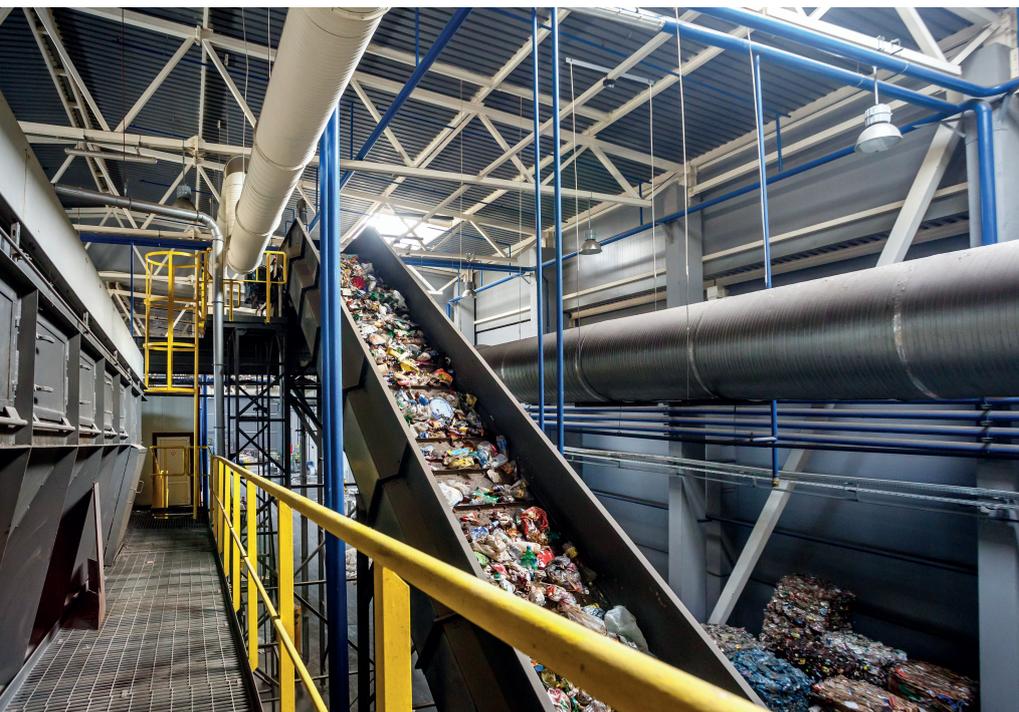


# Der lange Weg zur Kreislaufwirtschaft

## Die Schwierigkeiten beim Kunststoffrecycling überwinden

Sowohl die Menge der recycelten Kunststoffabfälle als auch die der verarbeiteten Rezyklate steigt kontinuierlich. Allerdings bestehen noch Schwierigkeiten bei der Qualität der aufbereiteten Kunststoffe, was den Ersatz von Neuware erschwert. Maschinenhersteller und Kunststoffherzeuger haben in letzter Zeit verschiedene Weiterentwicklungen vorgestellt, die die Eigenschaften der Rezyklate verbessern sowie Geruchsbelastungen und Verunreinigungen entfernen.



Kunststoffrecycling ist ein aufwendiger Prozess. Damit das Rezyklat über die notwendige Qualität verfügt, ist zunächst eine genaue Sortierung in die verschiedenen Kunststoffe notwendig

© Adobestock; hiv360

**R**ecycling und Kreislaufwirtschaft sind seit Jahren bestimmende Themen für die Kunststoffindustrie. Die Menge des recycelten Kunststoffabfalls steigt kontinuierlich an. Nach Zahlen des europäischen Verbands der Kunststoffherzeuger PlasticsEurope hat sich etwa die Menge des in der Europäischen Union (einschließlich Norwegen und der Schweiz) aufbereiteten Post-Consumer-Abfalls von 2006 bis 2018 verdoppelt. Sie stieg von 4,7 auf 9,4 Mio. t. Deponiert wurden 2018 noch 7,2 Mio. t. Der größte Teil der ausrangierten Post-Consumer-Kunststoffe in der EU, 12,4 Mio. t., landet in der thermischen Verwertung.

