

Die Erfindung des Kunststoffrecyclings

Industrielle Kunststoffverarbeitung rief früh Technologieentwickler auf den Plan

Mit der industriellen Produktion und Verarbeitung von Polymerwerkstoffen begann Anfang der 1950er-Jahre auch die Wiederverwertung von Kunststoffabfällen. Dabei ging es zunächst nur um sortenreine Produktionsabfälle. Im Laufe weniger Jahrzehnte gelang es, Verfahren zu entwickeln, um selbst stark kontaminierte und gebrauchte Kunststoffabfälle zu hochwertigen Sekundärwerkstoffen aufzuarbeiten.

Kunststoff steht am Pranger. Spätestens seit der Entdeckung von „Marine Litter“ berichten die allgemeinen Medien praktisch täglich über den Werkstoff, der nahezu ewig hält und deshalb als einer der größten Umweltverschmutzer gebrandmarkt wird. Umweltverbände fordern drastische Maßnahmen, um den Kunststoffverbrauch zu verringern. Dabei haben Verbote oberste Priorität. Die Auseinandersetzung ist sehr emotional und lässt wenig Raum für rationale Erkenntnisse und Fakten einer ökologischen Gesamtbetrachtung, bei der Polymerwerkstoffe im Vergleich zu anderen Materialien überwiegend positiv abschneiden.

Nur auf Verbote zu setzen ist absurd, zumal inzwischen ausgereifte Recyclingtechnologien zur Verfügung stehen, um das Umweltproblem mithilfe geschlossener Materialkreisläufe zu lösen. Allerdings fehlt sehr vielen Ländern die notwendige Infrastruktur und Logistik. Im Mitglie­dermagazin des Bund Naturschutz in Bayern konstatieren unter dem Themenschwerpunkt „Die Plastikkrise“ die Autoren deshalb: „Recycling ist Teil des Problems, nicht Teil der Lösung.“ [1]. Diese Behauptung provoziert und macht sprachlos, denn Recycling war von Anfang an ein Anliegen der Branche und bietet die einzigartige Möglichkeit Ressourcen zu schonen.

Schon die K 1952 zeigte Mühlen für Produktionsabfälle

Bereits 1952, auf der ersten Kunststoffmesse „K“ in Düsseldorf, wurden Maschinen für die Aufbereitung von Kunststoffabfällen in der Produktion präsentiert – im Wesentlichen Mühlen und Zerkleinerungsmaschinen. Die Fellner und Ziegler GmbH, Frankfurt, traditionell ein Herstel-



Heute im Fokus der Öffentlichkeit, aber schon immer ein wichtiges Thema: Die Vielfalt der Kunststoffe, die wiederverwertet werden sollen, stellt die Branche vor eine Herausforderung, der sie sich aber technologisch schon früh angenommen hat © adobestock/abimagestudio

ler von Zerkleinerungsmaschinen für die Zementproduktion, zeigte beispielsweise eine Schneidmühle zur kontinuierlichen Zerkleinerung von thermoplastischen Kunststoffangüssen und Ausschussteilen [2]. Das Recycling von Produktionsabfällen gehörte somit von Anfang an zur industriellen Verarbeitung von Kunststoff.

In den Folgejahren wurden zahlreiche Zerkleinerungsmaschinen für unterschiedlichste Einsatzgebiete entwickelt. Alpine, Augsburg, präsentierte 1971 auf der K Schneidmühlen für großvolumige dünnwandige Blas- und Tiefziehformteile in Leichtbauweise ebenso wie Maschinen in robuster Ausführung für das Aufbereiten von Extruderfladen oder massiven Ausschussteilen. Das Feinmahlen gelang mit Stiftmühlen oder Querstrommühlen nach dem Versprüden des Mahlguts mit flüssigem Stickstoff [3].

