

Christoph Burgstaller

Leitfaden zum Kunststoffrecycling

Ergebnisse und Erkenntnisse aus dem Projekt „CIRCUMAT“

Dezember 2020



Dieses Projekt wird mit Mitteln des Programms Innovatives Oberösterreich 2020 unterstützt.

IMPRESSUM

Medieninhaber (Verleger) und Herausgeber: Business Upper Austria – OÖ Wirtschaftsagentur GmbH Redaktionsadresse: Hafenstraße 47-51, 4040 Linz, Telefon: +43 732 79810 – 5115, E-Mail: kunststoff-cluster@biz-up.at, www.kunststoff-cluster.at Für den Inhalt verantwortlich: DI (FH) Werner Pamminer, MBA Redaktion: Dr. Christoph Burgstaller Grafik/Layout: Christian Buhl Umsetzung: Business Upper Austria Bildmaterial: Alle Bilder, wenn nicht anders angegeben: Transfercenter für Kunststofftechnik (TCKT) Titelbild: AdobeStock/worradirek.

Gastbeiträge müssen nicht notwendigerweise die Meinung des Herausgebers wiedergeben. Alle Angaben erfolgen trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr, eine Haftung ist ausgeschlossen. Vorbehaltlich Satz- und Druckfehler. Aus Gründen der besseren Leserlichkeit verzichten wir teilweise auf geschlechtsspezifische Formulierungen. Sämtliche personenbezogenen Bezeichnungen beziehen sich auf alle Geschlechter in gleicher Weise.

INHALT

1. Einleitung	4
2. Welches Rezyklat kommt für welche Anwendung in Frage?.....	9
3. Problemstellungen und mögliche Lösungsansätze.....	10
4. Was Sie schon immer über Rezyklate wissen wollten	11
5. Fallbeispiele.....	12
5.1. Altspeiseölsammelkübel	12
5.2. Schutzschelle.....	14
5.3. Nagelkonus	14
5.4. Tiefziehbecher	16
6. Zusätzliche (technische) Herausforderungen beim Kunststoffrecycling	16
7. Fazit	18

Vorwort

Dieser Leitfaden ist aus den vielen Erkenntnissen der letzten Jahre heraus zum Thema Kunststoffrecycling entstanden und soll Möglichkeiten aufzeigen, Kunststoffe gemäß einer Kreislaufwirtschaft sinnvoll und effizient einzusetzen. Er enthält kompakt den derzeitigen Stand der Wissenschaft und Forschung, insbesondere die Ergebnisse aus dem Projekt „CIRCUMAT“, das sich mit verschiedenen Aspekten des Kunststoffrecyclings zum Schließen des Kreislaufs beschäftigt hat. Ich habe diese Erkenntnisse und Ergebnisse hier weitestgehend zusammengefasst und versucht, sie zu interpretieren, logische Schlussfolgerungen daraus zu ziehen und Ihnen, liebe Leserinnen und Leser, damit mögliche Denkanstöße zu liefern.

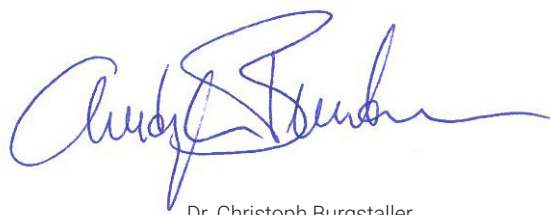
Mein Dank gilt den Projektpartnern, die dieses Projekt nicht nur finanziell, sondern auch mit ihrem fachlichen Input und Know-how unterstützt haben:

- Borealis AG
- EREMA Engineering Recycling Maschinen und Anlagen GesmbH
- Greiner Packaging International GmbH
- Innplast Kunststoffe GmbH
- Lindner-Recyclingtech GmbH
- MKW Kunststofftechnik GmbH
- O.Ö. Landes-Abfall-Verwertungsunternehmen (LAVU)

Ohne die Beteiligung und Mitarbeit dieser Unternehmen hätte dieses Projekt nicht so umfassend und professionell umgesetzt werden können.

Mein Dank gilt außerdem dem Institut für Polymerextrusion und Compounding der JKU Linz, das als wissenschaftlicher Partner mit seiner Expertise das Projekt unterstützt hat. Und natürlich dem Kunststoff-Cluster, der eine treibende Rolle bei der Verbreitung der Ergebnisse gespielt und somit dem Projekt zu zusätzlicher Reichweite verholfen hat. Meinem Team am TCKT danke ich für die Unterstützung bei der Durchführung des Projekts. Mit eurem Einsatz, Wissen und Engagement macht ihr aus Ideen Projekte!

Zu guter Letzt danke ich dem Land Oberösterreich, Abteilung Wirtschaft und Forschung, für die finanzielle Unterstützung des Projektes, mit der es möglich geworden ist, nicht nur die ursprünglichen Zielsetzungen zu erreichen, sondern auch in die Tiefe zu blicken, um schon für künftige Projekte daraus zu lernen.



Dr. Christoph Burgstaller

1. Einleitung

Kunststoff – umgangssprachlich Plastik – steht immer wieder unter Kritik: Müll, Mikroplastik, Treibhausgase – das alles mischt sich in der öffentlichen Diskussion zu einem Brei, der nahezu keine sachliche Auseinandersetzung mit dem Thema zulässt. Dieser Leitfaden soll dabei helfen, einen fachlich fundierten Beitrag für derartige Diskussionen zu liefern.

Kunststoffprodukte sind aus dem modernen Leben nicht mehr wegzudenken. Der Werkstoff Kunststoff findet sich dabei in den verschiedensten Anwendungen. Der Verbrauch an Kunststoffen steigt seit Jahren kontinuierlich, im Jahr 2018 wurden in Europa 51,2 Mio. Tonnen verbraucht¹.

¹ Plastics the facts 2019, www.plasticseurope.org

Haben wir ein Plastikproblem?

Wenn wir in diesem Zusammenhang von einem Problem sprechen, dann wohl eher von einem Verpackungs- oder Entsorgungsproblem. Kunststoffe werden in verschiedensten Bereichen eingesetzt, Verpackung ist dabei der dominierende (Abb. 1). In anderen Bereichen wie etwa Automobil & Transport, Bauwesen oder Elektronikindustrie schaffen Kunststoffe für die unterschiedlichen Anwendungen Nachhaltigkeit, da sie weniger Ressourcen und Energie als ihre Pendanten Metall, Glas, Holz, etc. benötigen. Das soll nicht bedeuten, dass nur Kunststoffe sinnvolle Materialien sind, aber: Kunststoffe sind für viele Anwendungen punkto Nachhaltigkeit eindeutig die bessere Wahl!

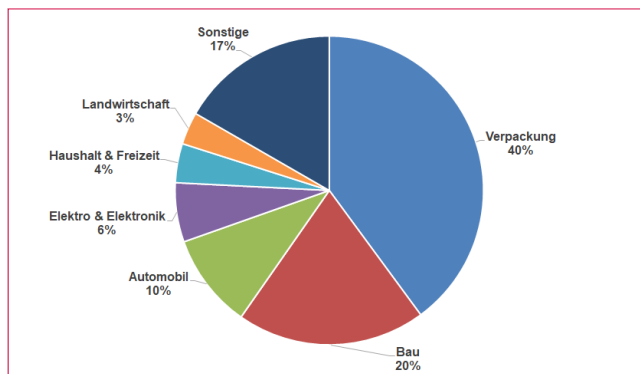


Abbildung 1: Kunststoffverbrauch nach Sparten¹

Nachhaltigkeit ohne Kunststoff – geht das?

Die Anforderungen der Konsument*innen an Verpackungen vor allem im Lebensmittelbereich steigen stetig an. Die Produkte sollen möglichst praktisch, möglichst frisch und möglichst lange haltbar sein. Am besten auch noch nachhaltig verpackt. Und nachhaltig ist eine Verpackung vor allem dann, wenn sie die Produktqualität möglichst lange aufrechterhält. Denn so trägt sie zur Reduktion von Lebensmittelabfall wesentlich bei. Kunststoff ist deshalb für viele Anwendungen aufgrund eines niedrigen Energieeinsatzes und Gewichts das bevorzugte Material. Auch Mehrwegverpackungen (etwa Wiederverschlussbehälter) sind nicht immer eine brauchbare Lösung: Oft können diese keine so lange Haltbarkeit der verpackten Produkte garantieren und auch ihre Reinigung ist vergleichsweise aufwändiger, was wiederum zu einer höheren CO₂-Bilanz führt.

