



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

Kurzfassung der Studie „Vergleich innovativer Identifikationsverfahren für Post-Consumer Leichtverpackungen“

- Durchgeführt vom Forschungskonsortium aus der Technischen Universität Hamburg, der Hochschule Pforzheim und Montanuniversität Leoben
- Im Auftrag des Forum Rezyklat

AP1: Bestimmung der Leistungsfähigkeit verschiedener innovativer Identifikationsverfahren für Post-Consumer-Leichtverpackungen

A) Bewertung der Sortiertechniken

Die Studie betrachtet die Sortierung von Wertstoffen in Sortieranlagen für Leichtverpackungen (LVP). Die Sortierung, also die Separation der Wertstoffe in ihre Zielfraktionen, lässt sich als folgendes Produkt darstellen:

$$\text{Ausbringung} = \text{Detektion} \times \text{Identifikation} \times \text{mechanische Separation}$$

Dabei multiplizieren sich die Fehler der Detektion (Signalerzeugung & -messung), der Identifikation (Signalauswertung) und der Separation (Abtrennung aus dem Stoffstrom).

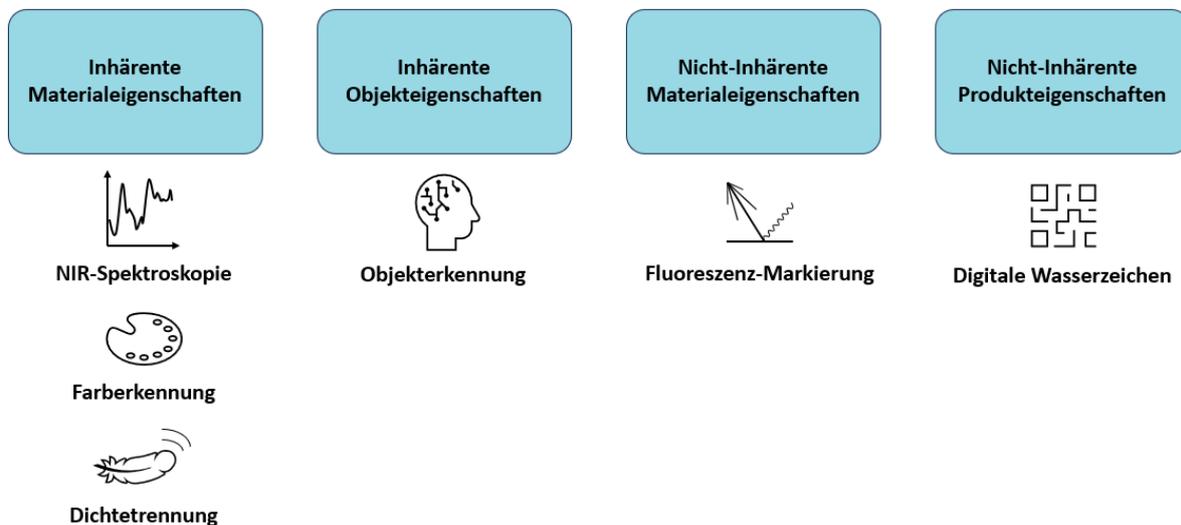
Hervorzuheben ist bei der sensorgestützten Sortierung die Entkopplung der Materialeigenschaften von der mechanischen Trennung im Gegensatz zu den „direkten Sortierverfahren“, die sich Materialeigenschaften wie Dichte oder elektrische Leitfähigkeit zunutze machen. Dadurch entsteht die Möglichkeit, sowohl verschiedene Identifikationsverfahren in einem Sortiervorgang zu kombinieren als auch Daten in Echtzeit zu erfassen.

Sonderfall: Es gibt wenige Unternehmen, die ausschließlich mittels Hydrozentrifugen auf Basis der unterschiedlichen Materialdichten sortieren und im anschließenden Verfahrensschritt Kunststoffrezyklate herstellen. In der Regel werden die Kunststoffrezyklate nach der Sortierung bei einem Recycler bzw. Verwerter an einem anderen Standort produziert.