Doch diese Ansätze eigneten sich ausschließlich für die Wiederverwertung von relativ sauberem Produktionsausschuss; wachsende Müllberge in Folge eines veränderten Konsumverhaltens ließen sich damit nicht abtragen. Laut dem Leitartikel in der Oktoberausgabe 1972 der *Kunststoffe*, der sich auf einen Beitrag in der Werkzeugzeitung „Der Lichtbogen“ der Hüls AG, Marl, (heute Evonik) bezieht und das Ergebnis einer Diskussionsrunde mit dem Titel „Der Abfall muss Rohstoff werden“ wiedergibt, war Experten bereits vor einem halben Jahrhundert klar, dass der Materialkreislauf geschlossen werden muss.

Allerdings gab es damals noch keine technologischen Lösungen für diese Aufgabenstellung. Vielmehr wurden Chemiker und Ingenieure aufgefordert, sich diesem Problem zuzuwenden [4].

Verschmutzte PE-Folien diskontinuierlich aufbereiten

Drei Jahre dauerte es noch, bis die Krauss-Maffei Austria GmbH, Linz, die damalige Tochtergesellschaft des Geschäftsbereichs Extrusion des Münchner Maschinenbaukonzerns Krauss-Maffei, mit dem Wascherglomat WZ 1050 im Jahr 1975 eine Maschine zum Regenerieren verschmutzter PE-Folienabfälle vorstellte [5]. Dabei handelte es sich um einen zylindrischen Behälter mit sowohl feststehenden Messern als auch einem rotierendem Messerbalken im Bodenbereich, der chargenweise beschickt wird. Ausgelegt war die Anlage für die Aufbereitung gebrauchter Düngemittelsäcke, Baufolien oder Schrumpfhäuben aus der Gebindeverpackung zu Agglomerat.

Die rotierenden Messer zerkleinern die Folien bis zur Daumnagelgröße unter ständiger Zufuhr von Waschwasser. Nach Ende des Waschvorgangs wird das Restwasser durch den umlaufenden Rotor ausgetrieben und die rotierenden Messer bringen durch die Reibung so lange Energie ein, bis die Folienabfälle anschmelzen und zu einem rieselfähigen Agglomerat mit Korngrößen zwischen 2 und 15 mm zusammenbacken. Durch die plötzliche Zugabe einer definierten Menge kalten Wassers gefriert das Agglomerat, sodass es sich später von einem Extruder weiterverarbeiten lässt.

Der Nachteil dieses Verfahrens ist die diskontinuierliche und energieaufwendige Arbeitsweise, denn jeder Zyklus beginnt mit einem extrem hohen Strombedarf, und durch Zufuhr des kalten Wassers wird die Energie wieder „vernichtet“. Zudem ist die zusätzliche thermische Beanspruchung des Materials nicht materialschonend – aber der erste Ansatz für die Wiederverwertung gebrauchter Folien war geleistet.

Pionierarbeit mit dem Extruder

Als nächsten Entwicklungsschritt verheirateten die jungen Ingenieure Helmut Bacher und Helmuth Schulz, die einige Jahre später gemeinsam mit Georg Wendelin die Firma Erema gründeten (Bild 1), den Agglomerator mit einem Schneckenextruder. Beide Maschinen bildeten so eine kompakte Einheit: Das im Zylinder zerkleinerte und angeschmolzene Material wird kontinuierlich vom tangential ange-



Bild 1. Die Gründer von Erema: Georg Wendelin, Helmut Bacher und Helmuth Schulz (v.l.) vor der Montagehalle Ende der 90er-Jahre in Ansfelden © Erema

dockten Extruder erfasst und ohne Zwischenschritt in einer Wärme zu Granulat weiterverarbeitet [6]. Nach Integration der Krauss-Maffei Austria in das Münchner Hauptwerk im Jahr 1980 wurde diese patentierte Technologie allerdings nicht weiter forciert [7].

Neben zahlreichen Unternehmen, die heute nicht mehr in diesem Anwendungsbereich aktiv sind, präsentierte sich 1983 erstmals die Erema, Engineering Recycling Maschinen und Anlagen GmbH, auf einem Gemeinschaftsstand der Österreichischen Wirtschaftskammer. Das Unternehmen wurde nur wenige Monate zuvor gegründet und stellte ihren Prototyp RGA 80 vor: die Kombination eines Misch- und Schneidbehälters mit einem Einschnellenextruder, der mittig ange-dockt ist. Laut Messebericht in *Kunststoffe* gehörten zum Lieferprogramm der kompletten Recyclinganlage für Thermoplaste (ausgenommen PVC) auch ein Förderband zur Beschickung, eine Entgasung, ein Schmelzesiebwechsler sowie Granulator, Trockensieb und Zentrifuge [8]. Erema ist das erste Unternehmen, das sich fortan ausschließlich dem Recycling von Kunststoffen widmet, und gilt heute international als Marktführer im Bereich Kunststoffrecyclinganlagen.