Warum hat Kunststoff einen schlechten Ruf?

Das liegt hauptsächlich am Müllproblem: Werden Kunststoffverpackungen achtlos entsorgt, werden ihnen eine ihrer hervorragendsten Eigenschaften – nämlich ihre Langlebigkeit – zum Verhängnis. Sie „überleben“ Jahrzehnte in der Natur. Allerdings findet man in der Umwelt nicht nur Kunststoffverpackungen, sondern auch solche aus Metall und Glas.

Doch woher kommt das Problem der Vermüllung, dem sogenannten Littering? Einerseits sind es die wesentlich geringeren Kosten von Kunststoff im Vergleich zu Konkurrenzprodukten, die dem Werkstoff ein „billiges Image“ eingebracht haben. Zum anderen fehlt es oft an Aufklärung. Aufgrund der Vielfalt der Produkte und der vielen unterschiedlichen Sammelvarianten wissen die Verbraucher*innen oft nicht, wie eine korrekte Entsorgung auszusehen hat. Viele Kunststoffprodukte landen daher im Restmüll.

Zur Klarstellung – wir haben in Österreich ein gutes Abfallsammel- und Entsorgungssystem, aber bei unserer Mitarbeit in diversen Recyclingprojekten haben wir auch gesehen, dass einige Fraktionen, abhängig von den regionalen Gegebenheiten, gar nicht einer Verwertung zugeführt werden können.

Diese Hintergründe legten den Grundstein für das Projekt „CIRCUMAT“, bei dem sich neun Projektpartner entlang der gesamten Wertschöpfungskette zusammengefunden haben, um die vielen relevanten Aspekte zum Thema Kunststoffrecycling aufzuzeigen. Gemeinsam wurden branchen- und sektorübergreifend die vorhandenen Problemstellungen diskutiert, was zweifelsohne zur generellen Verbesserung des Gesamtverständnisses beigetragen hat.



Abbildung 2: Projektpartner im Projekt CIRCUMAT

Projektziele

Ziele im Projekt – neben der Erhöhung der Wertschätzung und Akzeptanz von Kunststoffen – waren:

- die Demonstration der Anwendbarkeit von Rezyklaten durch die Herstellung von mindestens 3 Produkten aus Rezyklaten.
- Der Anteil an Rezyklaten sollte mindestens 25 % bei Post-Consumer-Rezyklaten oder mindestens 45 % bei Post-Industrial-Materialien betragen, allerdings sollten so viele Rezyklate wie technisch möglich eingesetzt werden.
- die Darstellung von anspruchsvollen Produkten, z.B. aus der technischen Verpackung oder im Baubereich.
- Der Fokus lag auf Polyolefinen.

Der Fokus wurde deshalb auf Polyolefine gelegt, da diese die größte Menge der eingesetzten und damit auch wieder als Reststoff anfallenden Kunststoffe ausmachen. Mit der Darstellung technisch anspruchsvoller Produkte wollen wir aufzeigen, welche qualitativ hochwertigen Ergebnisse mit Rezyklaten erzielt werden können. Leider hat es in der Vergangenheit auch schon Produkte gegeben, die mit minderer Qualität aus Rezyklat hergestellt wurden, aber solche Produkte erhö-

hen nicht die Wertschätzung für Kunststoff, und sind daher nicht betrachtet worden. Und den zu verwendenden Rezyklatanteil haben wir deshalb relativ hoch angesetzt, um nicht Gefahr zu laufen, dass das Projekt „CIRCUMAT“ als Greenwashing-Projekt abgetan wird. Mit einem niedrigen einstelligen Prozentsatz an Rezyklaten im Produkt würde man nur schwer von Recycling sprechen können. Nur drei Demonstratoren für das Projekt auszuwählen waren ein Kompromiss in der Projektplanung, um das ganze auch „schaffbar“ zu machen. Es hätten auch mehr sein können, aber es war auch so, dass Ideen im Projekt auch wieder verworfen wurden, weil deren technische oder ästhetische Anforderung (noch) nicht realisiert werden konnten.

Ein Nicht-Ziel des Projektes waren – aufgrund der hohen Anforderungen an die Reinheit – Lebensmittelverpackungen. Die Projektergebnisse sollen zeigen, dass eine sinnvolle Anwendung von Rezyklaten möglich ist. Dieses Wissen wird in Zukunft benötigt, um Kreisläufe zu schließen und Kunststoff tatsächlich in einer Anwendung zu halten, wie es etwa schon mit PET-Flaschen gemacht wird oder zumindest den Kunststoffen nach ihren oft sehr kurzen ersten Lebenszyklen (etwa als Verpackung) eine weitere sinnvolle Anwendung zu geben. Das ist auch hinsichtlich der schon geltenden und auch weiteren angekündigten gesetzlichen Rahmenbedingungen relevant.

Gesetzliche Rahmenbedingungen

2015 wurde von der EU-Kommission ein Kreislaufwirtschaftspaket veröffentlicht, das ausführlich auf den Themenbereich Kunststoffabfälle und die damit verbundenen Problematiken und Möglichkeiten eingeht. Dieses Paket zielt auf die Erhöhung und Verbesserung des Kunststoffrecyclings, mit Fokus auf Wirtschaftlichkeit und Qualität, ab. Ein weiterer Schwerpunkt ist die deutliche Reduzierung der zunehmenden Verschmutzung der Gewässer und Meere mit Mikroplastik. Die zentralen Aspekte dieser Kunststoffstrategie lauten wie folgt :

- Das Kunststoffrecycling soll deutlich gestärkt werden. Bis zum Jahr 2030 sollen 60 % der Kunststoffverpackungsabfälle wiederverwertet werden. Es sollen mehr Abfälle getrennt gesammelt und die Kapazitäten zum Recycling in der EU ausgebaut werden, zudem sollen mehr Recyclingkunststoffe verwendet werden.
- Der Export außerhalb der EU von Kunststoffabfällen soll auslaufen.
- Einwegkunststoffprodukte sollen stark reduziert werden.
- Chemische Substanzen, die Kunststoffen zugesetzt werden und das Recycling behindern, sollen ersetzt werden.
- Ein besseres Verständnis für die Quellen und Eintragspfade von Mikroplastik soll geschaffen werden. Erreichen will man dies, indem man die Verbraucher *innen miteinbindet. Mit Hilfe von neuen Kennzeichnungen bekommt diese*r die Chance, auf solche Kunststoffe zu verzichten.
- Absichtlich beigefügte Mikroplastikpartikel in Kosmetika und anderen Produkten werden im Rahmen von REACH verboten.
- Auch bei bioabbaubaren Kunststoffen sollen klare Kennzeichnungen und Standards dazu beitragen, dass Verbraucher*innen die Auswirkungen und Risiken solcher Produkte besser einschätzen können. Ein klarer Rechtsrahmen, der bis dato noch nicht existiert, soll hier für Überblick und Klarheit sorgen. Jedoch ist bioabbaubarer Kunststoff keine Lösung für das Vermüllungsproblem und soll es auch nie werden.

Das zeigt das Interesse am Thema, aber auch das Verständnis, dass es hier keine singulären Lösungen gibt. So werden absichtlich beigefügte Mikroplastikpartikel klar verboten, aber es wird auch das Thema Biokunststoff – ein großes Thema, das hier nicht detailliert beschrieben werden kann – und im Detail bioabbaubarer Kunststoff auch klar so definiert, dass diese nicht das Allheilmittel gegen die Vermüllung sind.

