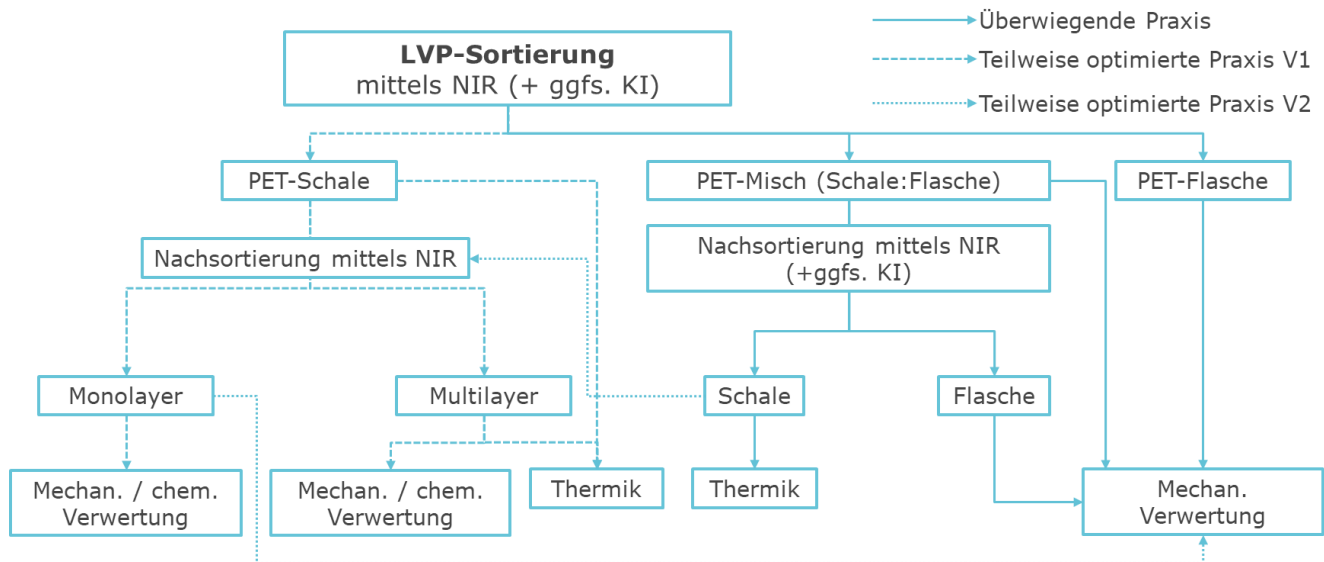


Abbildung 1: Status Quo der LVP- & Nachsortierung von PET-Schalen (eigene Darstellung)

Festzuhalten ist die geringe Kapazität in Sortieranlagen, welche die PET-Schalen sortieren. Dies liegt zum einen daran, dass die Wirtschaftlichkeit nicht gegeben ist, nur auf die wenig verfügbaren Monolayer-Schalen zu sortieren und zum anderen werden die Multilayer-Schalen aufgrund ihrer komplexen und unterschiedlichen Verpackungsgestaltung kaum von Recyclern abgenommen. Recycler argumentieren außerdem, dass Investitionen in den Aufbau von Recyclingkapazitäten wirtschaftlich nicht tragbar sind, aufgrund der zu geringen sortierten Menge und zudem nur marginale Absatzchancen seitens Hersteller für das gewonnene PET-Rezyklat bestehen. **Es lässt sich somit feststellen, dass das Voranbringen der PET-Schalen-Recyclinginfrastruktur aufgrund gegenseitiger Abhängigkeiten von Verpackungsgestaltung inkl. Rezyklatnachfrage seitens Hersteller, Sortierkapazitäten und Recyclingtechnologien und -kapazitäten herausfordernd ist.** Nach Aussagen des Umweltbundesamtes, sind jedoch Bestrebungen bekannt, die Kapazitäten für das PET-Schalen-Recycling zu steigern (Umweltbundesamt, 2024).

Um den Unsicherheiten und Herausforderungen entlang der Wertschöpfungskette zu begegnen, hat sich das Forum Rezyklat mit dieser Thematik beschäftigt, angefangen mit dieser Orientierungshilfe, welche Möglichkeiten in den Kapiteln 3 und 4 darstellt, wie die Verpackungsgestaltung hinsichtlich Sortier- und Recyclingfähigkeit optimiert werden kann. Zudem werden Wege und Technologien für die Sortierung und Verwertung in Kapitel 5 behandelt. Weiterhin bleiben jedoch noch viele Frage ungeklärt, welche zukünftig behandelt werden müssen. Diese offenen Fragen sind in Kapitel 6 aufgelistet. In Kapitel 7 wird auf eine aktuell vom Forum Rezyklat beauftragte Studie eingegangen, welche das Ziel hat, einige der offenen Fragen zu klären und die hier genannten Themen weiter konkretisiert.

