

03 . 23

28. Februar und 1. März 2023  
Präsenz in Münster + Online**18. Kreislauf-  
wirtschaftstage  
Münster**Sichere Energie- und  
Rohstoffversorgung  
und die Rolle der  
Kreislaufwirtschaft55. Jahrgang  
März 2023  
Seite 129-180[www.MUELLundABFALL.de](http://www.MUELLundABFALL.de)**Müll  
und  
Abfall**Fachzeitschrift  
für Kreislauf-  
und Ressourcen-  
wirtschaft

Berlin &amp; online, Fr 24. März 2023

**Berliner  
Klimaschutztag 2023**Gesetzgebung, Rechtsprechung und  
Impulse zum Klimaschutzrecht**Ihre Referierenden:**

Prof. Dr. Hans-Jürgen Muggenborg



Dr. Marie Ackermann



Prof. Dr. Walter Frenz



Prof. Dr. Remo Klinger

**Ein junges Rechtsterrain im Fokus**

- ▶ **Klima vor Gericht** – aktuelle Klimaklagen in Deutschland
- ▶ **Die Bedeutung des Klimaschutzrechts** für Unternehmen
- ▶ **Die Sicherung der Energieversorgung** vor dem Hintergrund des Atom- und Kohleausstiegs
- ▶ **Konsequenzen des Klimabeschlusses** für Genehmigungsverfahren, den Rechtsschutz von Bürgern und Umweltvereinigungen

– 6 Zeitstunden nach § 15 FAO –

– 1VDSI-Weiterbildungspunkt Umweltschutz –

**Gleich anmelden:**[www.ESV-Akademie.de/Klima2023](http://www.ESV-Akademie.de/Klima2023)**ESV AKADEMIE**

# Präzise und effizient sortieren mit SORT4CIRCLE®

## Der Schlüssel für die Kreislaufwirtschaft

### Precise and efficient sorting with SORT4CIRCLE®

The key for the circular economy

Jochen Moesslein, Amy Treick und Dr. Lars Watschke



**Jochen Moesslein** ist Physiker, Gründer und Geschäftsführer von Polysecure. Innovationen unternehmerisch umsetzen, die zu einer nachhaltigen Entwicklung beitragen, ist sein persönliches Ziel.

#### Zusammenfassung

Die neue Sortiertechnologie SORT4CIRCLE® der Polysecure GmbH ermöglicht die verlässliche und effiziente Sortierung von Kunststoffen oder anderen Materialien in relevante, sortenreine Fraktionen, um das hochwertige Recycling von Wertstoffen maßgeblich voranzutreiben. Dabei stehen drei zentrale Innovationen im Kern des Verfahrens: (1) ein neuer kombinierter Detektor, der für jedes Objekt NIR, Farbe, Tracer, Bild (Künstliche Intelligenz, KI) und opt. digitale Wasserzeichen simultan misst und auswertet. Dadurch wird eine erstmals technologie-offene Sortierung in definierbare, sortenreine Fraktionen möglich, aus denen wesentlich mehr hochwertige Rezyklate insbesondere durch das CO<sub>2</sub>-effiziente mechanische Recycling hergestellt werden können. (2) die anlagentechnische Realisierung der Einzelschritt-sortierung mit kontinuierlicher Objektvereinzelung, kombinierter Detektion und zielsicherer Objektablage. Somit werden alle Objekte in nur einem Schritt identifiziert und sortiert, wodurch der Sortierprozess im Gegensatz zur etablierten mehrstufigen Sortierung auch bei zahlreichen Fraktionen flexibel, skalierbar und wirtschaftlich ist. (3) die Anwendung des von Polysecure patentierten Tracer-Based-Sorting (TBS) Verfahrens. TBS basiert auf der Verwendung von Fluoreszenz-Additiven (Tracern), die als ein flexibles Werkzeug für definierbare Fraktionen, geschlossene Kreisläufe und besonders hohe Detektions- und Reinheitsraten nahe 100 % eingesetzt werden können.



**Amy Treick** studierte Verfahrenstechnik und Life Cycle and Sustainability. Mit einer Leidenschaft für Kreislaufwirtschaft arbeitet sie als Geschäftsfeldentwicklerin bei Polysecure.

#### Abstract

Polysecure GmbH's new sorting technology SORT4CIRCLE® enables the reliable and efficient sorting of plastics or other materials into relevant, pure fractions in order to significantly promote the high-quality recycling practice. Three central innovations are at the heart of the process: (1) a new combined detector that simultaneously measures and evaluates NIR, color, Tracer, image (artificial intelligence, AI) and opt. digital watermarks for every single object. This enables, for the first time, a technology-open sorting into definable, pure fractions, from which much more high-quality recyclates can be produced, especially through CO<sub>2</sub>-efficient mechanical recycling. (2) the realization of a single-step sorting process with continuous object singulation, combined detection and target-specific object deposition. Thus, all objects are identified and sorted in only one step making the sorting process, in contrast to established cascaded



**Dr. Lars Watschke** hat in angewandter Halbleiterphysik promoviert und ist technischer Leiter der Abteilung Sorting bei Polysecure.

sorting system, flexible, scalable and economical even with numerous fractions. (3) The application of Polysecure's patented Tracer-Based Sorting (TBS) technology. TBS is based on the use of fluorescent additives (Tracers), which can be applied as a flexible tool for definable fractions, closed loops and particularly high detection and purity rates close to 100%.