Die einzelnen Länder gehen dabei sehr unterschiedlich mit den Abfällen um. Während etwa in der Schweiz, Österreich, den Niederlanden, Deutschland und Schweden so gut wie keine Kunststoffe mehr auf Deponien landen, werden in Kroatien, Bulgarien, Griechenland, Zypern und Malta mehr als 70 % auf diese Weise entsorgt. Besonders hohe Recyclingquoten von knapp oder sogar über 40 % haben Norwegen, Spanien, Deutschland und Schweden.

In Deutschland lag die Recyclingquote laut einer Studie von Conversio im Auftrag der großen Kunststoffverbände 2019 bei 47 %. Zwar stieg die Menge der

aufbereiteten Abfälle im Vergleich zu 2017 um 3,2 % auf 2,9 Mio. t, die Recyclingquote erhöhte sich in diesem Zeitraum jedoch nicht. Die Steigerung ist somit vor allem auf eine höhere Gesamtabfallmenge zurückzuführen, die sich von 6,2 auf 6,3 Mio. t erhöhte. Aus den für das Recycling verwendeten Kunststoffen konnten insgesamt 2,0 Mio. t an Rezyklaten gewonnen werden. Genutzt für die Herstellung von Kunststoffprodukten wurden 2019 in Deutschland 1,9 Mio. t Rezyklate. 1,0 Mio. t davon stammen aus Post-Consumer-Abfällen. Der Anteil der Rezyklate an der gesamten Verarbeitungsmenge stieg seit 2017 von 12,3 auf 13,7 %.

Die Menge an produzierten und verarbeiteten Rezyklaten steigt somit. Ein signifikanter Anteil wird aber weiterhin nicht aufbereitet. Die Gründe dafür sind vielfältig. Ein Problem stellt etwa bereits die Sortierung der Kunststoffe dar. Um eine hohe Qualität der Rezyklate zu erreichen, müssen die Kunststoffabfälle möglichst sortenrein separiert werden. Dafür kommen vor allem auf Nahinfrarotlicht (NIR) beruhende Sortiersysteme zum Einsatz (**Bild 1**).

Allerdings stößt diese Technik bei schwarz eingefärbten Produkten an ihre Grenzen. Das liegt vor allem an dem dafür häufig verwendeten Ruß. Dieser absorbiert einen Großteil der NIR-Strahlung und verhindert dadurch die Erkennung der Materialien. Die naheliegendste Lösung ist der Ersatz von Ruß durch NIR-detectierbare schwarze Farbstoffe. Verschiedene Hersteller wie etwa die Karl Finke GmbH & Co. KG und Lifocolor haben in der letzten Zeit entsprechende Pigmente und Masterbatches vorgestellt (**Bild 2**). Eine andere Möglichkeit ist das von Stei-

nernt entwickelte Sortiersystem UniSort Blackeye (Bild 3). Es nutzt für die Erkennung der Polymere eine Hyper-spektralkamera, die auf Mittelinfrarotspektroskopie beruht, und kann auch mit Ruß eingefärbte Abfälle erkennen.

### KI für Sortiersysteme

Deutliche Verbesserungen bei der Sortierung versprechen sich die Hersteller vom Einsatz künstlicher Intelligenz (KI). „Um immer höhere Reinheiten zu erreichen, wird NIR zukünftig stärker mit bildgebenden Systemen und künstlicher Intelligenz verbunden“, sagt etwa Hendrik Beel, Geschäftsführer der Steinert-Tochterfirma Steinert UniSort. Ähnlich sieht man das auch bei dem Sortierspezialisten Tomra. „Mit der sich ändernden Zusammensetzung der Abfallströme, unter anderem nimmt der Anteil an Kartonage im Abfall durch den zunehmenden Onlinehandel deutlich zu, und den zusätzlichen, strenger werdenden gesetzlichen Bestimmungen werden der Einsatz fortschrittlicher Technologien und die Sortierprozessoptimierung immer bedeutender. Künstliche Intelligenz findet derzeit in Form von Deep Learning zunehmend Anwendung, um bisher schwer zu sortierende Fraktionen erfolgreich zu trennen“, bestätigt Christoph Bach, Sales Director Europe bei Tomra Sorting.