Zylinderförmige Schmelzefilter vor dem Vergessen bewahrt

Bemerkenswert ist auch die Vorstellung eines Schmelzefilters zur Aufbereitung von Kunststoffabfällen, die mit Metallresten und nichtschmelzbaren Materialien

vermischt sind. Bereits 1979 berichtete *Kunststoffe* über das sogenannte Remaker-Trennverfahren der Käuferle Maschinenbau KG, Aichach, bei dem sich aus dem Gemisch von Polystyrol gebrauchter Joghurtbecher und Aluminiumfolien sowie Stanzgittern aus Verpackungsanlagen von Molkereien der Kunststoff zuverlässig separieren lässt [9]. Die Abfälle werden zunächst in einer Mühle zerkleinert und ein elektrostatischer Metallabscheider trennt lose anhaftende Aluminiumfolien. Über ein Zwischensilo gelangt das Gemisch in einen Extruder, wo der Polymeranteil aufgeschmolzen wird, bevor in einem kontinuierlich arbeitenden, zylindrischen Trennkopf die Metallkontamination abge-sondert wird. Der Trennkopf erzielte einen Reinheitsgrad von 99 % und der ge- »

Der Autor

Gerhard Gotzmann war von 2003 bis 2016 Chefredakteur und ist seither Herausgeber der *Kunststoffe*; kunststoffe@hanser.de

Service

Literatur & Digitalversion

» Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/2020-06

English Version

» Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at www.kunststoffe-international.com

Im Profil

Der Startschuss für das **Duale System** fiel am 12. Juni 1991. Gebrauchte Verpackungen sollten nicht mehr als Abfall behandelt, sondern systematisch gesammelt und aufbereitet der Wiederverwertung zugeführt werden. Diese Vorgabe hatte das Umweltministerium der Verpackungsindustrie und dem Handel in einer **Verpackungsverordnung** erteilt, gemeinsam gründeten sie die **Duales System Deutschland GmbH** in Bonn.

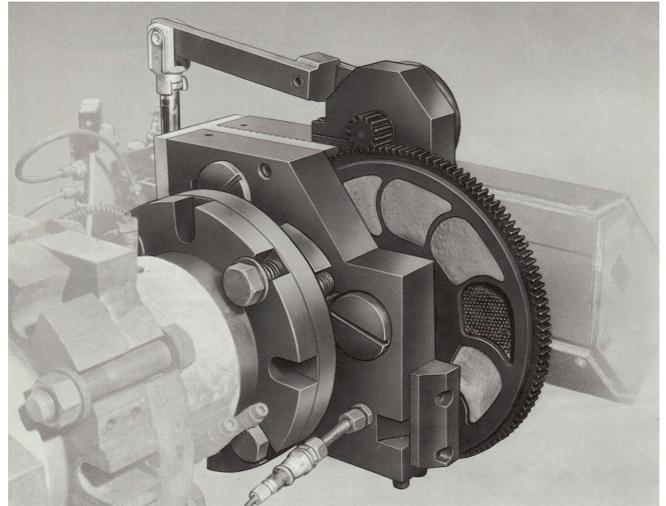
Aus heutiger Sicht war das System trotz zahlreicher Kritik überwiegend erfolgreich, auch wenn es in den ersten Jahren mehrmals kurz vor dem Zusammenbruch stand. Immerhin handelte es sich um das Pilotprojekt der im **Kreislaufwirtschaftsgesetz** von 1996 ausführlich geregelten Produktverantwortung. Die Verpackungsverordnung wurde wiederholt novelliert und zum 1. Januar 2019 vom **Verpackungsgesetz** abgelöst.

wonnene Kunststoff eignete sich zur Herstellung von Thermoformfolien [10].