² PlasticsEurope AISBL (2018). „Plastics 2030 - PlasticsEurope's Voluntary Commitment to increasing circularity and resource efficiency“, Association of Plastic Manufacturers. Belgium

Daraus ergeben sich wesentliche Zielsetzungen auf EU-Ebene²:

- bis 2030: **“60 % aller Kunststoffverpackungen werden wiederverwendet oder recycelt”**
- bis 2040: **“100 % reuse, recycling and/or recovery of all plastic packaging in the whole EU aller Kunststoffverpackungen in der EU werden wiederverwendet, recycelt oder gesammelt”**

Vor allem die zweite Stufe des Ziels zeigt, dass hier neue Denkansätze notwendig sind, die ganzheitlich das Thema betrachten. Dies muss sowohl in der Sammlung und Anwendung unterschiedlicher Recycling-Verfahren (werkstoffliches und rohstoffliches bzw. mechanisches und chemisches Recycling) passieren als auch schon in der Produktauslegung und Herstellung mit der Berücksichtigung einer Eignung des Produkts für die Wiederverwertung.

³ VVO, BGBl. II Nr. 184/2014 i.d.g.F

Mit diesen Zielsetzungen und deren Umsetzung müssen wir uns auch in Österreich entsprechend beschäftigen. Laut Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus werden zurzeit nur 20-35 % aller Verpackungsabfälle recycelt. Bis 2025 soll diese Recyclingquote über alle Materialien auf 50 % verbessert werden. Um dies zu erreichen, wurde eine Verpackungsordnung³ erlassen, die verschiedene Maßnahmen enthält: etwa eine Reduktion von Kunststofftragetaschen und eine Sammel- bzw. Rücknahmeverpflichtung von Verpackungen über ein flächendeckendes Sammel- und Verwertungssystem. Ziel ist, die Vermeidung und Wiederverwertung von Verpackungsabfällen zu verbessern.

⁴ Recycling-Baustoffverordnung; BGBl II Nr. 181/2015 i.d.g.F

Ebenso kommt es auch zu verstärkten Regulierungen beim Recycling im Bauwesen. Hier soll die Kreislaufwirtschaft und Materialeffizienz durch die Trennung und das Recycling von bei Bau- und Abbruchtätigkeiten anfallenden Abfällen erzielt werden⁴. Fokus hierbei liegt insbesondere in der Vorbereitung zur Wiederverwendung von Bauteilen und der Sicherstellung einer hohen Qualität von Recycling-Baustoffen.

Welche Arten von Recycling gibt es nun eigentlich?

Allgemein versteht man unter Kunststoffrecycling das Trennen und Verwerten von Kunststoffabfällen nach ihrem Produktnutzungszyklus. Nach der Art der Aufbereitung lassen sich drei Varianten des Recyclings von Kunststoffen unterscheiden:

- werkstoffliches Recycling
- rohstoffliches Recycling
- thermische Verwertung

⁵ Plastics – the Facts 2018, Plastics Europe AISBL, www.plasticseurope.org.

Derzeit werden weltweit etwa 30 % der Kunststoffabfälle (werkstofflich) recycelt, ca. 40 % energetisch als Ersatzbrennstoff verwendet und die restlichen ca. 30 % deponiert. Das Deponieren ist leider noch viel zu oft der Entsorgungsweg von Abfällen im Allgemeinen. Ein Deponieverbot (für unbehandelte Abfälle), wie es etwa in Österreich, Deutschland oder Schweden schon länger besteht, hat einen positiven Effekt auf die Wiederverwertung, wie auch die Wiederverwertungsquoten zeigen⁵.

Beim **werkstofflichen Recycling** wird das Material als solches chemisch nicht verändert, sondern nach Reinigungs- und Sortierschritten mittels geeigneter Anlagen aufgeschmolzen, dabei zusätzlich gereinigt (Abtrennung von Störstoffen durch Filtration und Entgasung), homogenisiert und dann wiederum zu einem verarbeitbaren Granulat geformt. Es sind nicht immer alle Schritte notwendig, diese werden abhängig vom Ausgangsmaterial, dessen Verschmutzungsgrad und der Anwendung bestimmt. Als Beispiel kann hier Mahlgut aus PET-Flaschen genannt werden, das – abhängig von verschiedenen Faktoren – sowohl als gereinigtes Mahlgut als

auch als Regranulat (= Granulat aus Rezyklat) angeboten wird. Das werkstoffliche Recycling wird auch immer öfter als mechanisches Recycling bezeichnet. Dieser Begriff kommt aus dem Englischen und soll zeigen, dass das Material nur durch mechanische Prozesse wie etwa den Extrusionsprozess⁶ aufbereitet wird.

Das **rohstoffliche Recycling** (alternativ chemisches Recycling) ist jenes Verfahren, bei dem die Kunststoffe durch Energieeinwirkung oder chemische Prozesse wieder zu ihren Bausteinen aufgespalten werden, damit diese wieder beim Herstellungsprozess (z.B. der Polymerisation) eingesetzt werden können. Diese Verfahren gibt es schon eine Weile, sie haben sich bislang jedoch noch nicht durchgesetzt⁷, da sowohl die Energiebilanz als auch die Kosten dagegengesprochen haben. Steigende Preise und gesetzliche Vorgaben, Kunststoffe zu recyceln, machen das Verfahren wieder interessanter. Oft wird das rohstoffliche Recycling als „Allheilmittel“ angesehen, da hier auch gemischte Kunststoffe aufbereitet werden können. Dies ist allerdings mit Vorsicht zu genießen, denn die chemischen Prozesse, die zum Zerlegen der Polymere angewendet werden, und auch jene, die dann zu Polymerisation führen, können auch nur dann effizient laufen, wenn definierte und relativ saubere Ströme eingesetzt werden können.

Die **thermische Verwertung** ist das Wiederverwerten der im Material eingesetzten Energie, das bei den meisten Kunststoffen eine relativ positive Bilanz aufweist. Das hat auch deswegen einen nachhaltigen Aspekt, da auf den Brennwert gerechnet mit einem geringen Zusatzenergieaufwand ein Lebenszyklus durchlaufen wurde, und dann kann die Energie genutzt werden (im Vergleich zum direkten Einsatz des Erdöls als Energielieferant ohne Zwischennutzung). Hier ist jedoch die Abfallbehandlung in reinen Müllverbrennungsanlagen zu unterscheiden, die lediglich für eine Volumensverringerung des Abfalls sorgt und keine bzw. kaum Energie aus der Abwärme gewinnt. Das ist immer noch besser, als würde der Kunststoffabfall unbehandelt in einer Deponie oder noch schlimmer in der Umwelt landen. Sofern möglich, sollen Kunststoffabfälle recycelt werden und nur dann, wenn sie nicht mehr verwertbar sind, einer thermischen Verwertung mit Energierückgewinnung zugeführt werden.

Welche Arten von Rezyklaten gibt es?

Grundsätzlich können Rezyklate⁸ in zwei Kategorien nach ihrer Herkunft eingeteilt werden: in Industrieabfälle (Post-Industrial-Rezyklate) und Gebrauchsabfälle (Post-Consumer-Rezyklate). Dazu kommt noch das hausinterne Umlaufmaterial für das sogenannte innerbetriebliche Recycling, also den direkten Wiedereinsatz von z.B. Angüssen an der Maschine. Diese Variante wird hier nicht explizit erwähnt, da solche Materialien nur bei Herstellern von Kunststoffprodukten anfallen und damit nicht am Markt verfügbar sind⁹. Wir wollen sie hier trotzdem erwähnen, da sie zeigen, dass Kunststoffe in diesem Bereich ohnehin schon sehr effizient sind.

Industrieabfälle sind in der Regel sortenrein, verhältnismäßig sauber und ungebraucht, d.h. sie haben noch keinen Produktlebenszyklus erlebt. Die Wiederverwertung solcher Materialien ist relativ einfach, da das Material recht gut bekannt ist und allfällige Einflüsse aus vorhergehenden Verarbeitungsschritten wie etwa ein Abbau der Materialeigenschaften durch den Zusatz von Stabilisatoren, anderen Additiven zur Eigenschaftsveränderung oder auch von Neuware kompensiert werden kann.