3 Verpackungsgestaltung

Schon heute ist die hochwertige Verwertung von PET-Schalen von deren Gestaltung und werkstofflichen Zusammensetzung abhängig. Diese Abhängigkeit wird auch bei Weiterentwicklungen der Sortier- und Verwertungstechnik grundsätzlich weiter bestehen. Das nimmt die Verpackungsentwickler und Inverkehrbringer in die Pflicht, einen wesentlichen Beitrag zum Recycling-Erfolg zu leisten.

Zum Erreichen eines hochwertigen Recyclings muss sichergestellt werden, dass

- eine möglichst hohe Ausbeute bestmöglichen Rezyklates erschlossen werden kann,
- eine Wiederverwendung des Rezyklates nicht durch seine Farbgebung eingeschränkt wird,
- keine polymeren Verunreinigungen das Eigenschaftsbild des Rezyklates verändern und
- die Sortierung und Verwertung der Verpackungen nicht gestört oder unterbunden wird.

Mögliche Herangehensweisen sind im Folgenden dokumentiert.

Erschließen einer maximalen PET-Ausbeute und der Zusammenhang mit Materialkombinationen von Bestandteilen

Das Ziel des PET-Schalen-Recycling ist es, möglichst reines PET-A-Rezyklat (=Zielwerkstoff) zu generieren. Daher sollte der PET-Anteil möglichst hoch sein und Störstoffe oder Gestaltungselemente dürfen die Sortierbarkeit sowie die Reinheit des Rezyklats nicht beeinträchtigen.

Bislang ist nur das Recycling der PET-Schale möglich, weshalb Etiketten, Siegelfolien oder andere Bestandteile (bspw. Sleeves) bislang bestenfalls von der PET-Schale abgetrennt werden müssen, um möglichst reines PET-Rezyklat zu erhalten. Entsprechend ist aktuell darauf zu achten, dass Etiketten, Siegelfolien und Sleeves von der Schale durch A) bei einer Heißwäsche ablösbare Klebstoffe (im Falle von Etiketten) oder B) eine niedrigere ($< 1 \text{ g/cm}^3$) Dichte als PET über die Schwimm-Sink-Trennung vom Zielwerkstoff abgetrennt werden können. Somit wird der Eintrag von Klebstoffen, Druckfarben etc. ins Rezyklat vermieden und die Qualität des Recyclingwerkstoffs möglichst hochgehalten.

Offen ist die Frage wie zukünftig mit insb. den Siegelfolien umgegangen werden soll: Um die Quantität an PET im Recycling zu erhöhen, läge es nahe auch die Siegelfolie aus PET herzustellen. Um die benötigte Rezyklatqualität jedoch entsprechend hochzuhalten, ist zu klären, ob/wie die Druckfarben entfernt werden können. Stichwort Deinking, physikalisches oder chemisches Recycling. Andernfalls wäre auch eine separate „bunte“ Fraktion aus flexiblen Siegelfolien für Anwendungen mit geringeren Qualitätsansprüchen denkbar. Die technologische Umsetzbarkeit sowie die Wirtschaftlichkeit und die Umwelteffekte können an dieser Stelle jedoch noch nicht ausreichend beantwortet werden.

Weitere oft im Einsatz befindliche Bestandteile sind Absorberpads. Hier sind bislang zwei verschiedene Varianten vorherrschend: Die eingeklebten Absorberpads sowie die lose in der Schale liegenden Pads. Auch hier ist die Frage wie dies im Sinne des Recyclings behandelt werden sollte. Wenn die Absorberpads nicht aus PET, sondern bestenfalls aus PO sind, sollten diese entweder nicht verklebt sein oder sich bei der Heißwäsche von der Schale lösen und sich im Anschluss durch ihre Dichte $< 1 \text{ g/cm}^3$ (bestenfalls aus PO) bei der Schwimm-Sink-Trennung von den PET-Flakes separieren lassen. Somit wird zwar die Quantität des PET-Zielwerkstoffes reduziert, jedoch eine hohe Qualität erreicht. Alternativ besteht die Möglichkeit die Schale entsprechend mit einem „Kapillarboden“ auszustatten, um den Einsatz des zusätzlichen Absorberpads zu vermeiden.

Materialkombination im Multilayer

Bei der Vermeidung von Fremdpolymeren geht es maßgeblich um Stoffe, die mit dem PET körperlich verbunden sind und sich auch im Falle einer Zerkleinerung nicht ablösen lassen und somit im Stoffstrom verbleiben. Das sind vor allem Polymere und Klebstoffe, die mit dem PET als Multilayer einen flächenhaften Verbund bilden. Meistens eingesetzt wird eine zusätzliche PE-Schicht aufgrund der Siegelfähigkeit oder eine PA-Barrierschicht im Lebensmittelbereich. Beide haben eine milchig – bzw. gelbliche Verfärbung des PET durch das Recycling zur Folge (Umweltbundestamt, 2024)

Wenn möglich, sollte auf eine Barrierschicht verzichtet werden, um den Anteil der Multilayer-Schalen im Gesamtstrom der PET-Schalen zu reduzieren. Gleiches gilt für Siegelschichten. Zu bevorzugende Alternativen sind bspw. Siegelkleber oder Verpackungen mit Reliefrand, welche das Verbinden der Siegelfolie mit der Schale gewährleisten, ohne das Recycling durch zusätzliche Fremdpolymere zu beeinträchtigen. Bei der Wahl des Siegelklebstoffes muss entsprechend auf die Abwaschbarkeit bei der typischerweise eingesetzten Heißwäsche geachtet werden.