B) Leistungsfähigkeit verschiedener neuer sensorgestützter Identifikationsverfahren

Differenzierung zugrundeliegender Funktionsprinzipien

Auf Basis von Interviews und Publikationen der verschiedenen Technologieanbieter wurden folgende Detektions- und Identifikationsverfahren beschrieben und bewertet:





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

Die Beschreibung und Bewertung der Verfahren wurden wie folgt durchgeführt:

- Übergeordnete Technologie
- Eingehen auf die spezifischen Besonderheiten des jeweiligen Verfahrens
- Beschreibung der Detektion sowie des Stoffstroms
- Bewertung des Outputs und der Kosten stets im Vergleich zum heutigen Standard (NIR-Detektion/Identifikation).
- Die mechanische Separation, also das Entfrachten der Verpackungen aus dem Abfallstrom (z. B. mittels einer Ventilleiste), wurde bei der Bewertung der Verfahren nicht berücksichtigt.

Bewertungskriterien

Eine Matrix mit 19 Bewertungskriterien fasst die für die Studie gesammelten Ergebnisse zusammen und ermöglicht einen Vergleich der Detektions- und Identifikationstechnologien miteinander und mit der NIR-Technologie als Referenztechnologie. Die Kriterien werden in der Matrix als gleichwertig dargestellt.

Für den jeweiligen späteren Anwendungsfall des Sortierprodukts empfiehlt das Forum Rezyklat die Kriterien zu gewichten und damit kritische bzw. weniger kritische Leistungsmerkmale hinsichtlich Sortierziel und Inputstrom auszudifferenzieren.

AP2: LVP-SORTIERANLAGEN IN DEUTSCHLAND

A) Anlagentypen

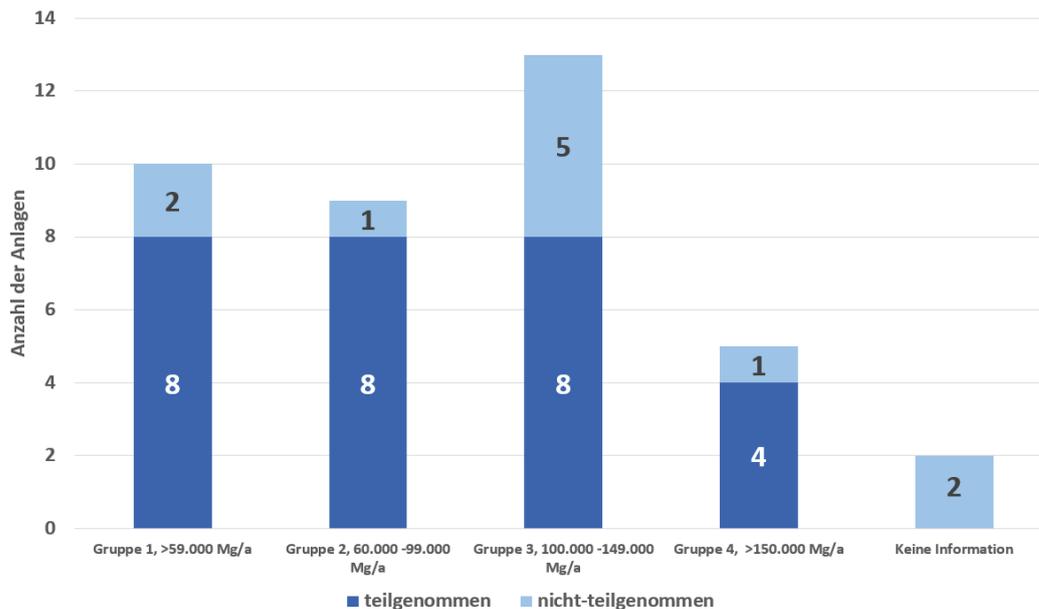


Abb. 1: Rückmeldungen der LVP-Sortieranlagen in den jeweiligen Kapazitätsgruppen

Im Jahr 2022 werden in Deutschland 39 LVP-Sortieranlagen mit einer installierten Gesamtkapazität von 3,3 Mio. Mg/a betrieben. Die Anlagen wurden nach ihrer Sortierkapazität in Abbildung 1 kategorisiert. Auf eine Befragung aller Anlagen antwortete eine repräsentative Menge von 28 Anlagen bzw. Anlagenbetreibern. Daneben wurden Ergebnisse von spezifischen Abfragen von Genehmigungsbehörden in die Auswertung einbezogen.

Dieses Ergebnis aktualisiert die Recherchen des Umweltbundesamtes (UBA) aus 2019, wonach zwar mehr Anlagen (43 Anlagen), aber eine geringere Gesamtkapazität von nur 2,7 Mio. Mg/a in Deutschland verzeichnet wurden. Vier der Anlagen der UBA-Recherche müssen nun als Sonderanlagen eingestuft werden, zwei führen keine Kunststoffsortierung mehr durch und zwei weitere andere Anlagen nutzen Schwimm-Sink-Verfahren zur Trennung von gemischten Kunststoffabfällen (Dichtentrennanlagen mit insgesamt 8,2 Prozent der Gesamtkapazität aller an der Befragung beteiligten Anlagen).