#### 1. Einleitung

Kreislaufwirtschaft mit hohen Wiedereinsatz- und Recyclingquoten gilt als Patentrezept gegen Rohstoffknappheit, für Klimaschutz und ist Basis für eine zukunftsfähige Wirtschaftsweise weltweit. De facto wird jedoch „der Bedarf an Materialien nur zu geringen Anteilen durch eine Kreislaufführung innerhalb des Bestandes gedeckt, weil die bestehende Abfallwirtschaft hinter den Ansprüchen einer Kreislaufwirtschaft zurückbleibt“ (SRU, 2020). Dies zeigt sich deutlich an Kunststoffen, die einen hohen Anteil des globalen Feststoffabfalls ausmachen (Gasde, J. et al., 2021). Im Jahr 2020 wurden in der EU27+3 (inkl. Großbritannien, Norwegen, Schweiz) rund 53,6 Mio. t Kunststoffe ge- bzw. verbraucht, wovon über ein Drittel für Kunststoffverpackungen benötigt wurden. Gleichzeitig wird von Seiten politischer Entscheidungsträger und der Industrie veröffentlicht, dass jährlich nur rund 30 Mio. t Kunststoffabfälle gesammelt werden (Plastics Europe, 2022). Die Diskrepanz zwischen der Menge an verbrauchten Kunststoffen und der Menge der gesammelten Kunststoffabfälle wird über die unterschiedliche Lebensdauer der Produkte erklärt. In diesem Zusammenhang wird in der Regel angenommen, dass die gesammelte Menge der gesamten Abfallmenge entspricht. Dies ist jedoch nicht der Fall, sodass kritische Stimmen von einer tatsächlichen jährlichen Abfallmenge von ~ 45 Mio. t Kunststoffen pro Jahr ausgehen (Agora, 2021). Betrachtet man diese Zahl im Verhältnis zu den nur 4,6 Mio. t Rezyklat, die in Europa hergestellt und erneut eingesetzt wurden, zeigt sich zum einen eine geringere Recyclingquote als in der Öffentlichkeit kommuniziert (siehe Abb. 1). Zum anderen wird ein umso dringenderer Handlungsbedarf deutlich, der vor dem Hintergrund des europäischen

## Präzise und effizient sortieren mit SORT4CIRCLE®

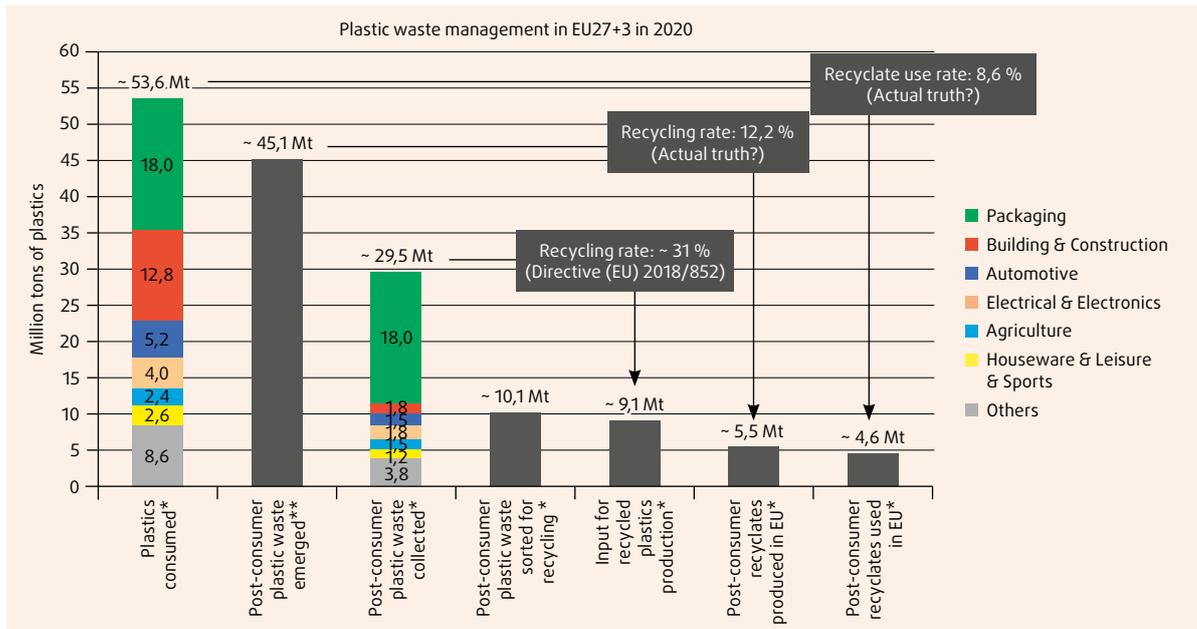


Abbildung 1  
Darstellung der Kunststoffabfallwirtschaft in der EU27+3 (inkl. Großbritannien, Norwegen, Schweiz) im Jahr 2020, inkl. Quotenberechnungen. \*Plastics Europe (2022) \*\*Agora (2021)

Ziels von 10 Mio. t eingesetztem Recyclingkunststoff ab 2025 verstärkt wird (European Commission, 2018). Dabei weist die Differenz zwischen der sortierten und tatsächlich rezyklierten Menge an Kunststoffabfällen auf die Notwendigkeit für eine effizientere Sortiertechnologie mit hoher Sortierqualität hin.