Zum Einfluss von weiteren Hilfsstoffen und Additiven auf die Recyclingfähigkeit, liegen der Arbeitsgruppe des Forum Rezyklat aktuell keine Informationen vor.

Farbgebung und Druckfarbe

Um die Rezyklatqualität von PET-Flakes durch unerwünschte Farbgebung (Durchfärbung oder nicht entfernbare Druckfarben) nicht zu beeinträchtigen, sind transparente Schalen zu bevorzugen. Bunt transparent aber vor allem opake Einfärbungen sind zu vermeiden. Ob diese Orientierungshilfe weiterhin Bestand hat, wenn zukünftig das physikalische und/oder chemische Recycling etabliert sein sollte, wodurch womöglich das Rezyklat entfärbt werden könnte, kann bislang nicht beantwortet werden.

Bis auf weiteres sollten auch direkt auf der PET-Schale aufgebrauchte Druckfarben vermieden werden und stattdessen die Siegelfolie bedruckt werden. Wenn diese von der Schale separiert wird, wird die Einfärbung des Rezyklats, eine Verminderung der mechanischen Eigenschaften sowie ggfs. toxikologische Bedenken vermieden. Wie im Kapitel zuvor bereits erwähnt, ist jedoch weiterhin offen, wie zukünftig mit Siegelfolien umgegangen werden sollte.

Für weitere Gestaltungshilfen im Sinne des Recyclings wird an dieser Stelle auf die aktuell verfügbaren Design for Recycling Guidelines für PET-Schalen verwiesen (wie beispielsweise Petcore (D4RPetcore), RecyClass (RecyClass)).

4 Verpackungsgestaltung in Kombination mit Sortier- und Verwertungstechnologien

Es liegt an den komplexen Anforderungen an eine Verpackung, dass nicht alle Voraussetzungen für ein hochwertiges Recycling allein durch ihre Gestaltung geschaffen werden können. Es ist vielmehr ein Zusammenwirken der Konstruktion und Werkstoffauswahl mit der Sortierung und Aufbereitung sowie dem Markt, welches die Kosten und die Ausbeute beeinflusst.

Durch den Einsatz anderer Werkstoffe in Kombination mit PET nehmen die Störpotenziale zu. Hier sind vor allem die Unterbindung der NIR-basierten Erkennung durch Fremdstoffe an der Verpackungsoberfläche zu nennen. Dies trifft vor allem auf die Etikettierung oder die Kombination mit Barrierschichten (wie z.B. EVOH oder PA) sowie eine veränderte Dichte des PET ($< 1 \text{ g/cm}^3$, z.B. durch den Verbund mit Siegelschichten aus Polyethylen) zu. Bei anderen Funktionselementen wie bspw. Absorberpads oder Polsterfolien, welche nicht aus PET sind, ist darauf zu achten, dass diese sich bereits vor der NIR-Sortierung von der PET-Schale trennen – sprich, lose in der Schale liegen.

Sortierung und Verwertung von Multilayer-Schalen aus PET-PE mit Hilfe von speziellem Klebstoff

Die meisten Multilayer-Schalen sind aufgrund der notwendigen Siegelfähigkeit aus einer Kombination von PET mit einer PE-Schicht ausgestattet. Wie oben bereits erwähnt, werden diese Schalen zuweilen häufig als nicht erwünscht aussortiert bzw. in ein Rezyklat niedrigerer Qualität (im Vergleich zu Mono-PET-Schalen) rezykliert. Alternativ bestünde hier die Möglichkeit – wenn nicht auf ein Monolayer in Kombination mit dem oben genannten Siegelklebstoffapplikation oder Reliefrand umgestellt werden könne – einen speziellen Kaschierklebstoff einzusetzen, durch welchen sich in der Flakewäsche die PET-Schicht von der PE-Schicht ablösen kann. Dieser sog. „Debonding-Klebstoff“ löst somit den flächigen Verbund auf, wodurch die PE-Anteile aufgrund der niedrigen Dichte anschließend von den gewünschten PET-Anteilen in der Schwimm-Sink-Trennung abgetrennt werden können.

Wichtig hierbei ist jedoch, dass die Schalen mit diesem speziellen Klebstoff entweder durch die Programmierung der NIR-Scanner in die „Zielfraktion“ der Monolayer-Schalen sortiert werden (über die Erkennung des Reflexionsspektrums des Klebstoffes), um in die werkstoffliche Verwertung zu gelangen. Andernfalls ist dieser Debonding-Klebstoff nur dann sinnvoll, wenn zukünftig auch Multilayer-Schalen als „Zielfraktion“ sortiert und recycelt werden.