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

B) Sortierleistung und Sortierprodukte

Es kann kein universelles Ablaufschema für die Kunststoffartensortierung festgestellt werden. Jedoch konnte ermittelt werden, dass Anlagen mit einer größeren Kapazität mehr Sortierfraktionen generieren. Während kleinere Anlagen nicht immer über die entsprechenden Sortierschritte verfügen, um die vier Ziel-Kunststoffarten (PET, PE, PP und PS) zu erzeugen.

C) Sortierverfahren und Aggregation

Die Anlagen der Kapazitätsgruppe 1 setzen durchschnittlich eine NIR-Sortiermaschine ein, um eine Sortierfraktion zu erzeugen. Die Anlagen der Kapazitätsgruppe 2 nutzen bereits in der Regel zwei NIR-Sortiermaschinen für eine Sortierfraktion. Dies ist auf die zunehmende Komplexität des Sortierprozesses zurückzuführen, wie z. B. eine Positiv- und nachgelagert mit einem weiteren NIR eine Negativsortierung ("Reinigung") zur Erzeugung einer Sortierfraktion. Bei der Annahme, dass bei Anlagen mit hoher Sortierkapazität in den Kapazitätsgruppen 3 und 4 zwei bis fünf NIR-Sortiermaschinen eine Sortierfraktion erzeugen, muss herausgestellt werden, dass dies auf den hohen Durchsatz und eingeschränkte verfügbare Trennerbreiten von 2,8 m zurückzuführen ist, die eine parallele Sortierung gleicher Fraktionen notwendig macht.

D) Nachrüstooptionen

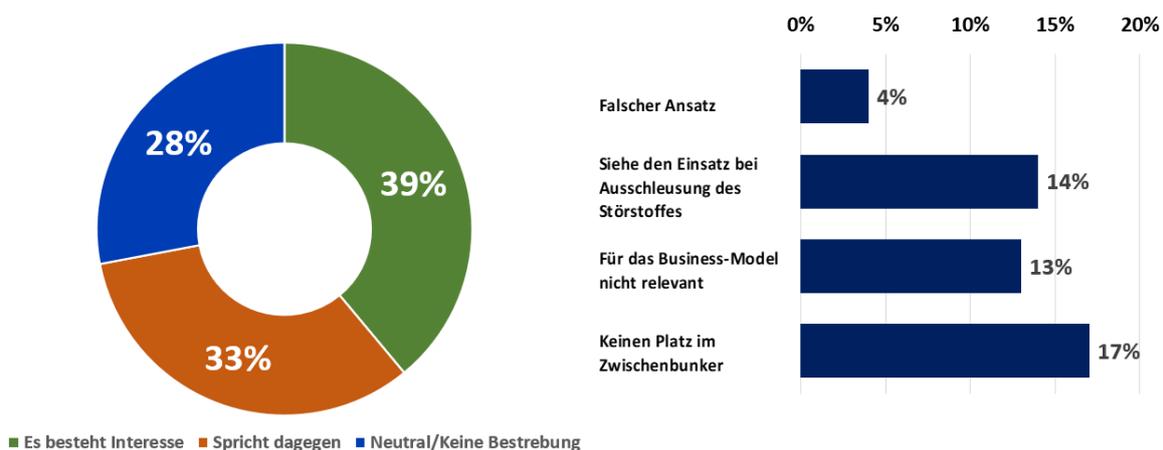


Abb. 2: Meinungsbild der Anlagenbetreiber

Wie in linker Abbildung 2 dargestellt, wird die Anwendungsbereitschaft bzw. der Nutzen neuer Technologien bei den Anlagenbetreibern unterschiedlich betrachtet. Dabei ist die Platzverfügbarkeit in der LVP-Sortieranlage ein wesentlicher Aspekt. Bei mehr als zwei Dritteln der Anlagen ist der verfügbare Raum ausgeschöpft.

Die ermittelte Korrelation zwischen der Fläche der LVP-Sortieranlage und der Kapazität muss aufgrund eines Messfehlers erneut evaluiert werden, da bauliche Regularien nicht explizit berücksichtigt wurden.