## 2. Stand der Technik

Dem aktuellen Stand der Technik entsprechend werden sensorgestützte, optische Verfahren am häufigsten zur automatischen Sortierung von Kunststoffabfällen verwendet. In diesem Kontext ist vor allem die Nahinfrarot (NIR) Spektrometrie im Einsatz, wie bspw. zur Sortierung von Leichtverpackungen (LVP). Hierzu wird in aneinandergereihten NIR-Sortern jeweils nur eine Kunststofffraktion identifiziert und durch Ablasen mittels Luftdruckdüsen vom Reststrom abgetrennt. Der Sortieraufwand wächst also signifikant mit der Anzahl der gewünschten Sortierfraktionen. Dies steht in Diskrepanz mit den weiteren Fraktionen, die eine hochwertige Kreislaufwirtschaft der Kunststoffe eigentlich erfordert (z.B. Multimaterial vs. Monomaterial). Gleichzeitig sind auch mit dem physikalischen Funktionsprinzip der NIR-Sortiertechnik zentrale Einschränkungen verbunden. So werden die zu sortierenden Objekte mit Halogenlampen beleuchtet und die für das jeweilige Polymer charakteristischen Absorptionsbanden im Reflexionsspektrum erfasst (Neubauer, C., et al., 2021). Die Spektren können in der Praxis jedoch durch bspw. Additive oder Formulierungsabweichungen maskiert werden, was die Verlässlichkeit der Detektion beeinträchtigt. Folglich ist die NIR-Technik praktisch auf die Erkennung der Hauptpolymere (i.d.R. PE, PET, PS, PP) beschränkt, sodass wichtige Unterklassen oder anwendungsrelevante Spezifikationen nicht unterschieden werden. Demnach verbleibt nicht nur ein erheblicher Anteil der Kunststoffe in der minderwertigen Mischfraktion oder im Sortierrest, es kommt auch zu entsprechender Verunreinigung der wertstoffangereicherten Kunststofffraktionen (Wilts, H.,

et al., 2016). So werden beispielsweise Verbundmaterialien fehlerhaft nur einem Polymertyp zugeordnet, Hauptkunststofftypen mit unterschiedlichen Additiven nicht unterschieden und eine verwendungsspezifische Differenzierung nicht abgebildet (z. B. Food- vs. Nonfood) (Woidasky, J., et al., 2018). Außerdem stößt die NIR-Technik bei der Erkennung von u. a. übereinanderliegenden, schwarzen, verschmutzten, nassen oder intensiv bedruckten Objekten an ihre Grenzen (Schmidt, J., et al., 2021). Darüber hinaus sind die LVP-Anlagen aus wirtschaftlichen Gründen auf die Erfüllung von Mindestqualitäten ausgelegt und mit maximalem Durchsatz betrieben, was zu weiteren Minder- und Fehlanswürfen führt (LAGA, 2021). So sind in der LVP-Sortieranlage oftmals manuelle Nachsortierungsprozesse erforderlich. Anschließend werden die Sortierfraktionen zu Ballen gepresst und an Verwerter geliefert, die die Fraktionen zerkleinern, waschen, nochmals sortieren und zu Recyclinggranulat extrudieren. Bei der erneut durchgeführten Nachsortierung beim Verwerter kann man mit einem weiteren Massenverlust von bis zu 35 % der aufzubereitenden Fraktionen rechnen (LAGA, 2021).

Es besteht somit ein deutlicher Handlungsbedarf, die Genauigkeit und Effizienz der automatischen Sortierung durch ein innovatives, skalierbares Sortiersystem zu verbessern, das die Differenzierung sortenreiner, spezifischer Fraktionen entsprechend den Bedürfnissen des Marktes und den Ansprüchen einer CO<sub>2</sub>-effizienten Kreislaufwirtschaft ermöglicht – die neue Sortiertechnologie SORT4CIRCLE® der Polysecure GmbH stellt hierzu einen entscheidenden Lösungsansatz dar.

## 3. Innovative Lösung zur hochwertigen Sortierung von Wertstoffen – präzise, verlässlich, effizient

Die von Polysecure entwickelte Sortiertechnologie SORT4CIRCLE® umfasst die drei Hauptprozessschritte **Vereinzelung des Sortierguts, Kombinierte Detektion und Ablage in Fraktionen an einer Stufe**

## KREISLAUFWIRTSCHAFT | SORTIERTECHNOLOGIEN

Abbildung 2  
Funktionsweise der Einzschrittsortierung mit kombinierter Detektion anhand von Kunststoffverpackungen

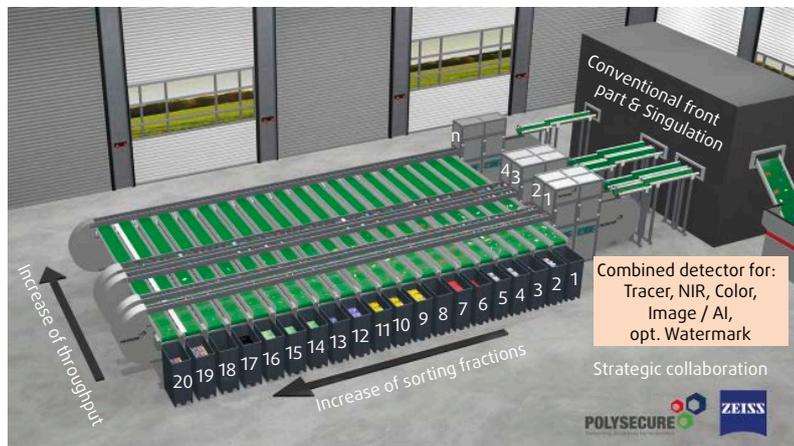
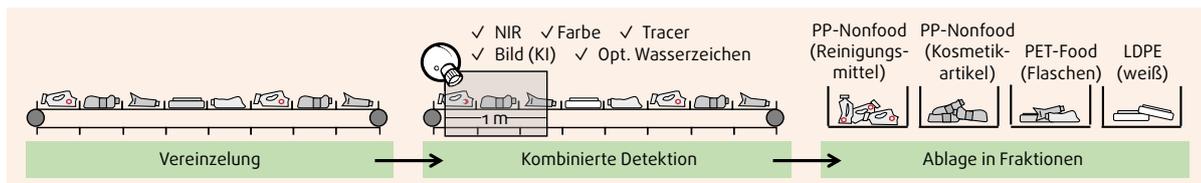