Post-Consumer-Rezyklate (Gebrauchsabfälle) sind jene Stoffströme, die nach einem erfolgten Produktlebenszyklus durch die private oder gewerbliche Nutzung anfallen. Das Material ist nach der Nutzung unterschiedlich verschmutzt, geschädigt und auch nicht sortenrein. Für das Recycling muss es entsprechend aufbereitet werden (Reinigung, Auftrennung), um dann in einem Recyclingprozess wieder zu Granulat oder Halbzeug geformt zu werden. Oft werden auch Ad-

⁶ Der hauptsächlichste Teil des Energieeintrags wird bei Kunststoffverarbeitungsmaschinen nicht über die Heizung, sondern über die Scherung durch die Schnecke und damit über mechanische Antriebsleistung eingebracht

⁷ Das Recycling von PET wird dem mechanischen Recycling zugerechnet, wenn auch ein Kettenaufbau durch Polykondensation in diesen Prozessen stattfindet, was zum chemischen Recycling passen würde.

⁸ Rezyklate sind Materialien, die für eine Wiederverwendung aufbereitet werden. Regranulate bezieht sich darauf, dass diese wieder zu einem Granulat geformt wurden, während es auch andere Varianten, z.B. Mahlgüter gibt, die nach einem Reinigungsschritt getrocknet und vermahlen werden und so wiederverwendet werden

⁹ Sobald diese am Markt verfügbar werden, fallen sie in die Kategorie Post-Industrial Rezyklat

ditiv wie Stabilisatoren, Verträglichkeitsvermittler oder Schlagzähmodifikatoren zugesetzt, um die Eigenschaften, die durch den vorhergehenden Gebrauch und durch nicht abtrennbare Vermengungen mit artfremden Kunststoffen reduziert wurden, wieder auf ein anwendbares Niveau zu heben.

Um das von der EU vorgegebene strategische Ziel der Erhöhung der Recyclingquoten für Kunststoffverpackungen erreichen zu können, muss vor allem das Wiederverwerten von Post-Consumer-Abfällen verfolgt werden, denn über 80 % aller Kunststoffabfälle in Österreich sind dieser Kategorie zuzurechnen. Derzeit gibt es hier nur wenig Nutzung. Technologien für diese Wiederverwertung gibt es, jedoch müssen die Sammlung und Trennung angepasst werden, und es müssen für die so entstehenden Rezyklate auch Anwendungen gefunden werden, wo diese sinnvoll eingesetzt werden können, damit hier durch den Bedarf auch das Angebot verbessert wird.

2. Welches Rezyklat kommt für welche Anwendung in Frage?

Im Rahmen des Projekts wurden unterschiedliche Anwendungen aus Rezyklaten realisiert. Die hier dargestellte Vorgehensweise lässt sich auch auf andere Anwendungsbeispiele bzw. Rezyklate umlegen. Es wird nicht immer für jede Anwendung ein Rezyklat existieren, das die Anwendungen erfüllt, bzw. gibt es Bereiche, wo ein Rezyklateinsatz durch technische und legislative Herausforderungen (derzeit) nicht darstellbar ist.

Die grundlegende Frage lautet immer: Kann ich mein Produkt aus Rezyklat(en) produzieren?

¹⁰ dies ist eine Momentaufnahme – wenn es gelingt, die Kreisläufe wirklich zirkulär zu führen und damit zu schließen, dann gibt es in Zukunft möglicherweise Rezyklate, welche diese Anforderungen erfüllen.

- Im ersten Schritt muss geklärt werden, in welchem **Anwendungsbereich** das Produkt eingesetzt werden soll und ob es bestimmte Vorgaben gibt. In den meisten Fällen können Rezyklate verwendet werden, in den Bereichen Medizintechnik, Healthcare und Verpackung mit Lebensmittelkontakt ist ein Einsatz derzeit nicht realisierbar¹⁰. In Bereichen wie etwa beim Bau, in der Automotive- oder in der Elektro- & Elektronikbranche ist ein Rezyklateinsatz hingegen denkbar. Neuere Beispiele findet man auch in der Verpackung von Reinigungsmitteln oder in Haushaltsgütern.
- Im nächsten Schritt geht es um die **Eigenschaften**, die ein **Rezyklat** aufweisen muss, um die Anforderungen zu erfüllen. Manche Eigenschaften sind durch die Anwendung streng definiert, andere wiederum sind nur schwer in Zahlen zu fassen. Je besser eine Definition der Anforderungen ist, desto einfacher ist es, ein passendes Material zu suchen – das Finden ist eine andere Sache. Als Basis der Anforderungsdefinition können oft die Datenblätter des eingesetzten Materials herangezogen werden. Diese Information ist aber zu hinterfragen. Es gibt nur eine begrenzte Auswahl an Neuware-Produkten und oft sind einzelne Eigenschaften mit einem Rezyklat nur schwer zu erreichen, aber auch für die Anwendung nicht immer erforderlich. Als Beispiel seien hier transparente, ungefärbte Rezyklate genannt, insbesondere dann, wenn das Produkt dunkel eingefärbt wird. Solche K.O.-Kriterien sind zu hinterfragen und wenn möglich zu verwerfen.
- Werden Rezyklate gefunden, die die oben angegebenen Anforderungen erfüllen, dann ist ein **Test in der Anwendung** erforderlich. Dazu ist eine **Bemusterung** notwendig – einerseits um die Teile für nachfolgende Tests zu erhalten, andererseits um auch die Verarbeitbarkeit zu ermitteln. Hier stellen sich Fragen nach der Prozessstabilität, nach Effekten wie Gerüchen oder Ausgasungen oder aber auch Ablagerungen auf Werkzeugoberflächen, die durch die versuchsweise Verarbeitung geklärt werden können.
- Die hergestellten Teile müssen auf ihre Eigenschaften geprüft werden. Dazu sind **anwen-**

dungsnahe Tests gefragt. Beispiele für solche anwendungsnahen Tests sind etwa der Stapeldruckversuch für Behälter, die im Gebrauch übereinandergestellt werden, oder ein Bauteilzugversuch für einen auf Zug belasteten Abstandhalter. Abhängig von der Anwendung müssen fallweise nicht nur Kurzzeitversuche durchgeführt werden, sondern auch Langzeitversuche, etwa um das Kriechverhalten oder die Beständigkeit gegenüber Umwelteinflüssen zu ermitteln, wenn eine Anwendung eine längere Zeit unter Belastung bestehen muss.

- Wenn nun ein Material die Anforderungen nicht erfüllt, kann oftmals Abhilfe mittels Modifikation geschaffen werden – dazu etwas mehr in einem Folgekapitel.

Wenn technisch der Einsatz eines Rezyklats möglich ist, sind noch einige andere Fragen zu klären:

- Ist die Verfügbarkeit des Materials gegeben? Diese Frage muss an sich zwar schon vor den Versuchen geklärt werden, aber allfällige Modifikationen sind in diesem Schritt noch zu berücksichtigen.
- Mit welcher Qualitätskonstanz kann gerechnet werden? Hier empfehlen sich vor allem zu Beginn Prüfungen der Materialqualität, um eventuell auftretende Probleme schon möglichst früh identifizieren zu können.
- Gibt es für dieses Produkt die nötige Kundenakzeptanz? Befragungen könnten klären, ob den Endkonsumenten auch tatsächlich bewusst ist, dass das erworbene Produkt aus Rezyklat(en) besteht. Auch kann der Rezyklatanteil hervorgehoben werden^{11,12}, was einen Vorteil in der Bewerbung darstellt.

Sind alle diese Punkte geklärt und umsetzbar, dann steht einer Anwendung mit Rezyklateinsatz nichts mehr im Wege. Sollten Materialprobleme auftreten, dann gibt es im nächsten Kapitel beschriebene Lösungen dafür.

3. Problemstellungen und mögliche Lösungsansätze

Oftmals stellt sich heraus, dass ein aus einem Rezyklat bemustertes Bauteil nicht den Vorstellungen entspricht oder die Anforderungen nicht erfüllt¹³. Ist dann automatisch das Rezyklat nicht geeignet? Nicht unbedingt – in solch einem Fall empfiehlt es sich, die Expertise anerkannter Forscher*innen miteinzubeziehen. In Oberösterreich haben wir eine hervorragende Struktur, etwa mit außeruniversitären Instituten wie etwa dem TCKT oder auch mit Expert*innen der JKU Linz oder der FH Oberösterreich.

Beispielhaft möchte ich an dieser Stelle häufig auftretende Problemstellungen anführen – auch um zu zeigen, dass ein misslungener Erstversuch nicht das Ende eines Rezyklateinsatzes bedeuten muss.