Sollten zukünftig auch die Multilayer-Schalen dem Recycling zugeführt werden, wären grundsätzlich laugelösliche bzw. wasserlösliche Kaschierklebstoffe – bspw. aus PVOH – möglich für den Einsatz. In diesem Fall kann davon ausgegangen werden, dass nicht nur Monolayer- sondern auch Multilayerschalen in die Heißwäsche überführt werden, was das Trennen der PET- von der PE-Schicht durch die Wasserlöslichkeit des Klebstoffes zur Folge hätte.

Für weitere Gestaltungshilfen im Sinne der Sortier- und Verwertbarkeit wird an dieser Stelle auf die aktuell verfügbaren Design for Recycling Guidelines für PET-Schalen verwiesen (wie beispielsweise Petcore (D4RPetcore), RecyClass (RecyClass)).

5 Sortierung und Verwertung

Damit die Hersteller und Markenartikler weiterhin PET-Schalen einsetzen können, ohne ab 2030 ein Inverkehrbringungsverbot zu befürchten, muss nicht nur die Verpackungsgestaltung verbessert werden, sondern auch die Sortier- und Verwertungsinfrastruktur. Das bedeutet zum einen vermehrt Sortiertechnologien einzusetzen, die bereits Stand der Technik sind sowie den Einsatz innovativer Sortiertechnologien voranzutreiben. Somit werden Qualität und Quantität der PET-Schalen-Fractionen optimiert. Zum anderen benötigt es geeignete Verwertungstechnologien für die PET-Schalen. Da PET-Schalen sich nicht wie PET-Flaschen verhalten, können PET-Flaschenrecyclinganlagen nicht ohne weitere Anpassungen für Schalen eingesetzt werden – zumindest nicht ohne erhebliche Materialverluste. Daher müssen zukünftig die vorhandenen Flaschen-Recyclinganlagen auf die Gegebenheiten der Schalen umgestellt bzw. die Verwertungskapazität entsprechend für Schalen aufgebaut werden.

Im Folgenden sind (teilweise ineinandergreifende) Maßnahmen für die Optimierung von Sortier- und Recyclinginfrastruktur beschrieben.

Differenzierte Materialfraktionen durch Weiterentwicklung der Detektion und Ergänzung durch weitere Sortierstufen

Um die gemischte PET-Fraktion weiter aufzusplitten, ist es notwendig, weitere Sortierstufen zu ergänzen (mehrstufige Sortierung bzw. Kaskadensortierung), sowie die aktuell eingesetzte Sortiertechnologie zu erweitern. Hierfür gibt es bereits Sortiertechnologien die Stand der Technik sind, allerdings noch nicht übergreifend eingesetzt werden. Die Sortierung mittels NIR-Scanner kann folgende Unterscheidungen in (Nach-) Sortieranlagen erreichen:

- Schale vs. Flasche: Abtrennung der Schalenfraktion von der Flaschenfraktion, damit diese separat voneinander verwertet werden können.
- Monolayer vs. Multilayer: Abtrennung der Monolayer- von den Multilayer-Schalen, sollte sich die Multilayer-Fraktion nicht deutlich reduzieren lassen durch entsprechende Verpackungsgestaltung.

Zur Unterscheidung von Food vs. Nonfood-Verpackungen reichen NIR-Scanner nicht aus. Hierfür stehen jedoch bereits innovative Sortiertechnologien wie bspw. die Bilderkennung mittels KI, Fluoreszenzmarker oder Wassermarken zur Verfügung bzw. in den Startlöchern – wobei sich die Bilderkennung mittels KI laut Expertenmeinungen, aufgrund der universellen Einsetzbarkeit und Anbieterunabhängigkeit, am ehesten durchsetzen wird. Die Unterscheidung Food vs. Nonfood ist dann von hoher Relevanz, um die Anforderungen der „EU-Verordnung (EU) 2022/1616 über Materialien und Gegenstände aus recyceltem Kunststoff, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen“ für hochreine lebensmitteltaugliche Rezyklate erreichen zu können.

Würde man die Misch-Fraktion in reine Fraktionen separieren, wären folgende Fraktionen verfügbar (Flaschenfraktionen, sowie Spritzgussprodukte werden hier nicht betrachtet):

- PET-Schale Mono | Food
- PET-Schale Mono | Nonfood
- PET-Schale Multi | Food
- PET-Schale Multi | Nonfood

Für jede Fraktion sind in der Regel mind. zwei Sortierstufen erforderlich: Eine für die erste Sortierung (Rougher-Stufe = Aufkonzentrierung der Fraktion) und eine zweite Sortierung (=Cleaner-Stufe), um Störstoffe/falsch sortierte Verpackungen zu entfernen. Ob diese Differenzierung noch in der LVP-Sortieranlage stattfinden sollte, oder ob es spezielle Nachsortieranlagen geben wird, welche die PET-Mischfraktion in separate Fraktionen aufteilen (siehe Abbildung 2) oder ob die Misch-Fraktion direkt beim Recycler differenziert sortiert werden sollte, ist individuell zu betrachten. Das hängt von unterschiedlichen Faktoren ab, wie bspw. die räumliche Verfügbarkeit für weitere Fraktionen in bestehenden LVP-Sortieranlagen.