Das Unternehmen hat dafür eine Deep-Learning-Technologie namens Gain entwickelt. Bei dieser wird ein neuronales Netz mit mehreren tausend Bildern trainiert, um verschiedene Objekte zu erkennen und diese im Sortierprozess absondern zu können. Als erste Anwendung hat Tomra ein solches Netz für die Erkennung von Silikonkartuschen trainiert. Diese Behälter bestehen meist aus PE und enthalten bei der Entsorgung noch Restbestände an Silikon. Sie sind deshalb für die Aufbereitung mit anderen PE-Abfällen ungeeignet, waren von bisherigen Systemen jedoch nicht oder nur schlecht aussortierbar. Mit dem Gain-Netz ist eine Separierung hingegen möglich. Das Unternehmen bietet die Technologie als Add-on für seine Autosort-Sortiermaschinen an (Bild 4).

Bei Tomra geht man außerdem davon aus, dass neben KI auch Digitalisierung und Automatisierung zukünftig eine noch wichtigere Rolle bei der Sortierung spielen werden. Beispielsweise kämen immer häufiger Sortierroboter zum Einsatz. „Viele Anlagenbetreiber installieren Roboter am Ende ihrer Sortieranlage, um eine automatisierte Qualitätskontrolle durchzuführen und die letzten Verunreinigungen aus dem Abfallstrom auszusortieren. Sortierroboter können die klassische Sortierung mit der Düsenleiste ergänzen, jedoch nicht ersetzen“, erklärt Bach.

Um die Effizienz und Leistung von Sortieranlagen zu steigern, bieten sich Felix Flemming zufolge, Senior Vice President und Head of Digital bei Tomra, außerdem digitale Tools an: „Mittlerweile gibt es Tools, die die Leistung der Anlagen und der Sortiermaschinen messen, die erhobenen Daten aufbereiten, analysieren und in wertvolle Informationen übersetzen. Damit hat der Anlagenbetreiber immer alle Prozesse und Leistungen im Blick, kann schnell eingreifen und Änderungen und Optimierungsmaßnahmen einleiten, um die Anlage so effizient wie möglich zu betreiben und »

## SIRMAX®

# Next generation innovation

### ISOGLASS® XT für maximale strukturelle Performance.

Als Entwicklung für die OEM's der Interior-, Exterior- und Under the Hood Anwendungen stechen die ISOGLASS® XT Materialien mit deren besonders hohen mechanischen Eigenschaften hervor, hervorragend für Strukturteile wie Mittelkonsolen, Türverkleidungen oder Sitze.

Entdecken Sie alle Produkte auf unserer Webseite über interaktive 3D Funktionen.

❖ Iso ❖ Dafne ❖ Xelter ❖ Ser ❖ BioComp

[sirmax.com](http://sirmax.com)



SIRMAX ERWARTET SIE AUF DER FAKUMA  
HALLE B2 – STAND B2-2207

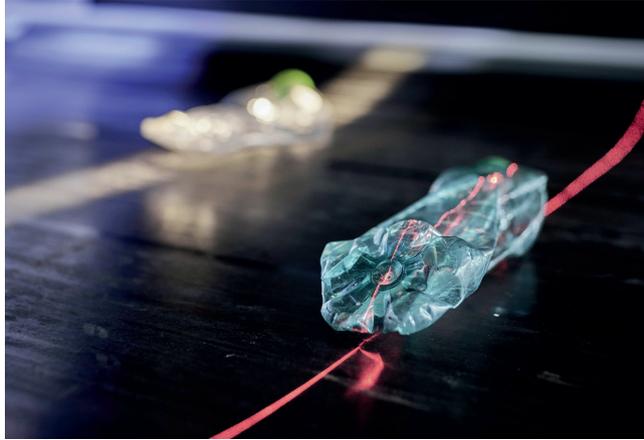


Scannen Sie den QR-Code um die Neuigkeiten, die wir auf der Fakuma 2021 zeigen werden kennenzulernen



**Bild 1.** NIR-Systeme haben sich als Standard in Sortieranlagen etabliert

© Tomra



die besten Sortierergebnisse zu erzielen.“ Tomra bietet ein solches Tool mit der Cloudplattform Insight an (**Bild 5**). Über diese können Recyclingunternehmen die Daten ihrer Sortiermaschinen sammeln, vernetzen und sich über Monitoring Tools ausspielen lassen. Dadurch ist es etwa möglich, Störungen bereits im Vorfeld zu erkennen, Maschinen- und Anlagenleistungen darzustellen und zu vergleichen und dann entsprechende Anpassungen zur Verbesserung vorzunehmen.