- **Die mechanischen Eigenschaften des Bauteils/Produkts passen nicht!** Das ist eines der häufigsten Probleme. Oft ist ein Rezyklat zu spröde bzw. zu wenig schlagzäh. Hier kann mit Schlagzähmodifikatoren abgeholfen werden. Das eingesetzte Rezyklat kann auch zu weich sein, hier hilft dann entweder der Zusatz von geringen Anteilen an anorganischen Füllstoffen oder auch der Zusatz von Neuware. Es gibt eine Unmenge an Möglichkeiten, ein Material zu modifizieren.
- **Die Optik des Bauteils entspricht nicht!** Hier gilt zu unterscheiden, wie stark die Optik beeinträchtigt ist. Schlieren können durch schlecht gemischte Komponenten herrühren, etwa wenn Neuware und Rezyklat im Spritzguss als Granulatmischung eingesetzt werden (insbesondere dann, wenn sich die Viskositäten stark unterscheiden). Schlieren können durch

¹¹ www.blauer-engel.de
¹² www.eucertplast.eu

¹³ Dies ist übrigens kein Spezifikum von Rezyklaten, auch bei Materialentwicklungen mit Neuware kommt das vor. Der Vorteil bei Neuware ist aber, dass die Materialien meist schon länger und besser bekannt sind und es eine gewisse Standardisierung gibt, was bei Rezyklaten (noch) nicht der Fall ist.

Feuchtigkeit ausgelöst werden. Andere optische Fehler müssen im Detail beurteilt werden: Dunkle Punkte können von abgebautem Material stammen, Gele von vernetzten Anteilen, Fremdstoffe können trotz Schmelzefiltration in geringer Menge im Material vorkommen.

- **Der Geruch passt nicht!** Es gibt Reststoffe in Rezyklaten, die – obwohl nur in geringen Mengen enthalten – unangenehme Gerüche verursachen. Dies kann ein Verarbeitungsproblem sein: zu hohe Temperaturen oder eine falsche Aufbereitung. Hier kann ein Zusatz von Geruchsfängern oder eine Aufbereitung mit Geruchsentfernung helfen. Unser Tipp: „Parfümieren“ Sie die Materialien nicht. Das bewirkt meist einen gegenteiligen Effekt.
- **Das Material lässt sich nicht verarbeiten!** Auch hier ist, um die Ursache zu finden und zu beheben, eine Analyse der auftretenden Fehler notwendig. Ist es die Füllung der Form oder ein Fadenziehen am Heißkanal? Oder aber bleibt das Material an der Werkzeugwand/am Düsenaustritt in der Extrusion hängen? Es gibt viele Ursachen – fragen Sie am besten die Expert*innen.

Wie Sie sehen, es gibt viele mögliche Probleme, allerdings auch ebenso viele Möglichkeiten, diese zu lösen. Lassen Sie sich bei der Anwendung von Rezyklaten nicht durch kleine Rückschläge schon zu Beginn Ihres Vorhabens entmutigen!

4. Was Sie schon immer über Rezyklate wissen wollten

Ein Rezyklat ist doch wohl billiger als Neuware, oder?

Die Qualität bestimmt den Preis. Dies ist auch bei Neuware so. Gute Qualität kostet. Einerseits sind die Ausgangsmaterialien schon sehr hochwertig, andererseits ist auch der Aufwand für die Herstellung größer – etwa durch bessere Vorbereitung des Rezyklats oder bessere Schmelzefiltration.

Das Rezyklat kann aber nicht teurer sein als Neuware, oder?

Doch – gerade in Zeiten stark schwankender Rohölpreise und hoher Nachfrage kann durch einen Preisverfall bei der Neuware ein Rezyklat ähnliche oder auch höhere Preise verursachen.

Zahlt sich ein Einsatz von Rezyklaten dann noch aus?

Kurzfristig gesehen ist das sicherlich schwierig zu argumentieren. Auf lange Sicht sollte das aber einen Einsatz von Rezyklat nicht verhindern, denn mit besseren für das Recycling geeigneten Produkten und besseren Recyclingkreisläufen und Prozessen wird das Angebot an qualitativ hochwertigen Rezyklaten steigen. Zusätzlich werden auch finanzielle Anreize, etwa durch die „Single Use Plastic Tax“ geschaffen, die Neuware teurer machen und einen Rezyklateinsatz bzw. die Rezyklierbarkeit an sich begünstigen. Ebenso steigen die legislativen Anforderungen an Rezyklatanteil und Rezyklierbarkeit von Produkten, wodurch sich Recycling immer mehr auszahlt.

Woher bekomme ich mein Rezyklat?

Es gibt unterschiedliche Anbieter wie etwa Recycler selbst, die definierte Qualitäten anbieten, als Beispiele seien die Projektmitglieder mtm/Borealis (www.mtm-plastics.eu) oder Innplast (www.innplast.com) genannt.

Der Kunststoff-Cluster hat einen aktuellen und neutralen Überblick. Am besten, Sie nehmen Kontakt mit den Expert*innen dort auf: www.kunststoff-cluster.at

Warum sieht das Rezyklat nicht aus wie Neuware?

Trotz aller Bemühungen hat ein Rezyklat bereits einen gewissen Lebenszyklus hinter sich. Das

geht nicht spurlos am Material vorüber und auch nicht jedes Material ist gleich. Es gibt genügend Rezyklate, denen es nicht angesehen werden kann, dass sie schon einen Lebenszyklus hinter sich haben, da der Kreislauf gut geschlossen wurde. Es kann aber trotzdem zu kleineren Verunreinigungen kommen. Wichtig ist zu klären, ob die Qualität des Rezyklats alle notwendigen Anforderungen erfüllt oder ob die Qualität eben doch nicht ausreicht. Dann muss alternativ ein anderes Material gefunden werden.

Woher bekomme ich die transparente/farblose Rezyklat-Qualität?

Abhängig vom Material – sehr schwierig bis gar nicht. Das ist wiederum etwas, was sich über mit der Zeit verbessern wird, wenn mehr Verpackungen für das Recycling verbessert ausgelegt werden, sodass die Verpackungen nicht mehr stark bedruckt oder vollflächig verklebt sind, sondern mit Sleeves, die im Recyclingprozess einfach abgetrennt werden können. Mit der Umstellung auf solche Lösungen (und auch andere, die dafür sorgen, dass Rezyklate mit besserer Qualität entstehen) wird auch die verfügbare Menge an diesen „Wie-Neuware“-Rezyklaten steigen. Allerdings sollen diese dann auch nur wieder für Anwendungen eingesetzt werden, die transparent sind. Denn sie anschließend wieder dunkel einzufärben, unterbricht den Kreislauf und das Material muss dann erst recht durch Neuware ersetzt werden.

Wo kann ich es einsetzen?

Wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben, kommt es auf die Anforderungen der Anwendung an. Diese sind aber auch hinsichtlich ihrer Notwendigkeit zu überprüfen, damit hier nicht unnötig hohe Anforderungen den Einsatz von Rezyklaten verhindern. Einige Beispiele für solche Anwendungsmöglichkeiten werden im Folgekapitel gezeigt.

Wer kann das Produkt prüfen?

Am besten wenden Sie sich an die Materialentwickler Ihres Vertrauens – diese haben meist langjährige Erfahrung mit der Anwendung, Verarbeitung und Prüfung von Materialien bzw. Bauteilen besteht. Expert*innen finden sie am außeruniversitären Institut TCKT (www.tckt.at), an der Johannes Kepler Universität (www.jku.at) oder an der Fachhochschule Oberösterreich (www.fh-ooe.at).

5. Fallbeispiele

Im Folgenden sind verschiedene Fallbeispiele angeführt, die allesamt zeigen, was mit Rezyklaten möglich ist. Oft ist es eine Materialentwicklung mit Rezyklaten – was auch zeigt, wie sich das Thema Recycling über die letzten Jahre weiterentwickelt hat. Zusätzlich sollen diese Beispiele dazu dienen, die oben angesprochene Systematik zur Bewertung des Einsatzes von Rezyklaten in der Anwendung zu zeigen und damit besser nachvollziehbar zu machen.