Abbildung 3  
Simulation einer SORT4CIRCLE®-Anlage zur Einzschrittsortierung von Verpackungen mit mehreren parallelen Sortierlinien, inkl. Vereinzlung, kombinierter Detektion und Ablage

(siehe Abb. 2). Somit werden in dem neuen einstufigen Verfahren alle Objekte erst vereinzelt, dann einmalig vollumfänglich identifiziert und in einem einzigen Schritt zielsicher abgelegt. Dabei wird zur Materialidentifikation u. a. das von Polysecure entwickelte und patentierte Tracer-Based-Sorting (TBS) Verfahren angewendet. Dieses basiert auf der Verwendung kleinster Mengen von Fluoreszenz-Additiven (Tracer) auf bzw. in Objekten, die nach geeigneter Anregung in einer spezifischen Farbe leuchten. Dieses Signal kann eindeutig einem Tracer-Sortiercode und dieser einer Sortierfraktion zugeordnet werden, wodurch Kunststoffabfall in die Fraktionen getrennt werden kann, die auch getrennt zu recyceln sind, um höhere Sortier- und Recyclingquoten zu erreichen (z. B. PE-Non-Food- vs. PE-Food-Verpackungen).

Im Kern vereint die Sortiertechnologie damit drei zentrale Innovationen, die im Folgenden erläutert sowie aktuelle technische Entwicklungsergebnisse vorgestellt werden.

### 3.1 Innovation der kombinierten Detektion zur vollumfänglichen optischen Analyse

Das Herzstück der Sortiertechnologie stellt ein innovativer kombinierter Detektor dar, der aus Untereinheiten zur NIR-, Farb-, Tracer-, Bilderkennung (Künstliche Intelligenz, KI) und ggf. Wassermarken-Erkennung besteht. Durch die Kombination dieser schnellen Messtechniken wird einerseits für eine große Vielfalt von Objekten eine verlässliche Identifikation möglich. Andererseits basiert die Sortierentscheidung nicht mehr nur auf einer Detektionstechnologie, sodass z. B. auch Objekte ohne Tracer durch NIR, Farbe und Bild (KI) charakterisiert werden können. Folglich sind die Tracer nicht per se erforderlich, sondern ein flexibles Werkzeug, das definierbare Fraktionen, geschlossene Kreisläufe und sehr hohe Erkennungs- und Reinheitsquo-

ten ermöglicht. Der kombinierte Detektor lässt so den „fließenden“ Übergang von der heutigen limitierten zu einer präzisen und umfassenden Sortiertechnik zu. Darüber hinaus ist dieser durch den modularen Aufbau in seiner Art flexibel um existierende und zukünftige Messtechniken erweiterbar, was dem zukunftsweisenden und anpassungsfähigen Charakter des gesamten Sortieranlagenkonzepts entspricht. So könnte beispielsweise für den Verpackungsbereich ein Modul zur Detektion von digitalen Wasserzeichen integriert werden, sollte sich die Zweckdienlichkeit dieser Technologie in der Praxis bewiesen haben. Im Ergebnis entsteht damit ein erstmals **technologie-offenes Sortierverfahren**, um in der heutigen dynamischen Technologielandschaft das bestmögliche Detektionsverfahren zu ermöglichen. Polysecure entwickelt den kombinierten Detektor in Kooperation mit der Carl Zeiss AG.

### 3.2 Innovation der Einzschrittsortierung als skalierbares, effizientes Verfahren

Eine zentrale Innovation von SORT4CIRCLE® stellt die einmalige optische Analyse und zielsichere Ablage vereinzelter Objekte dar. Dieser Prozess der sog. Einzschrittsortierung (vgl. Brief-, Paketsortierung) grenzt sich deutlich von bisher etablierten kaskadisch arbeitenden Sortieranlagen ab, in denen in mehreren Sortierstufen jeweils eine Kunststofffraktion basierend auf i. d. R. einer gemessenen Eigenschaft vom Reststrom separiert wird. Als Konsequenz verringert sich durch die Einstufigkeit nicht nur die Komplexität des mehrstufigen Systems, sondern eröffnet die Möglichkeit, kurzfristig und **flexibel** weitere Zielfraktionen hinzuzufügen oder ändern zu können. Wie in Abb. 3 skizziert, werden die Objekte vereinzelt in eine Art Schalenband abgelegt, durch die kombinierte Detektionseinheit geführt, dort präzise identifiziert und unmittelbar in die jeweilige Endstelle abgelegt. Im Vergleich zu dem sonst üblichen pneumatischen Ausblasen eines nicht vereinzelt Objektstroms mit nur bedingter Präzision bspw. bei sich überlappenden Objekten, wird diese Zielsicherheit der Ablage durch das Handling eines vereinzelt Objektstroms deutlich verbessert.