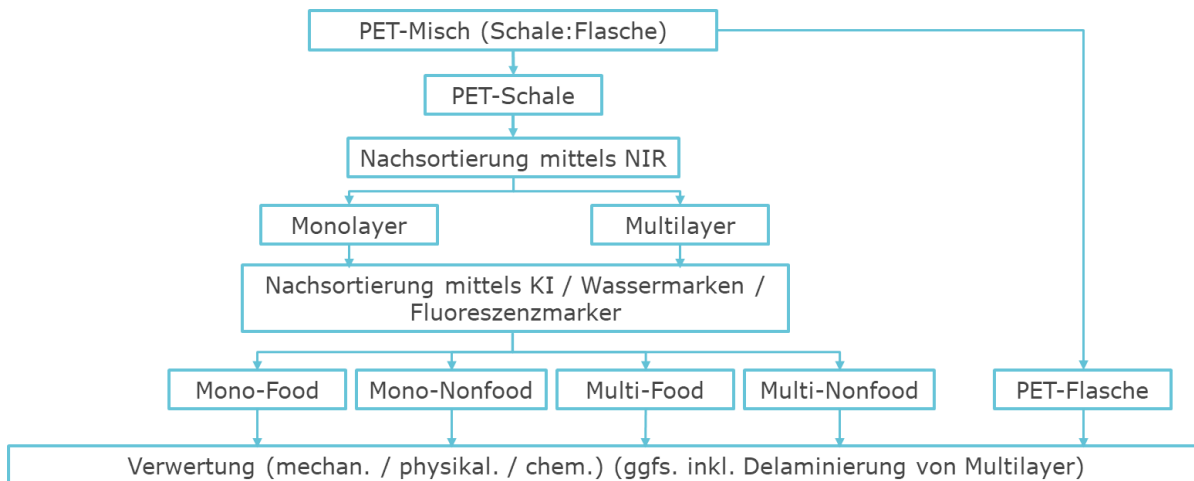


Abbildung 2: Zukünftige Möglichkeit der mehrstufige-Sortierung von PET-Schalen (LVP-Sortierung oder Nachsortierung) (eigene Darstellung)

Differenzierte Materialfraktionen durch Weiterentwicklung der Detektion mittels einstufiger Sortierung

Alternativ zur aktuell vorherrschenden Kaskadensortierung besteht die Möglichkeit eine einstufige Sortierung (siehe Abbildung 3) einzuführen. Die Idee dahinter ist, die Verpackungen des LVP-Gemisches als einzelne Objekte („Einzelobjekt-Sortierung“) mittels mehrerer in einem Sortieraggregat vereinten Sensoren (NIR, Fluoreszenz, KI, Wassermarken), direkt in unterschiedliche Materialfraktionen zu differenzieren. Denkbar wäre diese einstufige Sortierung auch anstelle der Nachsortierung beim Recycler selbst. Die Umsetzbarkeit sowie die ökologischen Vorteile werden an dieser Stelle nicht näher beschrieben, sondern müssen individuell betrachtet werden.

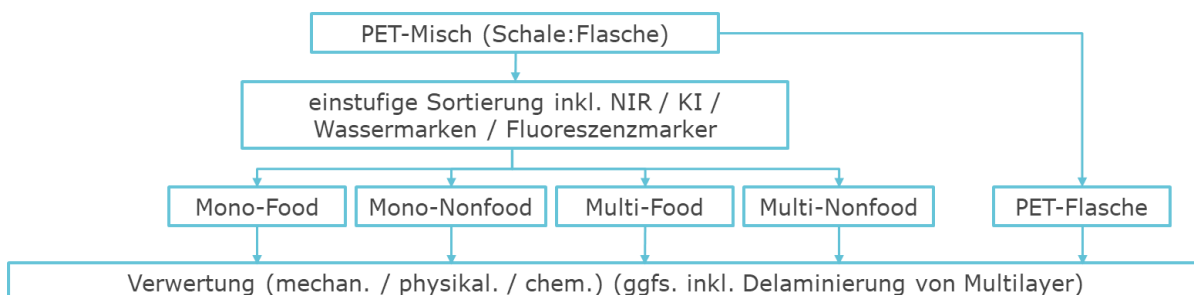


Abbildung 3: Zukünftige Möglichkeit der einstufigen Sortierung von PET-Schalen (LVP-Sortierung oder Nachsortierung) (eigene Darstellung)

Reduzierung der Materialfraktionen auf eine Mono-Food-PET-Fraktion

Alternativ zur Differenzierung der Fraktionen über die Sortierung, wird an dieser Stelle der Gedanke einer Input-Fraktion aus reinen Lebensmittel-Mono-PET-Schalen genannt. Dafür wäre es notwendig, dass Nonfood-Hersteller vollständig auf andere Kunststoffe ausweichen oder, ebenso wie Lebensmittelhersteller, foodgrade-PET-Qualität einsetzen. Bestenfalls sollten außerdem für diesen Fall, Multilayer-Schalen vollständig durch Monolayer-Schalen ersetzt werden. Ob dies jedoch im großen Maßstab umsetzbar ist, ist fraglich. Die Möglichkeit, die Sortierung auf diesem Wege zu vereinfachen, soll aber nicht unbenannt bleiben.