5.1. Altspeiseölsammelkübel

Das erste Beispiel ist eine Verpackungsanwendung: der Öli aus Recyclingmaterial – eine Idee des Projektpartners LAVU (Abb. 3). Dieser Behälter sammelt Speiseölrreste aus Haushalten, damit diese nicht ins Abwasser gelangen. Der Öli muss folgende Anforderungen erfüllen:

Er ist relativ dünnwandig, d.h. die Fließfähigkeit des Materials muss ausreichend hoch sein, sodass die Füllung schnell und ausreichend gleichmäßig erfolgen kann. Zudem muss eine gute Maßhaltigkeit erreicht werden, damit der Deckel auch fest und dicht sitzt – diese Eigenschaft muss auch gegeben sein, wenn der Kübel aus geringer Höhe auf den Boden fällt, da sonst das alte Speiseöl austritt. Mechanisch muss der Kübel stapelbar sein – ohne Einknicken, aber auch

ohne Deformation, die wieder eine Undichtigkeit erzeugen würde. Thermisch muss das Material eine Befüllung mit noch heißem Öl (hier sind 80°C definiert) aushalten, aber ebenso die Entleerung und anschließende Wäsche bei höheren Temperaturen, und das mehrmals.

All diese Eigenschaften sind nun nicht ganz einfach zu erreichen. Für die Versuche wurde ein Post-Consumer-PP ausgewählt, das zwar gefärbt war (im typischen Recyclinggrau), aber eine hohe Reinheit aufweist und das zusätzlich in seiner Fließfähigkeit verbessert wurde. PP wurde verwendet, um eine gute Wärmeformbeständigkeit zu erreichen (und auch das Originalmaterial ist ein PP) und damit die Steifigkeit auch für die ausreichende Stapeldruckfestigkeit sorgt.



Abbildung 3: Altspeiseölsammelkübel Öl, aus Post-Consumer-Rezyklat hergestellt

Die erste Bemusterung wurde mit dem ausgewählten Rezyklat zu 100 % und in einer 50:50-Mischung mit der eingesetzten Neuware durchgeführt. Hier hat sich ein bemerkenswerter Effekt gezeigt: Jene Kübel, die mit der Mischung bemustert wurden, zeigten Schlieren und leichte Ansätze von Oberflächendeformationen, bedingt durch die nicht optimale Vermischung der beiden Materialien. Der Kübel aus 100 % Rezyklat hingegen zeigte ein gutes Ergebnis – sowohl in der Optik als auch in der Füllung (es wurden die feinen Strukturen zur Versteifung des Kübelrands alle ebenso gut gefüllt wie der Rand selbst, der die Abdichtung bewerkstelligt).

Mit diesen Kübeln wurden dann verschiedene vergleichende Tests gemacht – Stapeldruck, Fall- und Fülltests, alle im Vergleich mit den Kübeln aus Neuware (Abb. 4). Die Kübel wiesen – obwohl das Rezyklat am Datenblatt etwas geringere Eigenschaften aufgewiesen hat (E-Modul und Schlagzähigkeit) – alle eine gleich gute Performance auf.

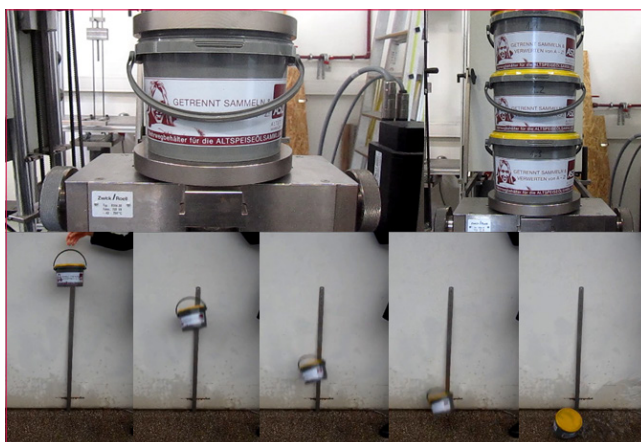


Abbildung 4: Beispiele für Bauteilprüfungen am Kübel aus Rezyklat (oben links: Druckversuch, oben rechts: Stapeldruckversuch, unten: Falltest am gefüllten Kübel)

Auch ein mehrmaliger Waschtest in der Anlage hat die Dimensionen, die Dichtigkeit und die Eigenschaften des Kübels nicht verändert. Damit ist es also möglich, diesen Kübel aus 100% Rezyklat herzustellen! Nachdem dieses Rezyklat direkt aus der Hartkunststoffsammlung der LAVU kommt, ist das ein „doppelter“ Kreislauf – die ausgedienten Hartkunststoffe bekommen ein neues Leben als Öli, der dann nach seiner Lebensdauer wiederum recycelt werden kann.

5.2. Schutzschelle

Die nächste Anwendung ist eine Schutzschelle für Durchbrüche in Profilen von Leichtbauwänden, der ÖkoEff (Abb. 5). Er dient dazu, die scharfen Kanten, die durch das Ausstanzen des Durchbruchs in den Blechprofilen entstehen, abzudecken. So wird verhindert, dass Rohre oder Kabel, die durch diese Durchbrüche geführt werden, durch die scharfen Blechkanten beschädigt werden, was zu Wasseraustritt bei Rohren oder Kurzschlüssen bei Kabeln führen kann. Dies ist, gemeinsam mit wesentlichen Verbesserungen in der Einbringung der Durchbrüche und der definierten Statik im Profil, die Idee hinter dieser Anwendung.

Diese Schutzschelle muss nun einfach und günstig (da in einem Bauprojekt viele dieser Schellen benötigt werden) herzustellen sein und sie muss eine definierte Maßhaltigkeit aufweisen, denn diese Schelle wird in den Durchbruch eingeklipst und muss dann auch unter Belastung bei Installation und in der Anwendung halten.



Abbildung 5: Beispiele der ÖkoEff-Schelle aus Neuware (links) und Rezyklat

Das bedingt ein Material mit einer guten Verarbeitbarkeit, damit die Form gefüllt werden kann und diese auch reproduzierbar maßhaltig ist. Zusätzlich muss eine gewisse Flexibilität bzw. Rückstellbarkeit gegen die aufgebrachte Deformation beim Einklipsen gegeben sein, damit die Schelle auch hält.

Für diese Anwendung wurde ein Polyolefin-Rezyklat (PP mit geringem PE-Anteil und guter Fließfähigkeit) aufgrund der geforderten Eigenschaften (vor allem wegen der Zähigkeit) ausgewählt und mit diesem die Schelle bemustert. In vergleichenden Bauteilprüfungen (Abb. 6) mit Neuware wurde die Eignung des Materials für diese Anwendung nachgewiesen. Das zeigt, dass das Rezyklat hier die Anforderungen problemlos erfüllt und durch sorgfältige Auswahl gestaltete sich auch die Verarbeitung unproblematisch.

5.3. Nagelkonus

Die nächste Anwendung kommt ebenfalls aus dem Baubereich. Hier wurde ein Nagelkonus (Abb. 7) ausgewählt, der auf Schalungen zur Fixierung von Hülsen eingebaut wird, damit diese beim Betonieren an der richtigen Stelle bleiben. Dieses auf den ersten Blick recht einfache Teil ist nur für eine kurze Anwendung ausgelegt, weswegen hier keine Langzeittests not-

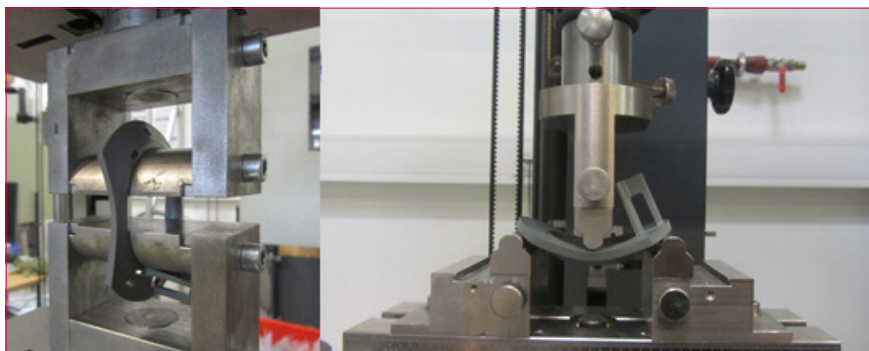


Abbildung 6: Bauteilprüfung an der ÖkoEff-Schelle aus Rezyklat (links: Ringzugversuch, rechts: Bauteilbiegeprüfung)

wendig sind. In der Anwendung wird der ca. 5 cm große Konus auf die Schalung genagelt, was bedeutet, dass dieser gegen Schlag unempfindlich sein muss. Diese Eigenschaft muss auch bei tieferen Temperaturen gegeben sein, da im Baubereich auch bei Temperaturen unter null Grad gearbeitet wird.