### 3.3 Innovation des Tracer-Based-Sorting Verfahrens zur Sortierung in definierbare, besonders reine Fraktionen

Die Anwendung von Tracer-Based-Sorting (TBS) stellt eine innovative Branchenlösung für bisherige Sortierherausforderungen im Kunststoffbereich dar. Durch den Einsatz der von Polysecure entwickelten Fluoreszenz-Tracer ist ein vom Werkstoff unabhängiges Trennmerkmal identifizierbar, um die Sortierung nach relevanten, spezifikationsgerechten Fraktionen entsprechend des idealen Recyclingpfades zu gewährleisten. Damit wird durch diese Befähigung von Sor-

## Präzise und effizient sortieren mit SORT4CIRCLE®

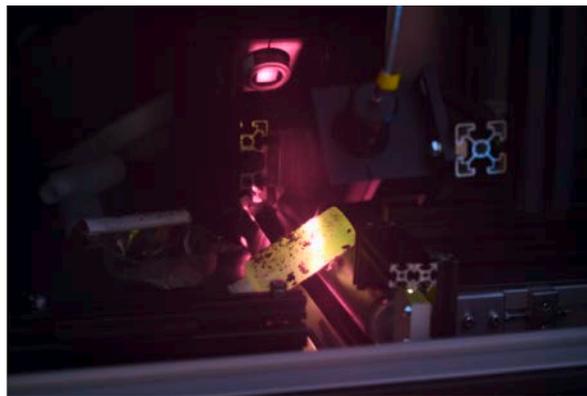


Abbildung 4  
Markierte, verschmutzte Verpackungen beim Durchgang des Laservorhangs mit (links) und ohne (rechts) Umgebungslicht

tierstrecken, hoch-spezifische Unterfraktionen differenzieren und sortenrein trennen zu können, die Basis zur hochwertigen Kreislauffähigkeit geschaffen.

Bei den Tracermaterialien handelt es sich um Seltene-Erden-Verbindungen, die über einen innovativen Syntheseprozess hergestellt werden und unter speziellen Anregungsbedingungen in einer charakteristischen „Farbe“ leuchten. Dieses weitgehend radial symmetrisch emittierte Fluoreszenzsignal ist dabei am besten geeignet, um Verpackungen und andere Materialien, die sich schnell und chaotisch bewegen, deformiert und verschmutzt sind und in großer Vielfalt bedruckt und unbedruckt auftreten, schnell und verlässlich zu identifizieren und sortieren (siehe Abb. 4). Basierend auf der Kombination diverser Tracermaterialien hat Polysecure ein Sortiercode-System entwickelt, womit Verpackungen und andere Materialien kreislauf- und recyclingfähig werden, weil sie präzise, sprich **verlässlich** sortiert werden können.

Die Entwicklung der eigenen Tracer hat Polysecure von vonherin mit Blick auf maximale Effizienz und Biokompatibilität durchgeführt. So wurden bereits große Fortschritte für eine verlässliche Detektion selbst bei geringsten Tracerkonzentrationen (z. B. 3–30 ppm in Kunststoffen) erreicht. Darüberhinaus zeigen die bisherigen toxikologischen Untersuchungen sowie Migrationstests, dass mit einer Zulassung für die Anwendung im Lebensmittelkontakt gerechnet werden kann.

Hinsichtlich der Traceranwendung können diese über konventionelle Druckprozesse oder über Etikett auf bspw. eine Verpackung aufgebracht und im Recyclingprozess entsprechend mit der Drucktinte abgewaschen oder entfernt werden. Alternativ dazu können die Tracer auch als dauerhafte Dotierung im Kunststoff dispergiert werden. Dabei haben bisherige Untersuchungen gezeigt, dass die Tracer mehrere Extrusionszyklen und andere Belastungen überleben, ohne die Eigenschaften des Kunststoffs selbst negativ zu beeinflussen. Als Bestandteil des Kunststoffs könnten sie so beim Produzenten und Inverkehrbringer zur Qualitätssicherung von Rezyklaten und Compounds verwendet werden

### 3.4 Hohe Sortenreinheit bei der Sortierung von markierten flexiblen Verpackungen innerhalb industrietypischer Sortiertests

Nachfolgend werden die **hohe Verlässlichkeit** der Tracerdetektion, die in einer **hohen Fraktionsreinheit** re-

sultiert, im Rahmen industrietypischer Sortiertests mit markierten flexiblen Verpackungen demonstriert. Die Versuche wurden im Zuge des EU-geförderten Horizon 2020 Projekts „CIRCULAR FoodPack<sup>1</sup>“ (CFP) durchgeführt. Eines der gesetzten Ziele dieses mit 14 Projektpartnern 2021 gestarteten Vorhabens liegt auf der erstmaligen erfolgreichen Demonstration eines geschlossenen Recyclingkreislaufes im industriellen Maßstab für Lebensmittelverpackungen basierend auf Mono-Polyethylen (PE). Damit ein entsprechender Wiedereinsatz als Lebensmittelkontaktmaterial ermöglicht wird, legt u. a. die EU-Verordnung/282/2008<sup>2</sup> eine Reinheitsanforderung von >99% an die sortierten PE-Lebensmittelverpackungsfraction aus dem Post-Consumer Abfallstrom. Dieses Kriterium kann aus den Materialeigenschaften der Verpackung selbst nicht abgeleitet werden, sodass die Tracer von Polysecure als zusätzliches Sortierkriterium zur spezifischen Markierung und Sortierung angewendet werden.

Für die Sortierversuche werden industriell relevante und typische Bedingungen gewählt. Für diesen Zweck wird ein industrietypischer NIR-Sorter im Sortiertechnikum der Steinert GmbH (Steinert UniSort Film EVO 5.0) um einen Tracer-spezifischen Anregungslaser erweitert, der einen Laservorhang in der Bildebene der NIR-Kamera aufspannt. Somit lassen sich markierte Verpackungen innerhalb der Anlage detektieren und entsprechend pneumatisch vom Reststrom ausblasen.