Potential und/oder aktueller Einsatz neuer Sortiertechnologien finden sich bei der Produktion von PP-Folie, PO flex oder bei der Separation von Störstoffen. Dabei wird in einigen Anlagen mit signifikanter Gesamtsortierkapazität Bildererkennung zur Ausschleusung von Silikonkartuschen oder Trennung von PET-Schalen und PET-Flaschen eingesetzt.

AP3: Konzept zur Identifikation relevanter Stoffströme und Gestaltung einer Versuchscharge für die Folgestudie

A) Literaturrecherche und -auswertung

Zur Erfassung des Wissenstandes veröffentlichter Informationen zu LVP-Abfällen wurde eine Literaturrecherche durchgeführt und dabei insgesamt acht Datenquellen gefunden. Die Datenmengen bieten überwiegend geringe und nur wenig an Tiefeninformationen. Drei Quellen enthalten explizite Daten zur Kunststoff-Zusammensetzung des LVP-Abfalls. Insbesondere die



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

Studie „Tiefencharakterisierung von Leichtverpackungen“ aus dem Jahr 2021 der Hochschule Pforzheim liefert Aufschluss über Masse und Zusammensetzung des LVP-Abfalls.

B) LVP-Daten-Auswertung

Die Tiefencharakterisierungsstudie von Leichtverpackungsabfällen ist repräsentativ für das Gesamtaufkommen. Regional und saisonal unterschiedliche Gewichtungen wurde hierin nicht berücksichtigt. Insgesamt wurden 207 kg LVP-Gesamtmasse mit 27.394 Einzelteilen analysiert. Die Zusammensetzung der Verpackungsabfälle aus dem Gelben Sack bzw. der Gelben Tonne wurde nach Material, Materialaufbau, Packmittelart, Einfärbung, Dimension sowie Lebensmittel und Nicht-Lebensmittel-Inhalt klassifiziert und quantifiziert.

C) Erarbeitung einer repräsentativen Versuchscharge

Bei der Zusammenstellung einer Versuchscharge, die auf der oben ausgeführten Recherche basiert, werden sieben inhärente Verpackungsattribute herangezogen, wie:

- Packmittel,
- Werkstoff,
- Farbe,
- Vorhandensein von Etiketten/Bedruckungen,
- Lebensmittel/Nicht-Lebensmittel-Füllgüter,
- Maße und
- Vorhandensein von Verschlüssen.

Das empfohlene Vorgehen für die Versuchscharge ist zum einen eine ABC-Analyse, die insgesamt 51 verschiedene Verpackungskombinationen berücksichtigt. Zum anderen wird ein Vorschlag für eine "Pain-Point"-Versuchscharge erstellt. Dabei sollen die identifizierten Verwertungsprobleme von Verpackungen, die bestimmte Kreislaufschritte behindern, analysiert werden. Die Verwertungsprobleme wurden neun Überkategorien zugeordnet: u. a. Etikettierung, Multilayer aus unterschiedlichen Materialien bzw. Polymeren, Verbundwerkstoffe. Die hierfür empfohlene Versuchscharge umfasst insgesamt 32 Verpackungsvarianten jeweils mit und ohne Etikett für die Hauptpolymer-Typen (LDPE, PE, PP, PS, PET).

D) Gegenüberstellung von Verwertungsproblemen zu neuen Identifikationstechnologien

Die Identifikationstechniken zeigen unterschiedliche Merkmale und Anwendungen, aber – bis auf eine Ausnahme – eignen sich alle zur Identifikation von PET, PE, PP und PS in LVP-Abfällen. Ein Sonderverfahren sortiert nicht auf Artikel-, sondern auf Flake-Ebene. Die NIR-Spektroskopie ist aktuell am häufigsten verbreitet. Einige Verfahren ermöglichen eine größere Sortiertiefe, wie z. B. die Trennung von Lebensmittel- und Nicht-Lebensmittelverpackungen.

Die Studie zeigt die Verwertungsprobleme aufgrund der "kreislaufschrädlichen" Materialien im Input von Sortieranlagen und gibt in der unteren Abbildung 3 einen detaillierten Überblick über die neuen innovativen Identifikationstechnologien sowie deren Potential aktuelle Probleme in der LVP-Sortierung zu lösen.