### **Gerüche und Verunreinigungen entfernen**

Neben der Sortierung bereiten auch Verunreinigungen und Gerüche an den Kunststoffabfällen Schwierigkeiten beim Recycling. Diese entstehen aus dem Kontakt etwa mit Lebensmitteln, Waschmitteln und Kosmetika. Rückstände dieser Stoffe bleiben an den Kunststoffen haften und migrieren teilweise in die Polymere. Um sie zu entfernen, werden die zerkleinerten Kunststoffabfälle zunächst gewaschen und somit grobe Verunreinigungen entfernt. Bisher erfolgte das vor allem mittels Kaltwäsche. Paul Niedl zufolge, Verkaufsleiter der Geschäftseinheit Recycling Technology bei Starlinger, kommt mittlerweile aber bei immer mehr Recyclingunternehmen Heißwäsche für die Reinigung der Abfälle zum Einsatz: „Beim Waschen geht der Trend in Richtung höheres Qualitätsbewusstsein. Immer mehr Recycler setzen auf moderne Heißwäsche anstatt der gängigen Kaltwäsche.“

Durch diese Umstellung lassen sich zusätzliche Verunreinigungen entfernen, was für eine höhere Qualität der Rezyklate sorgt. Das bestätigt auch Harald Hoffmann, Managing Director bei Lindner

Washtech: „Die effektive Reinigung und Trocknung sind essenziell, um Kunststoffe fit für das Re- und Upcycling zu machen.“ Das Unternehmen hat dafür kürzlich ein Heißwäschesystem vorgestellt, das mit einem Stufentrockner zur Trocknung der Flakes nach dem Waschen ausgestattet ist (**Bild 6**). Im Hot-Wash-Tower des Systems können auch stark haftende Verunreinigungen wie Kleber, Etiketten und Druckfarbe entfernt werden. Die Trocknung erfolgt durch eine langsame Steigerung der Rotationsgeschwindigkeit im Stufentrockner, was laut dem Unternehmen für eine besonders schonende Trocknung sorgt.

Hartnäckige Verunreinigungen und Gerüchen können jedoch auch nach dem Waschen noch an den Abfällen verbleiben. Die Entfernung von leichtflüchtigen



**Bild 2.** Rußfreie schwarze Farbmittel ermöglichen die Sortierung mittels NIR-Technik. Mit dem schwarzen Masterbatch von Finke lassen sich PE, PP, PS und PET einfärben © Finke

gen Bestandteilen ist etwa durch eine Entgasung während der Extrusion möglich. Bei den ZSK Doppelschneckenextrudern von Coperion erfolgt das u.a. durch die ständige Oberflächenerneuerung der Schmelze mithilfe der gleichsinnig drehenden Doppelschnecken. Über Entgasungsdome und die atmosphärische Entlüftung werden die Stoffe und Gerüche ausgeleitet. „Abhängig vom Recyclingprozess lässt sich auch eine zweiwellige Seitenentgasung am Extruder installieren. Sie kann diesen Effekt deutlich verstärken“, erklärt Marina Matta, Team Leader Process Technology Engineering Plastics bei Coperion. Der Extruderhersteller hat seine Seitenentgasung ZS-EG easy in letzter Zeit überarbeitet. Sie kann dem Unternehmen zufolge nun deutlich schneller vom ZSK-Verfahrensteil gelöst und die Schneckenwellen sehr einfach getauscht werden. Der Zeitaufwand für die Reinigung beispielsweise bei Rezepturwechseln soll dadurch stark sinken.