Abbildung 7: Nagelkonus aus Originalmaterial (HDPE, links) und PE-Rezyklat (rechts)

Es wurde ein PE-basierendes Rezyklat für den Konus ausgewählt, damit die Tieftemperaturbeständigkeit gegeben ist. Überprüft wurde diese mittels eines Impactversuchs, vor dem die Proben im Tiefkühler bei -20°C gelagert wurden. Diese Temperatur ist sicher ein Extremwert, aber die Versuche bestätigen die Eignung des PE-Materials: Es splittert nicht im Gegensatz zu einem gemischten PE-PP-Rezyklat (Abb. 8).



Abbildung 8: Nagelkonus nach dem Impactversuch bei -20°C (links: PE-Rezyklat, rechts: PE-Rezyklat mit höherem PP-Anteil)

5.4. Tiefziehbecher

Es gibt aber nicht nur Post-Consumer-Rezyklate, sondern auch Post-Industrial-Material, das nur wenig Anwendung findet. Im Projekt hatten wir ein Material aus der Folienextrusion, das aus LDPE (ca. 70 %) und PA6 (ca. 30 %) besteht und z.B. als Randbeschnitt anfällt. Dieses Material kann nicht direkt wiederverarbeitet werden – es lässt sich zwar eine Folie daraus herstellen, aber die Eigenschaften sind enden wollend, da sich das LDPE und das PA6 nicht mischen und damit keine homogene Folie entsteht.

Um dieses Problem zu lösen, wurde dem Material im Recycling ein Haftvermittler im Ausmaß von 3 % zugesetzt, der die beiden Komponenten verträglich macht. Die ca. 1 mm dicken Folien wurden an der JKU produziert und am TCKT auf einer Becherform (35 mm Tiefe, 50 mm Durchmesser) mittels Vakuum thermogeformt. Es zeigt sich, dass ohne Haftvermittler zwar ein Becher herstellbar ist¹⁴, allerdings die Ausformung nicht zufriedenstellend ausfällt und dass auch die Wanddickenverteilung inhomogen ist. Bei der Rezyklatfolie mit dem Haftvermittler ist die Wanddickenverteilung wesentlich gleichmäßiger und die Ausformung gut (Abb. 9). Diese Ergebnisse sind unserer Meinung nach auch auf größere Thermoformteile und automatische Anlagen übertragbar, und mit dieser kleinen Modifikation kann ein Material genutzt werden, das sonst nur für geringwertige Anwendungen eingesetzt werden kann.

¹⁴ Ein Test auf einer industriellen Anlage hat gezeigt, dass die Folie aus dem Rezyklat ohne Haftvermittler dort nicht verarbeitbar ist.

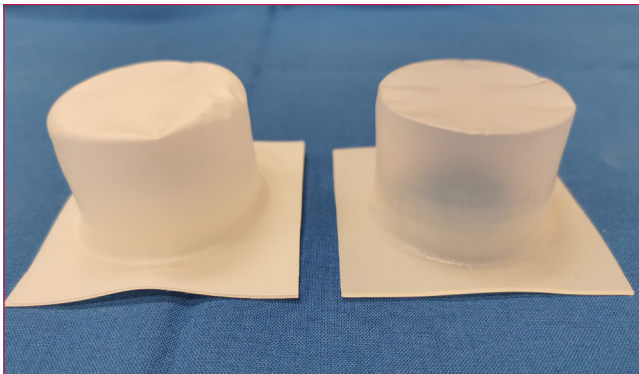


Abbildung 9: Tiefziehbecher (Testform, links ohne und rechts mit Haftvermittler in der Rezeptur)

6. Zusätzliche (technische) Herausforderungen beim Kunststoffrecycling

Ein Grund, warum es oft noch keine Recyclinglösungen für Post-Consumer-Abfälle gibt, ist die Tatsache, dass diese Materialströme sehr komplex sind, was die Aufarbeitung zu wieder verwendbarem Material teils unmöglich macht – sowohl technisch als auch wirtschaftlich gesehen. Wir sind davon überzeugt, dass viele dieser Probleme gelöst werden können, wenn man beim Design der Kunststoffanwendung bereits die Wiederverwertung am Ende des Lebenszyklus mitdenkt. Zusätzlich muss auch die Sammlung dieser Ströme erfassen, und die Trenn- und Aufbereitungstechnologien müssen dafür geeignet sein, diese Materialien wieder zu einem hochqualitativen Material umzusetzen.

Die häufigsten Herausforderungen sind hier angeführt, um zu zeigen, welche Themen in den nächsten Jahren gelöst werden müssen, um das Kunststoffrecycling weiter zu verbessern.

- **Komplexe, nicht trennbare Materialmischungen** - Anwendungen aus Kunststoffen erfüllen

¹⁵ <https://www.fh-campuswien.ac.at/forschung/kompetenzzentren-fuer-forschung-und-entwicklung/kompetenzzentrum-fuer-sustainable-and-future-oriented-packaging-solutions/circular-packaging-design-guideline.html>

¹⁶ <https://www.youtube.com/watch?v=LKOyujFixel>

¹⁷ <https://ecodesign-packaging.org/downloads/>

oft eine Kombination aus Eigenschaften, die auf den ersten Blick nicht vereinbar sind. Ein Beispiel dafür sind Folienverpackungen, die an sich sehr effizient sind, da mit sehr wenig Material das verpackte Gut geschützt ist. Um diese Anforderungen alle erfüllen zu können, müssen allerdings verschiedene Materialien in einem Verbund kombiniert werden. In der Wiederverarbeitung macht dies allerdings Probleme, da die Materialien, um diese unterschiedlichen Eigenschaften zu kombinieren, nicht verträglich sind. Ebenso sind hier Verbundwerkstoffe zu nennen, z.B. faserverstärkte Materialien, die ebenso nicht einfach wiederaufbereitet werden können. Hier gibt es bereits Bemühungen, die Komplexität von Materialien zu reduzieren, ohne die Qualität der Produkte negativ zu beeinflussen^{15,16,17}. Dieses „Design for Recyclability“ wird in Zukunft sicher noch mehr an Bedeutung gewinnen.