Abb. 3: Anwendung innovativer Sortiertechnologie zur Lösung des Verwertungsproblems in LVP-Sortieranlagen
***P-positive Sortierung, N-negative Sortierung**

Überkategorie	Verwertungsproblem	Mögliche Installationsstelle	Innovatives Identifikationsverfahren	Sortiermethode (P/N)*
Etikettierung	Nicht wasserlösliche Kleber i. V. m. nassfesten Etiketten	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar	
	Etikettierung (Etikett bedeckt >50% der Gesamtläche der Verpackung) verhindert NIR-Erkennung	NIR-Sortiermaschine f. Hauptkomponenten	Alle	P
	Fullsleeve-Etikettierung (Ausnahme: Fullsleeves von PET-Hohlkörpern – clear oder light blue – bei Verwendung von OPS-, PET- oder PO-Sleeves)	NIR-Sortiermaschine f. Hauptkomponenten	DW-2D, FM, NIR+, SZ	P
Multilayer	Einsatz von Barrierschichten (PA, PVDC, ...)	NIR-Sortiermaschine f. Polymertypen	DW-2D, DW-3D, FM	N
	Mehrschichtige Verpackungen	NIR-Sortiermaschine f. Polymertypen	DW-2D, DW-3D, FM	N
	Trennung von PET- und PET-PE-Schalen	NIR-Sortiermaschine f. PET-Schalen (falls vorhanden) Letzten Laufband vor dem PET-Bunker	DW-2D, DW-3D, FM, NIR+	NIR-Sortiermaschine f. PET-Schalen: P Letzten Laufband vor dem PET-Bunker: N
Verbundwerkstoff	KS-beschichtete Fasermaterialien	NIR-Maschine f. Kunststofftrennung	FM	N
Fremd- und Störstoffe	Silikonkomponenten, nicht trennbar	NIR-Sortiermaschine f. PE Letzten Laufband vor dem PE-Bunker	DW-2D, DW-3D, FM, OD	N
	Unverträgliche Komponenten im PET-Strom (PET-G; POM)	Letzten Laufband vor dem PET-Bunker	DW-2D, DW-3D, FM, NIR+, OD	N
	Übertragung der Verantwortung an Konsumenten zur Trennung von Verpackungskomponenten	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar	
	bestehend aus unterschiedlichen Materialien (z.B. Alu-Deckel u. Papier-Banderole von PS-Becher)			
Trennung Kunststoffart	PE-X-Komponenten	NIR-Sortiermaschine f. PE Letzten Laufband vor dem PE-Bunker	FM, NIR+	N
	EPS-Sortierung	Nicht erfassbar	FM, NIR+, OD	Solange anwendbar: N
	PET-A-Copolymere	NIR-Sortiermaschine f. PET Letzten Laufband vor dem PE-Bunker	DW-2D, DW-3D, FM, NIR+	N
	Identifikation Kunststofftypen (z. B. PET-A/G; PP-H/C.)	NIR-Sortiermaschine f. Polymerarten Letzten Laufband vor dem PE-Bunker	DW-2D, DW-3D, FM, NIR+	N
Dichte	Trennung geschäumter/nicht geschäumter Elastomer-Komponenten	Nicht relevant soweit identifizierbar durch NIR	DW-2D, FM, NIR+	Solange anwendbar: N
	Nicht-Polyolefine mit Dichte < 1 g/cm³	Nicht relevant	Alle	N
	Elastomer-Komponenten > 1 g/cm³	Nicht relevant soweit identifizierbar durch NIR	DW-2D, DW-3D, FM, NIR+, OD	N
Verpackungseigenschaften	Direktdruck (umfangreich; mehr als MHD)	NIR-Sortiermaschine f. Hauptkomponenten	DW-2D	P
	Sortierung kleiner Geometrien (< 20mmx20mm)	Nicht anwendbar	SZ	
	Schwarze Kunststoffe (Rußbasiert)	Ende des Gesamtsortierverfahrens	DW-2D, NIR+, KI, SZ	PO-Komponenten: P
	Flexible Folien < DIN A5 (geringe Dichte & niedrige Schüttdichte)	NIR-Sortiermaschine f. Folie	DW-2D, FM, SZ, NIR+, OD	Für Einschnitt LDPE: P; Für Einschnitt PP: P (soweit PP-Flex Strom vorhanden); Sonst.: N
	Erkennung völlig unbedruckter Produkte	Nicht relevant	DW-3D, FM, NIR+, OD, SZ	
Lebensmittel-zulassung	Zylindrische (rollfähige) Geometrien	Nicht relevant	SZ	
	Erkennung Food/Non-Food		DW-2D, DW-3D, NIR+, FM, OD	P oder N
Verunreinigungen und Verschmutzungen	Fehlerhafte NIR-Erkennung durch ineinander-/übereinanderliegenden und nassen LVP	Nicht relevant	SZ	
	Verpackungen mit großen Mengen an Restfüllgehalten (Design verhindert Restentleerung)	Nicht relevant	DW-2D, DW-3D, FM, NIR+, OD, SZ	