Anpassung der Recyclingtechnologie

PET-Schalen können aufgrund ihrer Unterschiede zu PET-Flaschen nicht in den vorhandenen PET-Flaschen-Recyclinganlagen verwertet werden. Die gravierendsten Unterschiede sind die Sprödigkeit der Schalen, der häufige Multilayeraufbau und die vermehrten Störstoffe durch organische Anhaftungen (z.B. Füllgutreste) oder Fremdstoffe (z.B. Etiketten, Klebstoff, Siegfölien). Daher gelten Schalen im Recycling als anspruchsvoller und empfindlicher als Flaschen. Zudem ist die Ausbeute im Recycling geringer als bei den Flaschen, da die Sprödigkeit für einen hohen Fein-Anteil (=kleinste PET-Teilchen) verantwortlich ist, welche nicht recycelt werden. Laut Untersuchungen

der IK Industrievereinigung Kunststoffverpackungen e.V. liegt der Fein-Anteil bei Schalen bei ca. 50%. Bei PET-Flaschen hingegen bei nur 7-8% (Kunststoffverpackungen, 2021).

Dem kann insbesondere während dem **Schreddern, Waschen und Trocknen** durch die Anpassung der folgenden Parameter entgegengewirkt werden:

- Vergrößerung der Siebgröße bei der Zerkleinerung, um den Fein-Anteil zu reduzieren
- Geringere Friktion durch Anpassung der Rotationsgeschwindigkeit bei der Wäsche, um den Fein-Anteil zu reduzieren
- Verlängerte Verweilzeit in der Wäsche für die Verbesserung der Delaminierung und Entfernung von Fremdstoffen (Füllgutreste, Klebstoffe, Label)
- Nasspuffer statt Silo, um die Delaminierung und Entfernung von Fremdstoffen zu optimieren sowie intensive Zwischentrocknungen zu vermeiden
- Geringere Friktion durch Anpassung der Rotationsgeschwindigkeit während der Trocknung, um den Fein-Anteil zu verringern.

Um die Reinheit der Rezyklate – insbesondere für die Lebensmitteltauglichkeit – gewährleisten zu können, sind zudem weitere Reinigungsschritte notwendig. Diese umfassen nicht nur die Waschprozesse, um Anhaftungen wie Füllgutreste oder Label inkl. Klebstoffe zu entfernen, sondern auch **eine spezielle Dekontamination** (auch „Super Cleaning“ genannt). Diese muss den Anforderungen der „EU-Verordnung (EU) 2022/1616 über Materialien und Gegenstände aus recyceltem Kunststoff, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen“ entsprechen. Die darin genannten „novel technologies“ müssen von der EFSA zugelassen werden, damit die Rezyklate aus dem PET-Schalen-Recycling erneut in Lebensmittelverpackungen eingesetzt werden dürfen und die Mindestrezyklateinsatzquoten der PPWR für Lebensmittelverpackungen erreicht werden können. Andernfalls finden die Rezyklate nur im Nonfood-Bereich Anwendung. Eingesetzt werden können die Rezyklate entweder im direkten oder indirekten Füllgutkontakt – letzteres hätte etwas geringere Ansprüche an das Super Cleaning und die entsprechende Rezyklatereinheit.

Einige Recycler haben bereits eine Zulassung für das Recycling von Lebensmittel-PET-Rezyklaten aus PET-Schalen, welche auch für den direkten Lebensmittelkontakt geeignet sind, jedoch muss die Kapazität europaweit noch gesteigert werden.

6 Offene Fragen

Zum jetzigen Zeitpunkt bleiben einige Fragestellung unbeantwortet bzw. die möglichen Lösungen sind noch nicht final beurteilt. Hier soll einmal zusammengefasst werden, welche Fragestellungen in der Gestaltung der PET-Schalen sowie auch für die eingesetzten Sortier- und Verwertungstechnologien weitere Bearbeitung bedürfen:

- **Siegelfolien:** Wie oben bereits erwähnt, sind aktuell schwimmfähige Siegelfolien (also aus Polyolefinen mit einer Dichte $< 1\text{g/cm}^3$) gängig, da sie aufgrund ihrer Dichte leicht vom PET abgetrennt werden können und so der Druckfarbeneintrag verhindert wird. Bei großen (und dicken) PET-Schalen macht die Siegelfolie nur einen geringen Gewichts-Prozentsatz aus, sodass das Erreichen einer Recyclingfähigkeit von 95% (nach Artikel 6 PPWR) erreichbar scheint. Bei kleinen Verpackungen mit (dünnerer) Unterfolie (bspw. Schalen für einzelne Rasierklingen) ist der Anteil der Siegelfolie jedoch im Verhältnis höher, weshalb die Idee, die Siegelfolie aus PET herzustellen nahe liegt. Der PET-Anteil in der Verpackung könnte hierdurch erhöht werden, aber die Frage nach der Lebensmitteltauglichkeit aufgrund des Druckfarbeneintrags in das Rezyklat müsste gelöst werden. Andernfalls bestünde des Weiteren die Option einen (minderen) Verwertungsweg für bedruckte Siegelfolien zu schaffen. Ob dies jedoch wirtschaftlich und ökologisch zielführend ist, ist bisweilen ungeklärt. Ob also eine PET-Oberfolie in Kombination mit Deinking, oder eine PO-Oberfolie mit einem potenziellen neuen Verwertungsweg zukunftssträchtige Lösungen darstellen, um die PPWR-Ziele zu erreichen, ist offen.
- **Bedruckung:** Sollten Siegelfolien und ggfs. die Schale selbst – unter der Voraussetzung des Vorhandenseins von Deinking-Verfahren – bedruckt werden dürfen (außer dem jetzt schon laut gängigen Design for Recycling-Guidelines möglichen Lasermarking für Mindesthaltbarkeitsdatum und Produktionscode, (D4RPetcore); (Petcore, 2024)), ist offen, welche Druckfarben dafür verwendet werden können, um für das Deinking geeignet zu sein.
- **Etiketten/Klebstoffe:** Welche Etiketten in Kombination mit welchen Klebstoffen für den Einsatz auf PET-Schalen zu empfehlen sind und ob die Ablösbarkeit nur relevant ist, wenn sich das Etikett auf der Schale nicht jedoch auf der Siegelfolie befindet, ist weiterhin offen. Das hängt sicherlich auch mit der Beantwortung der Frage nach dem Material der Siegelfolie zusammen.
- **Delaminierung von PET/PE-Verbunden:** Gibt es außer der Möglichkeit der Delaminierung durch einen im Waschwasser löslichen Kaschierklebstoff/Haftvermittler eine Möglichkeit die PET-Schicht von der PE-Schicht zu trennen? Das (physikalische) lösemittelbasierte Recycling wäre hierfür eine Option. Wie wirtschaftlich und ökologisch sinnvoll die Optionen a) Umstellung auf Mono-PET-Schale, b) Einsatz von Debonding-Klebstoff bei Multilayer und c) lösemittelbasiertes Recycling zur Trennung der Schichten, zusammenspielen könnten/sollten, ist bislang ungeklärt.
- **Additive & Hilfsstoffe:** Gegebenenfalls muss neben Fremdkunststoffen (bspw. Siegelfolien/Absorberpads) auch der Einfluss von Additiven im PET selbst auf das Recycling und die Rezyklatqualität untersucht werden.
- **Kaskaden- oder einstufige Sortierung:** Dass die aktuell vorherrschende Misch-PET-Fraktion weiter differenziert sortiert werden muss, ist klar. Ob über die bislang eingesetzte Kaskadensortierung oder das Modell der oben beschriebenen einstufigen Sortierung, ist offen. Ebenso den „Ort“ der differenzierten Sortierung der PET-Mischfraktion in die separaten Schalen-Fractionen: In der LVP-Anlage selbst oder in einer auf die PET-Schalen ausgerichteten Nachsortieranlage oder direkt beim Recycler. Die Entscheidung hängt jedoch vom jeweiligen Anwendungsfall der Rezyklate bzw. von den Anlagenbetreibern ab.
- **Sortiertechnologien:** Die notwendige Unterscheidung der Schalen nicht nur in Mono- & Multilayer, sondern auch zwischen Lebensmittel- und Nichtlebensmittelverpackung ist wichtig für den Erhalt von lebensmitteltauglichen Rezyklaten. Welche Sortiertechnologie hier zukunftsfähig ist und flächendeckend eingesetzt werden kann, ist noch nicht ganz klar: Bilderkennung

mittels Künstlicher Intelligenz, Wassermarken oder Fluoreszenzmarker oder eine Kombination derer? Bislang wird lediglich die Bildererkennung mittels KI in Einzelfällen bei der Sortierung von Endverbraucherpackungen eingesetzt.

- **Monolayer-Food-PET-Fraktion:** Alternativ zur Sortierung der Misch-PET-Fraktion in unterschiedliche Unterfraktionen (genannt in Kapitel 5 Sortierung und Verwertung) wäre zu diskutieren, ob eine reine Monolayer-Food-PET-Schalen-Fraktion die einfachere Alternative ist. Dafür wäre es notwendig, dass alle Nonfood-Hersteller auf andere Polymere ausweichen und die übrigen Food-Hersteller reine Monolayer-Schalen (keine Multilayer aus z.B. PET/PE) einsetzen. Eine Sortierung wäre somit obsolet bzw. könnte auf das Aussortieren anderer Störstoffe reduziert werden. Ob sich diese Mono-Food-PET-Schalen Fraktion jedoch auf dem Markt durchsetzen lässt, ist ungeklärt.
- **Rezyklateinsatz im direkten oder indirekten Füllgutkontakt:** Für den Einsatz von Rezyklat in Verpackungen bestehen verschiedene Möglichkeiten: Rezyklat entweder im direkten Kontakt mit dem Füllgut in der Schale einzusetzen oder im indirekten Kontakt in die Verpackung einzubringen. In beiden Fällen müssen die Anforderungen der EU-Verordnung (EU) 2022/1616 erfüllt werden. Im indirekten Kontakt könnte dies jedoch insbesondere für Lebensmittelverpackungen eher gangbar sein. Welche Variante sich zukünftig durchsetzen wird, hängt von den Recyclingkapazitäten inkl. Super Cleaning und der erreichten Rezyklatreinheit ab.
- **PET- oder PP-Schale:** Die Frage, welches Material für Schalen bestenfalls gewählt werden sollte, um die Erreichung der PPWR-Ziele „Recyclingfähigkeit“ und zugleich „Mindestrezyklateinsatz“ zu gewährleisten, kann bislang nicht beantwortet werden. Ebenso ist unklar, welches Packmittel den geringeren CO₂-Footprint für den jeweiligen Anwendungsfall hat.