### **Geruchsentfernung nach der Extrusion**

Um auch schwerflüchtige Stoffe aus Rezyklaten zu entfernen, bietet Erema für seine Intarema-TVEplus-Extruder die Kopplung mit einem Refresher genannten System an (**Bild 7**). Die Extruder übernehmen die Entfernung der leichtflüchtigen Stoffe, während in dem nachgelagerten Refresher die schwerflüchtigen Stoffe abgeführt werden. Der Refresher kommt dabei ohne Vakuum aus, was Erema zufolge die Komplexität des Systems und die Betriebskosten senkt. Auch der Energieverbrauch ist laut dem Unternehmen gering, da das System für die notwendige Temperatur hauptsächlich auf die Eigenwärme der während der Extrusion vorgewärmten Granulate zurückgreift. Mit dieser Kombination recyceltes PE-HD lässt sich auch für Verpackungen mit direktem Lebensmittelkontakt nutzen. Das Unternehmen hat dafür die Bestätigung der amerikanischen Lebens- und Arzneimittelbehörde FDA erhalten. „Verarbeitet werden können mit diesem Recyclingprozess neben allen PE-HD-Getränkebehältern auch PE-HD-Verschlüsse von PE-, PP- und PET-Getränkeflaschen. Das Rezyklat kann in Anteilen von bis zu 100 Prozent in der Produktion von Behältern für den Direktkontakt mit Lebensmitteln aller Art eingesetzt werden“, erklärt Manfred Hackl, CEO von Erema.

Für die Geruchsentfernung nach der Extrusion bietet auch Coperion Systeme an. In diesen Desodorierungssystemen wird das Granulat kontinuierlich entgast. „Abhängig vom Aufbau der Anlage kann dabei unser Wärmetauscher Bulk-X-Change eingesetzt werden, um das Granulat aufzuheizen und so die Geruchsminderung zu beschleunigen“, fügt Teamleiterin Marina Matta hinzu.

Ein Problem beim Recycling ist außerdem, dass Kunststoffe während ihres Gebrauchs Abnutzungserscheinungen ausgesetzt sind. Das geschieht beispielsweise durch Umwelteinflüsse wie Hitze, UV-Strahlung oder durch den Kontakt mit bestimmten Stoffen und kann zu Depolymerisation, Kettenabbau und dem Verbrauch und Entweichen von Additiven führen. Auch durch den Recyclingprozess selbst kann es zu einer Schädigung der Polymere kommen, etwa durch das erneute Aufschmelzen. Um das zu verhindern, muss das Recycling möglichst schonend gestaltet werden. „Grundsätzlich gilt, dass ein moderates Temperaturniveau und eine möglichst kurze Verweil-



**Bild 3.** Das Sortiersystem UniSort Blackeye von Steinert kann auch mit Ruß eingefärbte schwarze Kunststoffabfälle sortieren © Steinert

zeit im Recyclingprozess die besten Rezyklatqualitäten ermöglichen. Das ist beim Design der Maschinen und Anlagen für den Recyclingprozess zu berücksichtigen. Idealerweise kann dann auf eine thermische Vorbelastung der Rezyklate, z. B. durch Vortrocknung oder Vakuumertwärmung, verzichtet werden. Daraus ergeben sich nicht nur entsprechende Vorteile in der Qualität des Endprodukts, son-

dern auch bei der benötigten Energie“, erklärt Dr. Stephan Gneuß, Geschäftsführer von Gneuß Kunststofftechnik.

### Schonender Recyclingprozess

Für einen möglichst schonenden Recyclingprozess bietet Erema z. B. das System Intarema TVEplus Re grindPro an. Bei diesem wird zu Beginn des Recyclings in »



## DIE GANZE WELT DES KUNSTSTOFF-PRÄZISIONSSPRITZGUSSES AUS EINER HAND

Seit über 40 Jahren entwickeln, produzieren und montieren wir hochpräzise Kunststoffteile und Baugruppen für die komplexesten Anwendungen unserer Kunden in den Bereichen Industrie und MedTech.

An unserem hochmodernen Standort in Schmerikon investieren wir kontinuierlich in Spitzentechnologie und Spitzenleistung. Es ist die Kombination aus kompetenten, kundenorientierten Mitarbeitenden und neuesten Technologien, die uns erlaubt, unseren Kunden stets innovative und kosteneffiziente Lösungen anzubieten.