- **Hohe Feuchtigkeit bei gewaschenen Materialien** - Zur Abtrennung von anhaftenden Verschmutzungen aus dem Lebenszyklus des Materials, etwa Restlebensmittel oder Reinigungsmittelreste müssen auch sortenreine Kunststoffe gewaschen werden. Die verbleibende Restfeuchte nach diesem Prozess sorgt hier für Probleme bei der Wiederverarbeitung im Extrusionsprozess. Die Abtrennung der Feuchte, etwa durch Zentrifugation oder Trocknung, ist vor allem bei Verpackungen aufgrund der dünnen Wandstärken und der damit großen Oberfläche (z.B. bei Folien) nicht einfach. Hier müssen Vorbereitung und Extrusionsprozess mit den Mengen an Feuchtigkeit zurechtkommen bzw. braucht es hierzu noch weitere Verbesserungen der Technologie in der Aufbereitung.
- **Verschiedene Kunststofffraktionen sind schwer trennbar** - In der Sammlung finden sich verschiedenste Materialien, was sowohl die Form (etwa Folien vs. Hartverpackung) als auch die Materialien betrifft. Diese sind mit den typischen Verfahren wie der Schwimm-Sink-Trennung oder auch einer (Nah-)Infrarotsortierung nicht oder nur sehr schwer trennbar. Zusätzlich muss man auch berücksichtigen, dass so eine Trennung aufgrund der technischen Möglichkeiten (Detektionsgeschwindigkeit, Partikelgröße) und der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen nie hundertprozentig erfolgen kann. Es ist zumindest mit Verunreinigungen im unteren einstelligen Prozentbereich zu rechnen. Hier muss das Design schon dafür Sorge tragen, dass z.B. Farben, die die Detektion erschweren, nicht eingesetzt werden. Aber auch die Sortieranlagen werden sich weiterentwickeln und dadurch ist auch künftig eine Verbesserung zu erwarten.
- **Filtration von Verunreinigungen** - Durch die Nutzungsphase werden die Kunststoffe auch verschmutzt, etwa mit festen (z.B. Sand, Aluminium) oder weichen Kontaminationen (z.B. Holz, Papier). Die Abtrennung dieser Materialien ist zum Teil sehr fordernd für die Maschinen, weil etwa durch die Abrasion die Siebeinsätze der Schmelzefiltration sehr schnell verschleifen, oder weil sich die Kontaminanten durch die Temperaturen im Aufbereitungsprozess zersetzen, etwa bei Holz oder Papier. Ein Teil davon kann sicherlich durch einen vorgelagerten Waschprozess abgetrennt werden, aber Papieretiketten, die zu fest am Kunststoff kleben, sind sehr problematisch. Daher muss dies im Vorfeld schon im Designprozess eines Verpackungsprodukts berücksichtigt werden.
- **Im Material enthaltene, intensive Gerüche** - Die Entfernung von Gerüchen aus Rezyklaten ist ein noch ungelöstes Problem. Sie stammen meist aus Resten der Nutzungsphase: Lebensmittelreste, die sich zersetzen oder auch Füllgüter wie Waschmittel oder Seifen, die bei der Verarbeitung des Kunststoffs dann unangenehm stark riechen sind hier ebenso problematisch wie Papieretiketten und stark bedruckte Verpackungen. Hier gibt es nach dem Waschprozess erste Ansätze: Einerseits durch die Entgasung in der Extrusion zum Rezyklat, andererseits durch eine nachgeschaltete Behandlung, um solche Gerüche aus dem Material zu entfernen. Diese Technologien müssen aber auch noch weiterentwickelt werden, bzw. werden auch neue Ansätze für die Abtrennung hartnäckiger Gerüche gefragt sein.
- **Abbau des Kunststoffs während und nach dem Recyclingprozess** - Durch die thermische Belastung in der Verarbeitung und Anwendung werden Kunststoffe geschädigt. Um dem entgegenzuwirken, werden Stabilisatoren eingesetzt, die sich aber auch verbrauchen, womit ein Abbau der Polymerketten unvermeidbar ist. Während bei Polyestern ein Kondensationsschritt zur Erhöhung der Kettenlänge angewendet werden kann, ist dies bei Polyolefinen nicht möglich, da hier der Kettenaufbau über die Polymerisation von Doppelbindungen geschieht. Hier ist es notwendig, neue Wege für den Polymeraufbau zu finden.

- **Unerwünschte Additive in den Kunststoffen** - Additive werden in Kunststoffen in vielen Anwendungen eingesetzt, etwa um die Beständigkeit gegenüber Abbau durch Umwelteinflüsse zu verbessern oder um eine Flammhemmung zu erreichen. Wird ein Material später recycelt, fehlt es oft an den nötigen Informationen, was genau und wieviel an Additiven enthalten ist. Hier braucht es fast immer eine zusätzliche Stabilisierung. Ein anderes Problem beim Recycling ist, dass früher auch Additive eingesetzt wurden, die mittlerweile verboten sind, da man schädliche Wirkungen festgestellt hat. Bei älteren Materialien aus Anwendungen mit längerer Lebensdauer ist nun auch immer zu überprüfen, ob nicht derartige Additive enthalten sind. Dies kann einfach sein, etwa bei Schwermetallen, aber auch aufwändiger, wenn es um andere Verbindungen geht. Hier fehlen noch Methoden, die eine rasche Detektion im Prozess erlauben, damit nur jene Materialien ausgeschleust werden, die schädliche Additive enthalten, die anderen Stoffströme aber im Kreislauf gehalten werden können.

7. Fazit

Wie an den realisierten Anwendungsbeispielen gezeigt wird, können Polyolefin-Rezyklate wieder in qualitativ hochwertigen Anwendungen eingesetzt werden. Es müssen die gleichen Grundlagen berücksichtigt werden wie sonst auch in der Materialentwicklung – hinzu kommen noch Eigenheiten von Rezyklaten wie etwa nicht exakt definierte Begleitstoffe und Additive.

Nichtsdestotrotz – es funktioniert. Wenn auch einzuwenden ist, dass die vorgestellten Beispiele eher einer kaskadischen Nutzung entsprechen und nicht einem echten Kreislauf, wo das Material wieder in der gleichen Anwendung landet, ist es trotzdem ein wichtiger Schritt. Einerseits geht es darum, das Material länger in der Nutzungsphase zu halten und damit weniger Neuware nutzen zu müssen. Andererseits sollen die positiven Eigenschaften von Kunststoffen, zu denen auch die Wiederverwertung gehört, besser hervorgehoben werden.

Das Ziel der echten Kreisläufe kann nur dann erreicht werden, wenn alle Partner entlang der Wertschöpfungskette mitmachen. Sammeln, sortieren und aufbereiten ist ebenso wichtig wie die eingesetzten technologischen Lösungen und die Auslegung der Produkte, damit das Recycling gut funktioniert. Recycling folgt keinem Selbstzweck. Im Gegenteil, die hergestellten Produkte müssen ihren ursprünglichen Zweck vollends erfüllen, sonst fehlt das wichtigste Kriterium im Kreislauf – der Konsument, der das Produkt nutzt und damit den Kreis schließt.

Der Weg zu wahrer Zirkularität mit Kunststoffen ist sicher noch ein weiter, der auf verschiedenen Ebenen – legislativen, organisatorischen und technischen – gelöst werden muss. Wir haben in Oberösterreich mit allen notwendigen Partnern vor Ort hervorragende Voraussetzungen, um dieses Ziel zu realisieren. Nicht zuletzt durch Kooperationen zwischen Unternehmen und Organisationen, unterstützt durch die Forschung, wird uns dies sicher auch gelingen.

Der Autor



Foto: DP Photography_TCKT

Dr. Christoph Burgstaller ist der Geschäftsführer und Forschungsleiter beim Transfercenter für Kunststofftechnik in Wels, Österreich. Er ist seit 2004 in der anwendungsorientierten Forschung am Sektor der Kunststofftechnik tätig und hat 2006 das Doktoratsstudium der technischen Chemie an der Johannes Kepler Universität Linz mit einer Arbeit über die Struktur-Eigenschaftsbeziehungen von Wood Plastic Composites abgeschlossen. Seine Diplomarbeit, welche 2003 fertig gestellt wurde, beschäftigte sich mit Verbundwerkstoffen auf Melaminbasis. Seit 2006 hat er beim TCKT mehr als 25 verschiedene Forschungsprojekte mit Industriebeteiligung geleitet, welche sich mit verschiedenen Themen, etwa zu Eigenschaftsmodifizierung und Recycling befassen.

Seine Arbeiten beschäftigen sich mit den Struktur-Verarbeitungs-Eigenschaftsbeziehungen von thermoplastischen Werkstoffen im Allgemeinen, wobei der Schwerpunkt in den letzten Jahren klar beim Thema Recycling liegt. Er ist Lektor an der FH Oberösterreich sowie Autor von mehr als 45 peer-reviewed Zeitschriftenartikeln und mehr als 70 Konferenzbeiträgen und ein Mitglied der „Society of Plastics Engineers“.

Über das TCKT

Das Transfercenter für Kunststofftechnik (TCKT) ist Ansprechpartner für anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung in allen Bereichen der Kunststofftechnik. Ein Expert*innenteam begleitet Problemstellungen entlang der gesamten Technologieketten und bietet für Gewerbe- und Industrieunternehmen ein breites Kompetenzportfolio an. Dies umfasst Materialprüfung im akkreditierten Prüflabor, Versuche auf Anlagen, Serienuntersuchungen sowie die Ausarbeitung von Studien. Der Fokus bei Forschungsprojekten liegt in den Bereichen Recycling, Materialentwicklung, Biokunststoffe sowie Leichtbau und Composites.

www.tckt.at