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

E) Feldversuch für die Folgestudie

Der empfohlene Feldversuch für die Folgestudie soll zwei Aspekte in Bezug auf innovative Identifikationstechnologien und deren Machbarkeit prüfen:

- Optimierungspotential des bisherigen Sortierstroms
- Entwicklung neuer Sortiertechnologien.

Zur Bewertung der Wirksamkeit der neuen Identifikationstechnologien sollte eine Material- und Lebenszyklusanalyse durchgeführt werden. Auch in Bezug auf die durchzuführenden Sortiertests ABC-Testladung und der zu vergleichenden Technologien gibt die Studie folgende Empfehlung:

1. Nur NIR als Referenz bzw. Blankotest
2. Objekterkennung
3. Fluoreszenzmarker-Identifikation
4. Erkennung digitaler Wasserzeichen

Die aktuellen Regularien verhindern einen Einsatz des Recyclingmaterials für Lebensmittel. Es wird daher empfohlen, sich bei den Sortierkriterien für PET, PP und HDPE auf kosmetische Anwendungen zu konzentrieren.

Die aus den Feldversuchen pro Sortiertechnologie generierten Rezyklate sollten tiefgreifend in Bezug auf Reinheit und Produktsicherheit analysiert werden.

Fazit

Anwendungsbereiche innovativer Identifikationsverfahren sind unterschiedlich, so dass für die jeweiligen Zielprodukte durch Anwender geeignete Technologie-Entscheidungen getroffen werden müssen. Die Studie bietet durch Aufschlüsselung des LVP-Stoffstroms und der Nachrüstungsoptionen von LVP-Sortieranlagen in Deutschland als auch die Erstellung eines Stärken- und Schwächenprofils neuer Identifikationstechnologien im Vergleich zu NIR-Spektroskopie dafür eine Entscheidungsgrundlage.

Im Allgemeinen verfolgt mehr als ein Drittel der LVP-Sortieranlagenbetreiber technologische Entwicklungen aufmerksam und hat Interesse an der Aufrüstung seiner Anlagen bekundet. Andere sind sich noch unsicher, auf welche Identifikationsverfahren künftig gesetzt werden soll. Sie brauchen eine klare Empfehlung für künftige Investitionen.

In einer Folgestudie sollten mit einem Feldversuch konkrete Belege für die Einführung bestimmter Sortiertechnologien erstellt werden, um deren Einsatz quantitativ zu bewerten und damit die passenden Technologieentscheidungen leichter treffen zu können.

Die komplette Studie steht unter folgendem Link kostenfrei zur Verfügung:
www.forum-rezyklat.de

Über das Forum Rezyklat

Das Forum Rezyklat wurde 2018 von dm-drogerie markt initiiert und versteht sich als agiles Bündnis. Mehr als 70 Mitglieder bestehend aus Händlern, Produkt- und Verpackungsherstellern, dualen Systemen, Entsorgungs- und Recyclingunternehmen sowie Vertreter:innen der Wissenschaft und Politik, bilden die gesamte Wertschöpfungskette entlang der Kreislaufwirtschaft ab. Gemeinsam arbeiten sie im Forum Rezyklat an praxis- und verbrauchernahen Strategien und Maßnahmen. Sie wollen das Bewusstsein der Menschen für Kreislaufwirtschaft fördern, um eine sortenreine Trennung der Wertstoffe zu erzielen. Dadurch können die Qualität von Recyclingmaterialien sowie der Recyclinganteil in Verpackungen erhöht werden. Des Weiteren strebt das Forum an, Verpackungen zu optimieren und schon im Entstehungsprozess neuer Verpackungen darauf zu achten, dass diese recyclingfähig sind, damit sie als Ressource dem Kreislauf erhalten bleiben. Um diese Ziele zu erreichen, engagieren sich die Mitglieder des Forum Rezyklat in Fachpaketen, die sich mit folgenden Themen befassen: Digitalisierung, Technologie und Recyclingfähigkeit, Endverbraucher-Kommunikation und Verpackungsreduzierung.