Diese Erfindung wäre fast verschwunden, weil sich Käuferle ab 1985 aufgrund der rezessiven Wirtschaftslage auf die Produktion von Toren für den Baubereich konzentrierte. Doch der damalige Konstruktionsleiter und Entwickler dieses Schmelzefilters bei Käuferle, Roderich Ettliger, gründet 1983 eine eigene Firma und widmete sich zunächst dem Bau von Niederdruckspritzgießmaschinen, primär für die Produktion von Kunststoffpaletten. Auf der Suche nach einem zweiten Standbein legte die Ettliger GmbH, Königbrunn, seit 2018 ein Unternehmen der Maag Group, den Schmelzefilter mit zylinderförmigem Siebeinsatz nach gründlicher Überarbeitung im Jahr 2003 neu auf.

Das grundsätzliche Funktionsprinzip ist gleich geblieben: Die kontaminierte Kunststoffschmelze wird von außen auf ein Trommelsieb mit Millionen konischen Laserbohrungen geleitet. Die Verunreinigungen bleiben außen und die Schmelze strömt durch ein Kanalsystem zur Weiterverarbeitung. Der langsam rotierende Filter führt die Störstoffe mit einem geringen Anteil Schmelze einem feststehenden Abstreifer zu [11]. Der ERF-Schmelzefilter bewältigt die Beschickung mit kontaminierten Thermoplasten mit einem

Bild 2. Das Rotary-Filteriersystem mit einem kurzen und totpunktfreien Durchströmkanal ist auch für PVC geeignet © Gneuß



Störanteil von 10 bis 18% (materialabhängig) und kommt inzwischen weltweit zum Einsatz.

Wachsende Gerätevielfalt

Auf der K 1986 präsentierte das 1983 gegründete Familienunternehmen Gneuß, Bad Oeynhausen, erstmals ein Filteriersystem, bei dem Stützplatten und Siebe auf einem scheibenförmigen Rotor angeordnet sind (**Bild 2**). Der Rotor bewegt sich durch den Schmelzekanal und wird durch den Vordruck gesteuert. Die Form der Siebnester ist so gestaltet, dass die Kammern optimal gefüllt sind und eine Anpassung an den Ein- und Auslaufkanal gegeben ist. Nach dem gleichen Prinzip arbeitet ein vorgeschalteter Separator als Grobfilter. Das System, heute international als Rotary-Filteriersystem bekannt und für die vielfältigsten Anwendungen modifiziert und automatisiert, wurde in Düsseldorf innerhalb einer Recyclinganlage von Leistriz, Nürnberg, vorgestellt. Die Anlage verfügte über einen Doppelschneckenextruder und war für die Aufbereitung von Polypropylen-Abfall aus alten Autobatterien ausgelegt [12].

Mitte der achtziger Jahre entdeckte die Herbold Meckesheim GmbH, ein traditionsreicher Hersteller von Getreidemöhlen, den Bedarf für Kunststoffrecyclinganlagen. Ein Fachbeitrag der **Kunststoffe** zählt im August 1987 bereits ein umfangreiches Programm lieferbarer Module für unterschiedlichste Anforderungen beim Aufbereiten verschmutzter Kunststoffe auf [13]. Die wesentlichen Bausteine der Recyclinganlage sind: Vorzerkleinerer, Schneidmühlen, Feinmühlen und Wasch-

anlagen. Als Innovation wird die Automatisierung der Vorzerkleinerungsmaschinen herausgestellt, mit denen das Abfallmaterial ohne menschlichen Eingriff so aufbereitet werden kann, dass es möglich wird, die nachfolgenden Maschinen zu steuern, und wenn notwendig, auch noch Reinigungs- und Trennvorgänge dazwischenschalten. Die robusten Shredder können komplette Folienballen zerkleinern ebenso wie Mülltonnen oder Elektrokabel, um Kunststoff und Metall zu trennen.