Als markiertes Verpackungsmaterial wurden flexible Verpackungsbeutel mit Tracer-versetzter Tinte (weiß) bedruckt und gegenlaminiert. Solche so hergestellten Verpackungsmuster wurden einzeln mit hoher Geschwindigkeit durch die adaptierte Sortiermaschine bewegt. Hierbei wurden stochastisch deformierte Verpackungsmuster bei 200 Durchläufen 200-mal korrekt erkannt. Dieses sog. TBS-light-Detektionsverfahren an sich ist also in der Lage, trotz Deformation und schneller, orientierungsloser Bewegung **Sortierfraktionen mit >99% Reinheit** zu gewährleisten.

Für die Sortierversuche in einem industrietypischen Abfallstrom wurden insgesamt ~315 kg dieses markierten Verpackungsmaterials mit einem authentischen Hintergrundstrom von ebenfalls ~315 kg PE-basierten Leichtverpackungen, entnommen aus dem französi-

1 Das Projekt CIRCULAR FoodPack wird durch das EU Horizon 2020 Forschungs- und Innovationsprogramm gefördert, unter der Grant Agreement No. 101003806  
2 Novelliert durch die Verordnung EU/2022/1616

## KREISLAUFWIRTSCHAFT | SORTIERTECHNOLOGIEN

Abbildung 5  
Markierte Verpackungsbeutel (links, 25 µg/cm<sup>2</sup> Tracer in weißer Tinte) werden mit Hausmüll (Mitte) gemischt



schen Haushaltsmüllstrom in Poitiers bei Paris, vermischt (siehe Abb. 5).

Der Sortiervorgang wird, wie in der Praxis üblich, in zwei Schritten durchgeführt. Dabei wird das Material zunächst verdichtet, sprich alle markierten Verpackungen ausgeblasen (Schwerpunkt: Quantität), um anschließend beim sog. Cleaning alle in diesem Strom verbliebenen nicht-markierten Objekte zu separieren (Schwerpunkt: Qualität). Nachdem das gesamte Verpackungsmaterial unter industrie-typischen Bedingungen (Förderbandbelegung: 30 %, Bandgeschwindigkeit: 4,5 m/s, Durchsatzleistung: 1,4 t/h) sortiert wurde, wurde die entsprechende Sortierleistung ausgewertet.

Über den gesamten Sortierversuch konnte eine **Fraktionsreinheit von 97,4 %** der markierten PE-Lebensmittelverpackung erreicht werden, während eine **Materialeffizienz von 90,2 %** beibehalten wurde (Die Materialeffizienz gibt an, wie viel Prozent der Verpackungen, die in den Sortierprozess eingehen, schlussendlich in der entsprechenden sortierten Fraktion erscheinen). Im Zuge der Materialanalyse der sortierten Fraktion wurde deutlich, dass es sich bei den Verunreinigungen überwiegend um schwarze, teils manngroße Folien (v. a. Agrarfolien) handelt (siehe Abb. 6). Diese kamen aufgrund des fehlerhaften Auswurfs übereinander liegender Objekte, sowie dem Nichterkennen Carbon-black gefärbter Materialien im NIR-Sorter zustande. Das Auftreten dieser Verunreinigungen kann durch SORT4CIRCLE® gelöst werden, da hier eine Objektüberlappung durch die anfängliche Vereinzelnung praktisch ausgeschlossen werden kann und gleichzeitig eine Erkennung schwarzer Objekte durch den kombinierten Detektor inkl. Farberkennung ermöglicht wird. Somit sind > 99 % Reinheit der sortierten Fraktionen mit SORT4CIRCLE® möglich.

#### 4. Möglicher Einsatz von SORT4CIRCLE® und Tracer-Technologien in der Praxis

Grundsätzlich verwandelt SORT4CIRCLE® die herkömmliche stufenweise Sortierung mit pneumatischen NIR-Sortern in ein einstufiges, technologieoffenes Sortierverfahren mit vielfältigen technischen und wirtschaftlichen Vorteilen, insbesondere wenn mehr als nur einige wenige, einstellige Fraktionen sortiert werden sollen. Demnach ist SORT4CIRCLE® eine Sortiertechnologie speziell für **neue Sortieranlagen oder für die Aufrüstung herkömmlicher Sortieranlagen** vorgesehen.

Besteht bereits eine Sortierinfrastruktur, kann SORT4CIRCLE® zur **Nachsortierung vorsortierter Polymerfraktionen** eingesetzt werden, um sowohl die Reinheit der Hauptpolymerfraktionen zu erhöhen als auch weitere Fraktionen durch Farbe, Tracer, KI, opt. Wasserzeichen zu unterscheiden. Nicht nur beim Betreiber einer Sortieranlage kann SORT4CIRCLE® genutzt werden sondern auch **als Vorsortiereinheit beim Recycler**, um die Eingangsströme für ihre Recyclingprozesse präzise zu sortieren und so qualitativ hochwertige, spezifizierte Rezyklate zu erzeugen.

Um zusätzlich eine Tracer-Detektion für alte NIR-Sorter im Betrieb zu ermöglichen, hat Polysecure darüber hinaus die **TBS-light** Technologie entwickelt, die in den in Kapitel 3.4 beschriebenen Sortierversuchen angewendet wurde. Dabei wird eine kostengünstige laserbasierte Anregungsoptik (~10k Euro pro Meterbandbreite) in bestehende NIR-Sorter integriert, um diese zur Tracer-Detektion zu befähigen. Kostenintensive neue Kameras, mehr Rechenleistung oder starke Licht- bzw. Anregungsfelder werden somit nicht benötigt.