**Bild 4.** Deep Learning im Einsatz: Für seine Autosort-Sortiermaschinen bietet Tomra das neuronale Netz Gain an. Mit diesem können etwa Silikonkartuschen aussortiert werden

© Tomra

einer Preconditioning Unit das Material vorgewärmt und -getrocknet. Dadurch gelangt es vorgewärmt in den Extruder, weshalb das Aufschmelzen mit einer kurzen Extruderschnecke erfolgen kann. Das reduziert die Scherbelastung der Schmelze. Diese wird anschließend filtriert, homogenisiert und entgast. „Diese Art der Verarbeitung hat sich u.a. bei dickwandigem Mahlgut, wie PE, PP, ABS und PS bewährt“, erklärt Erema-CEO Manfred Hackl.

### **Aufbereiten und Compoundieren in einer Anlage**

Das Unternehmen bietet mit Corema außerdem ein System an, das das Recycling und die Compoundierung der Rezyklate in einem Verarbeitungsschritt vereint. „Die Anlage wandelt Recycling-Rohmaterial in filtrierte Schmelze um. Diese Schmelze wird direkt einem gleichlaufenden Doppelschneckenextruder zugeführt. Dabei können neben verschiedenen Additiven auch Füll- und Verstärkungsstoffe in höheren Mengen zudosiert werden“, berichtet Hackl. Dadurch können die Recyclingkunststoffe gezielt auf ihr späteres Einsatzgebiet abgestimmt und notwendige Additive zugesetzt werden. Als Doppelschneckenextruder kommen für das System Modelle von Coperion zum Einsatz.

Um die Qualität der Rezyklate zu erhöhen und vorhandene Schädigungen auszugleichen, können Rezyklaten außerdem Additive zugesetzt werden, die etwa deren mechanische Eigenschaften und ihre Verarbeitbarkeit verbessern. Verschiedene Kunststoff- und Additivhersteller haben dafür Produkte vorgestellt. „Bei PA ist der Einsatz von reaktiven Kettenmodifikatoren, welche mit den Endgruppen reagieren, hilfreich. Dadurch lässt sich die relative Viskosität präzise einstellen und der PA-Abfall kann zu hochwertigem Spritzgießmaterial aufgewertet werden. Außerdem helfen für den weiteren Produktlebenszyklus auch Hitzestabilisatoren, die Lebenszeit des Rezyklats zu verbessern“, erklärt Dr. Kristina Frädlich, Produktmanagerin für Polymer Additive bei dem Additivhersteller Brüggemann. Das Unternehmen hat für PA etwa die beiden reaktiven Kettenmodifikatoren Brüggolen M1417 und M1251/M1253 und für das Upcycling von Polyolefinen die beiden Additive Brüggolen TP-R2090 und R8895 entwickelt.

Ein Forschungsprojekt zur Verbesserung der Rezyklatqualität haben die bei-

den Unternehmen APK und Mitsui zusammen durchgeführt. Dabei wurde der Readditivierungsbedarf von Rezyklaten bestimmt, die mit dem lösungsmittelbasierten Recyclingverfahren Newcycling von APK aufbereitet wurden, und entsprechende Stabilisatorsysteme entwickelt (siehe **Kunststoffe** 8/21, S. 38-41). In dem Projekt konnten auch passende Analysemethoden zur Überprüfung des Eingangstroms identifiziert werden. Demnach eignen sich dafür besonders der Yellowness Index und die Oxidation Induction Time. Die Untersuchungen lassen sich laut den Unternehmen auch auf andere Recyclingverfahren übertragen.

### **Leitfäden für Design for Recycling**

Technische Verbesserungen reichen jedoch zur Umsetzung der Kreislaufwirtschaft nicht aus. Dafür sind auch die entsprechenden Sammelsysteme für die Abfälle notwendig und deutliche Änderungen beim Produktdesign. Die Recyclingfähigkeit muss zukünftig bei der Entwicklung von Anfang an eine wichtige Rolle spielen. Das Stichwort dafür lautet: Design for Re-