7 Ausblick

Um den Stakeholdern entlang der PET-Schalen-Wertschöpfungskette eine Orientierung und eine gewisse Sicherheit zu geben, wie die PPWR-Anforderungen in Artikel 6 & 7 ab 2030 beziehungsweise 2035/2040 erreicht werden können, hat das Forum Rezyklat eine Studie bei der Bietergemeinschaft bestehend aus dem Institut cyclos-htp (CHI), der Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH (GVM) und dem Fraunhofer IBP in Auftrag gegeben.

Bekannt ist, dass Investitionen in das Design for Recycling, in die Sortierung wie auch in die Verwertung getätigt werden müssen, damit PET-Schalen ab 2030 weiterhin in den Verkehr gebracht werden dürfen. In welchem Umfang dies notwendig ist, ist bislang unklar. Ebenso ist ungeklärt, wie der Status Quo der PET-Schalen Sortier- und Recyclinginfrastruktur aussieht (die aktuellen verfügbaren Zahlen sind von 2022 in der Studie PET State of play (Petcore, 2024)). Dies soll durch die Studie untersucht und daraus Handlungsempfehlungen abgeleitet werden.

In der ersten Phase werden Zahlen und Fakten zum Aufkommen von PET-Schalen sowie die Sortier- und Recyclingquoten in Deutschland und Europa erfasst. Zusätzlich wird der aktuelle Stand der Technik der Verpackungsgestaltung, der Sortierung und Verwertung, sowie die aktuellen Einsatzmöglichkeiten für PET-Rezyklat untersucht. Daraus können Schlussfolgerungen für den Handlungsbedarf gezogen werden – die Phase eins entspricht somit einer „Gap-Analyse“, welche den Ist-Zustand mit dem Soll-Zustand in 2030 bzw. 2040 vergleicht.

Abhängig von dem in der ersten Phase festgestellten Handlungsbedarf ist es vorgesehen, die Phase zwei zu initiieren. Diese umfasst die Entwicklung von Zukunftsszenarien bzw. Technologieszenarien für die Jahre 2030 und 2040, um herauszufinden, welche genauen Maßnahmen (z.B. Sortiertechnologien, Verwertungstechnologien, Kapazitäten, Verpackungsgestaltung) ergriffen werden müssen, um die PPWR-Vorgaben zu erreichen. Unter Technologieszenarien wird folgendes verstanden: Die Kombination von verschiedenen Sortier- und Verwertungstechnologien (z.B. die Kombination von mechanischem und physikalischen Recycling mit vorgelagerter Sortierung). Diese Kombinationen werden anschließend sowohl in ihrer ökonomischen Umsetzbarkeit (Kostenanalyse) sowie hinsichtlich ihrer Umweltbilanz (CO₂-Analyse) verglichen.

Daraus abgeleitet werden Handlungsempfehlungen für die Stakeholder entlang der PET-Schalen-Wertschöpfungskette entwickelt. Damit sollten sicherlich nicht alle, jedoch einige der in Kapitel 6 formulierten Fragen, beantwortet werden können.

8 Literaturverzeichnis

Kunststoffverpackungen IK Industrievereinigung IK Position Gegenwart und Ausblick: Recycling von PET-Schalen [Online] // newsroom.kunststoffverpackungen. - Juni 2021. - <https://newsroom.kunststoffverpackungen.de/wp-content/uploads/2021/08/ikpos-pet-schalen.pdf>.

Petcore PET Market State of Play. Production, Collection & Recycling Data 2022 [Online] // Petcore-europe. - 27. März 2024. - https://petcore-europe.org/images/pet/PET_report_V3.pdf.

Umweltbundesamt Praxis der Sortierung und Verwertung von Verpackungen im Sinne des §21 VerpackG 2022/2023 [Online] // Umweltbundesamt. - August 2024. - https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/121_2024_texte_praxis_der_suv_1.pdf.

Verpackungsregister Zentrale Stelle Mindeststandard für die Bemessung der Recyclingfähigkeit von systembeteiligungspflichtigen Verpackungen gemäß §21 VerpackG [Online] // Verpackungsregister. - 29. August 2024. - https://www.verpackungsregister.org/fileadmin/files/Mindeststandard/Mindeststandard_VerpackG_2024.pdf.

ZeroWasteEurope How circular is PET? [Online] // Zero waste europe. - Februar 2022. - https://zerowasteurope.eu/wp-content/uploads/2022/02/HCIIP_V13-1-1.pdf.