Abbildung 6  
Sortierte Fraktionen (links) und analysierte Verunreinigungen (rechts) mit hohem Anteil an schwarzen manngroßen Folien



## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Ziel des neuen Sortierverfahrens SORT4CIRCLE® der Polysecure GmbH ist es, die Sortierung von Kunststoffen und anderen Materialien auf ein neues Level an Präzision, Reinheit und Effizienz zu heben. Dies ist ein zentraler Baustein, um das bisher ungenutzte Recyclingpotential v. a. von Kunststoffen besser auszuschöpfen. Mit der dabei vorgesehenen Einzelschritt-sortierung mit kombinierter Detektion (NIR, Farbe, Tracer, Bild (KI), opt. weitere Detektionstechnologien (z. B. digitale Wasserzeichen)) lassen sich sowohl Quantität als auch Qualität der sortierten Fraktionen optimieren. Konkret heißt dies:

- ◆ Durch die Vereinzelung, die kombinierte Detektion, die Tracer-Technologie und die einstufige Ablage kann **wesentlich mehr Abfall reiner (z. B. bei Verpackungen: 70% der Kunststoffe statt heute 20–40% mit > 99% Sortenreinheit statt heute im Schnitt ~ 90%) in diejenigen Fraktionen sortiert werden, die die Kreislaufwirtschaft wirklich braucht**, um CO<sub>2</sub>-effizient höhere Recyclingquoten zu verwirklichen: z. B. Lebensmittel-, Kosmetik- und Waschmittel-Verpackungen können differenziert, Verpackungsfolien sortiert sowie Verunreinigungen abgetrennt werden. So können reine, spezifizierete Inputströme für das nachfolgende mechanische Recycling, ein physikalisches oder ein chemisches Recycling erzeugt werden. Gleichzeitig zeigen aktuelle Kalkulationen, dass SORT4CIRCLE® neben der höheren Sortierqualität und Funktionalität im Vergleich zu bestehenden mehrstufigen NIR-Sortieranlagen wirtschaftlich ist.
- ◆ Durch die simultane Nutzung unterschiedlicher Detektionstechnologien entsteht zum ersten Mal ein **technologie-offenes Sortiersystem**, in das neue Sortiermerkmale eingeführt werden können, ohne aufwändig einen neuen Technologie-Standard etablieren zu müssen. Betreiber von Sortieranlagen können somit zukunftsichere Investitionsentscheidungen treffen. Dadurch kann der Innovationsstau schneller beseitigt werden.
- ◆ Durch SORT4CIRCLE® und Tracer können insbesondere auch **Verpackungen von einzelnen Brands** und neue Verpackungsarten wie z. B. biologisch abbaubare und Papier-basierte Verpackungen gezielt und verlässlich abgetrennt und **sortiert** werden.
- ◆ SORT4CIRCLE® ist **skalierbar und wirtschaftlich**, gerade bei mehreren Fraktionen. Bei einem stufenweisen Sortierprozess muss für jede weitere Fraktion eine neue Sortierstufe eingerichtet werden. Bei SORT4CIRCLE® hingegen können weitere Fraktionen zu geringen Mehrkosten flexibel ergänzt werden. Diese Modularität kombiniert mit der Technologieoffenheit unterstreicht die Anpassungsfähigkeit des SORT4CIRCLE® Anlagenprinzips an entsprechende Markt- und Technologiedynamiken, woraus sich die Zukunftssicherheit der Anlageninvestition ergibt.

Im Ergebnis entsteht mit SORT4CIRCLE® ein Sortierverfahren, welches den Anforderungen einer echten

Kreislaufwirtschaft gerecht werden kann und sich zu einer Standardanwendung in der hochwertigen Sortierung von Wertstoffen jeglicher Art etablieren lässt.

### Literatur

- Agora. (2021):** Europe's missing plastics. [https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Partnerpublikationen/2021/Material\\_Economics\\_Europes\\_Missing\\_Plastics/Material\\_Economics\\_Europes\\_Missing\\_Plastics.pdf](https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Partnerpublikationen/2021/Material_Economics_Europes_Missing_Plastics/Material_Economics_Europes_Missing_Plastics.pdf)
- European Commission. (2018):** A European Strategy for Plastics in a Circular Economy.
- Gasde, J. et al. (2021):** Plastics Recycling with Tracer-Based-Sorting: Challenges of a Potential Radical Technology. *Sustainability*, 13(1), 258.
- LAGA. (2021):** Kennzeichnung/Identifizierung von Kunststoffen. [https://www.laga-online.de/documents/kik\\_bericht\\_18\\_1591617236.-v\\_06022020\\_f.pdf](https://www.laga-online.de/documents/kik_bericht_18_1591617236.-v_06022020_f.pdf)
- Neubauer, C., et al. (2021):** Sortierung und Recycling von Kunststoffabfällen in Österreich: Status 2019. [https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0744\\_hauptteil.pdf](https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0744_hauptteil.pdf)
- Plastics Europe. (2022):** The Circular Economy for Plastics. [https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2022/06/PlasticsEurope-CircularityReport-2022\\_2804-Light.pdf](https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2022/06/PlasticsEurope-CircularityReport-2022_2804-Light.pdf)
- Schmidt, J., et al. (2021):** Challenges and Solutions for Plastic Packaging in a Circular Economy. *Chemie Ingenieure Technik*, 93(11), pp. 1751–1762.
- SRU. (2020):** Für eine entschlossene Umweltpolitik in Deutschland und Europa. [https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/01\\_Umweltgutachten/2016\\_2020/2020\\_Umweltgutachten\\_Kurzfassung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/01_Umweltgutachten/2016_2020/2020_Umweltgutachten_Kurzfassung.pdf?__blob=publicationFile&v=2)
- Wilts, H., et al. (2016):** Entwicklung von Instrumenten und Maßnahmen zur Steigerung des Einsatzes von Sekundärrohstoffen. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/texte\\_65\\_2016\\_steigerung\\_einsatz\\_sekundaerrohstoffe.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/texte_65_2016_steigerung_einsatz_sekundaerrohstoffe.pdf)
- Woidasky, J., et al. (2018):** Tracer Based Sorting – Innovative Sorting Options for Post Consumer Products. *Recycling & Waste Processing*, pp. 105–110.