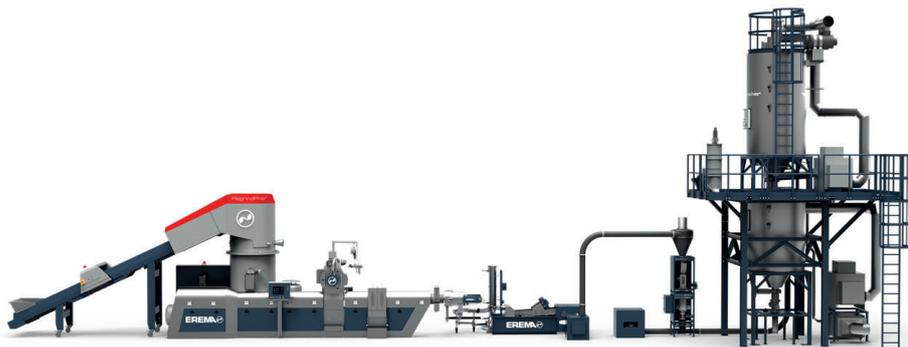
**Bild 5.** Mit digitalen Tools wie der Cloudplattform Insight von Tomra lässt sich die Leistung der Gesamtanlage und von den einzelnen Maschinen überwachen. Dadurch sind Optimierungen im Ablauf und eine vorausschauende Wartung möglich

© Tomra



**Bild 6.** Das Hot-Wash-System von Lindner kombiniert Heißwäsche und Trocknung der Kunststoff-Flakes

© Lindner-Recyclingtech



**Bild 7.** Kunststoffabfälle, die mit den Intarema-TVEplus-Extrudern von Erema und dem nachgelagerten Refresher-System aufbereitet wurden, sind für Verpackungen mit Lebensmittelkontakt geeignet © Erema

„Wesentliches Erfolgsmerkmal beim Design for Recycling ist die Beschränkung auf möglichst nur ein Polymer für ein Produkt. Copolymere machen ein wirtschaftliches und ökologisch sinnvolles Recycling oftmals unmöglich. Darüber hinaus sind verschiedene Polymere unterschiedlich gut geeignet für eine Wiederverwertung, was bei der Materialauswahl entsprechend berücksichtigt werden sollte“, erklärt Stephan Gneuß.

Im Mittelpunkt von Design for Recycling steht dabei oftmals die Verringerung

der Komplexität und der Anzahl der Materialien und Bestandteile eines Produkts. „Grundsätzlich verfolgt Design for Recycling den Ansatz: Weniger ist mehr. Bestenfalls sollte auch bei mehrteiligen Produkten nur ein Material verwendet werden. Auch Farben und andere Zusatzstoffe haben einen negativen Einfluss auf den Sortier- und Recyclingprozess“, fasst Christoph Bach von Tomra zusammen. Leitfäden für eine solche recyclingfreundliche Produktgestaltung haben sowohl der Verband Plastics Recyclers

Europe als auch der Kunststoffhersteller Borealis entwickelt. Gefragt beim Design for Recycling ist für Paul Niedl von Starlinger außerdem ein Umdenken beim Konsumverhalten: „Es ist zu überdenken, wie lange etwa Lebensmittel tatsächlich haltbar sein müssen. Der totale Convenience-Trend der letzten Jahrzehnte hat zu immer komplexeren Verpackungen geführt, mit oftmals problematischer Rezyklierbarkeit. Kunststoffverpackungen sind wichtig, um die Haltbarkeit von Lebensmitteln zu verlängern. Bei ihnen wurde aber deutlich über das Ziel hinausgeschossen.“ ■

*Florian Streifinger, Redaktion*

## Service

### Digitalversion

- Ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/onlinearchiv](http://www.kunststoffe.de/onlinearchiv)

### English Version

- Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at [www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)

# Wir trennen Kunststoff von allem.

WIPAG steht seit 30 Jahren für erfolgreiches Kunststoffrecycling.

Unser Ziel: nachhaltige Hightech-Compounds für Ihre Produkte und innovative Kreislaufwirtschaftskonzepte für Ihr Abfallmanagement. Unsere Spezialität: hochqualitative Kunststoffe mit einem geringeren CO<sub>2</sub>-Fußabdruck.

Was können wir für Sie tun?

wipag.de | info@wipag.de | +49 8431-43 36-0