Bauteile kennzeichnen und Abfall vollautomatisch sortieren und aufbereiten

Wachsende Abfallmengen bei gleichzeitig schwindenden Deponiekapazitäten sowie Widerstände gegen die Müllverbrennung riefen Ende der achtziger Jahre eine zunehmend kritische Haltung der Öffentlichkeit gegenüber Kunststoffen und damit dringenden Handlungsbedarf hervor. So stand beim Wirtschaftspresgespräch des VKE (heute PlasticsEurope) im Mai 1990 neben der wirtschaftlichen Situation besonders das Thema Recycling auf der Tagesordnung. In der Rohstoffindustrie hatte bereits ein Umdenken eingesetzt: Hatte über Jahre als oberstes Ziel der Produktentwicklung gegolten, immer höher modifizierte und maßgeschneiderte Kunststofftypen zu entwickeln, so stand nun die recyclinggerechte Entwicklung im Vordergrund. Das führte zwangsläufig zu einer höheren Standardisierung und Austauschbarkeit der Produkte. Das stoffliche Kennzeichnen der Endprodukte, lange Zeit von der Rohstoffindustrie abgelehnt, wurde jetzt akzeptiert.

Die weltweit erste vollautomatische Sortier- und Aufbereitungsanlage für Leichtverpackungen ging als Pilotanlage auf der Expo 2000 in Hannover in Betrieb, um die Verpackungsabfälle der Besucher zu recyceln. Mit dem Anspruch, die Qualität zu steigern und die Kosten zu senken, kam die Technologie „Sortec 3.0“ zur Anwendung. Das Verfahren war von Ingenieuren der HTP-Ingenieurgesellschaft für Aufbereitungstechnik, Aachen, und des Instituts für Aufbereitungstechnik der RWTH Aachen in enger Kooperation mit dem Dualen System (siehe **Kasten**) entwickelt worden. Zum Einsatz kamen alle denkbaren automatischen Trennverfahren sowie Sensoren, sodass die Anlage kein Sortierpersonal benötigte [14].

PET-Flaschen im Kreislauf

Bis etwa zum Ende des 20. Jahrhunderts wurden gebrauchte PET-Flaschen zu Fasern oder Folien verarbeitet und eigneten

sich somit aufgrund des Materialabbaus und der erforderlichen Lebensmittel-tauglichkeit nicht mehr unmittelbar zur Herstellung neuer Getränkeflaschen. Der Erema gelang im Jahr 2000 ein Durchbruch: Ihre Recycling-Technologie (Vakurema) für gebrauchte Getränkeflaschen aus PET erfüllte die strengen FDA-Richtlinien.

Somit ließ sich nun aus gewaschenen und sortenreinen PET-Flaschen-Flakes ein Granulat zur erneuten Herstellung von Getränkeflaschen herstellen, das zudem über eine Viskosität annähernd von Neeware verfügt. Das österreichische Unternehmen bot hierfür eine Anlagentechnik, die durch einen der Aufbereitung unmittelbar vorangestellten Kristallisationstrockner vergleichsweise wenig Energie verbraucht, weil das Material in einem Arbeitsgang vorgewärmt, getrocknet und vorkristallisiert wird. Über ein isoliertes Beschickungssystem gelangt das Mahlgut in den Vakuumschneidverdichter, wo

es bei hohen Temperaturen durch die eingebrachte Rotationsenergie nicht nur die Restfeuchte verliert, sondern auch von Verunreinigungen befreit wird und sich seine Viskosität erhöht [15].

Fazit

Die Ausführungen zeigen, dass technologisch große Aufgabenstellungen längst bewältigt sind. Weitere Themen, wie beispielsweise das Recycling von Polycarbonat aussortierter CDs oder CD-Roms oder auch die Verwertung von Polyurethanprodukten durch chemisches Recycling (Glykolyse), konnten hier aus Platzgründen nicht diskutiert werden.

Wer heute aber behauptet, Recycling sei ein Teil des Problems und nicht die Lösung, outet sich als fanatischer Gegner von Polymerwerkstoffen und ignoriert dabei die technologischen Entwicklungen im Kunststoffrecycling vieler Jahrzehnte. ■



BOY®

Spritzgiessautomaten

BOY gratuliert

Kunststoffe

ganz herzlich

zum

110-jährigen

Jubiläum