### Anschrift der Autoren

Jochen Moesslein, Amy Treick und Dr. Lars Watschke  
Polysecure GmbH  
St. Georgener Str. 19, 79111 Freiburg

# Das gesamte Abfallrecht – von Profis für Profis

## ESV-Digital Recht der Abfall- und Kreislaufwirtschaft Plus

**Einzigartig für Experten im Abfall- und Kreislaufwirtschaftsrecht:** Ihre fachübergreifende Rundumlösung als Datenbank – an einem Ort gebündelt, laufend aktualisiert, mit einem Klick mobil.

- ▶ **Beurteilen Sie auch kritische Fälle versiert:** mit allen wichtigen **Normtexten** zur Abfall- und Kreislaufwirtschaft (EU/Bund/Länder), praxisnahen **Kommentierungen**, allen Ausgaben der **Zeitschrift AbfallR** vom Lexxion Verlag seit 2020, instruktiven **Fachbeiträgen** zu weiteren Praxisthemen, Materialien wie **LAGA-Mitteilungen** etc.
- ▶ **Vertiefen Sie gezielt Ihre Fachkompetenz** zu den wichtigen technischen Fachtermini und Abläufen, direkt verknüpft mit abfallrechtlichen Vorgaben

### Ihr persönlicher Arbeitsplatz

**Gut verlinkt und überall mobil:** suchen, notieren, markieren, zitieren, exportieren – mit **automatischen Updates**.

#### Inhalte dieser Datenbank:

- ▶ von Lersner/Wendenburg/Kropp/Rüdiger, **Recht der Abfall- und Kreislaufwirtschaft des Bundes, der Länder und der Europäischen Union**
- ▶ **AbfallR – Zeitschrift für das Recht der Kreislaufwirtschaft** vom Lexxion Verlag
- ▶ **Bücher** zum Abfallrecht
- ▶ **ESV-Rechtsprechungssammlung**
- ▶ **ESV-Vorschriftensammlung**

**1 Nutzer 59,- €**  
Einzellizenz, netto/Monat

**3 Nutzer 97,35 €**  
ESV-Bürolizenz, netto/Monat



Gleich 4 Wochen gratis testen:

[www.ESV-Digital.de/Abfallrecht](http://www.ESV-Digital.de/Abfallrecht)

Bestellungen bitte an den Buchhandel oder:  
Erich Schmidt Verlag GmbH & Co. KG  
Genthiner Str. 30 G · 10785 Berlin  
Tel. (030) 25 00 85-229 · Fax (030) 25 00 85-275  
ESV@ESVmedien.de · www.ESV.info

Weitere Lizenzangebote  
gerne auf Anfrage unter  
(030) 25 00 85-295/-296  
oder KeyAccountDigital@  
ESVmedien.de



Die Kommentierung „Recht der Abfall- und Kreislaufwirtschaft des Bundes, der Länder und der Europäischen Union“ ist auch einzeln als Datenbank erhältlich:

[www.ESV-Digital.de/RdA](http://www.ESV-Digital.de/RdA)



Einfach mehrfach nutzen.



## Handbuch Kreislaufwirtschaft

Recht, Ingenieur- und Naturwissenschaften,  
Nachhaltigkeit, Klimaschutz, Digitalisierung

Herausgegeben von Prof. Dr. jur. Walter Frenz

Erscheint ca. Juli 2023, ca. 1.000 Seiten,  
mit zahlreichen farbigen Abbildungen, Übersichten und  
Praxisbeispielen, fester Einband, Preis folgt  
ISBN 978-3-503-20067-2

eBook: Preis folgt, ISBN 978-3-503-20068-9

Vor dem Hintergrund einer weiter anwachsenden Bedeutung der **circular economy** für den **Klimaschutz** und auf Grundlage des **KrWG 2020**, **Green Deal** und der **EU-Kreislaufstrategie**: Das **neue Handbuch** verschafft Ihnen einen umfassenden, interdisziplinären Überblick zum hochaktuellen Thema **Kreislaufwirtschaft**.

### Mit vielen Übersichten und Beispielen

Die akuten Problemfelder, mit denen sich Praktiker derzeit konfrontiert sehen, werden notwendigerweise komplex, dabei aber stets gut verständlich und lösungsorientiert erläutert – aus **rechtlicher, wirtschaftlicher und technisch-naturwissenschaftlicher Sicht**.

- ▶ über 30 instruktive Beiträge aus den Bereichen Recht, Technik, Ökonomie und Ökologie
- ▶ umfangreiches Autorenteam aus renommierten Expertinnen und Experten
- ▶ viele Querschnittsthemen wie Umwelt-, Klima- und Ressourcenschutz, Digitalisierung sowie Wettbewerbs- und Vergaberecht
- ▶ wichtige Instrumentarien wie Gebührengestaltung, steuerliche Aspekte, ökonomische Anreize, Information und Ökodesign



Online informieren  
und versandkostenfrei bestellen:  
[www.ESV.info/20067](http://www.ESV.info/20067)

**ESV** ERICH  
SCHMIDT  
VERLAG

*Auf Wissen vertrauen*