

# Ressourcen- und umwelteffiziente Gestaltung von Fördersystemen mit Kunststoffketten

Jens Sumpf, Lynn Lüdemann, Marcus Bona, Markus Golder

TU Chemnitz, Professur Förder- und Materialflusstechnik, Reichenhainer Str. 70, 09126 Chemnitz

## Kurzfassung / Abstract

Förderer mit Kunststoffketten gehören aufgrund der spezifischen Ketteneigenschaften, wie schmierungsfreier/sauberer Betrieb, geringe Kettenmasse oder effiziente Fertigung, zu den wichtigsten intralogistischen Transportsystemen in Produktions- und Distributionseinrichtungen. Während diese Systeme in der Vergangenheit primär nach rein mechanischen und tribologischen Gesichtspunkten gestaltet wurden, erweitern sich die Entwicklungsschwerpunkte heute zunehmend auf eine Verbesserung der Ressourcen- und Umwelteffizienz bei der Herstellung, im Betrieb sowie bei der Gestaltung der End-of-Life Phase der Anlagen. Der Beitrag zeigt aktuelle Entwicklungstendenzen zur Verminderung des ökologischen Fußabdrucks von Kunststoffkettenförderern, aber auch damit verbundene Herausforderungen.

*Due to the specific properties of plastic chains, such as lubrication free and clean operation, low mass or efficient manufacturing, conveyors with plastic chains are one of the most important transport systems in production and distribution facilities. Initially, these systems were primarily designed according to mechanical and tribological aspects. Today, however, the improvement of resource and environmental efficiency of conveyor systems in production, in operation and at the end-of-life phase gets under scrutiny more and more. The paper shows current development trends for reducing the ecological footprint of plastic chain conveyors, but also the remaining challenges.*

## 1 Einleitung

Seit Jahren weisen Wissenschaftler aus unterschiedlichen Fachbereichen auf den fortschreitenden Klimawandel sowie die zunehmende Umweltverschmutzung der Erde hin und mahnen nachdrücklich zur Verminderung von Schadstoff- und Treibhausgas-Emissionen sowie zum verantwortungsvollen Umgang mit verfügbaren Ressourcen. Um die die daraus resultierenden Klimaziele zu erreichen, sind die Verwendung recycelbarer Werkstoffe, Energieeffizienz in Fertigung und Produktion sowie Recycling und Wiederverwendung im Rahmen der Kreislaufwirtschaft geeignete Konzepte einer nachhaltigen Produktstrategie, die auch auf Produkte der technischen Intralogistik wie Fördersysteme angewendet werden können. [EU21] [RöS20]

Die Beurteilung der Umweltverträglichkeit eines Produktes erfolgt zumeist auf Grundlage einer sogenannten Ökobilanz, in der alle umweltrelevanten Stoff- und Energieströme über den gesamten Lebenszyklus, von der Produktion über die Nutzungsdauer bis hin zur Entsorgung, berücksichtigt werden. Innerhalb dieser Phasen werden z. B. die Entnahme von Ressourcen (Rohöl, Holz, Erze usw.) sowie die Emissionen in die Umwelt (Schadstoffe, Kohlendioxid usw.) analysiert und im Rahmen einer Wirkungsabschätzung hinsichtlich ausgewählter Kriterien, z. B. dem Beitrag des Produktes zum Treibhauseneffekt, zur Versauerung oder zur Eutrophierung, bewertet.

Der Beitrag beschreibt Entwicklungsansätze zum Aufbau einer entsprechenden Bewertungsmethode auf Grundlage einer Ökobilanzierung und zeigt am Beispiel von Stetigförderern mit Kunststoffketten Möglichkeiten und Herausforderungen zur Verbesserung der gesamtökologischen Wirkung dieser Systeme auf.

## 2 Stetigförderer mit Kunststoffketten

In modernen Produktions- und Distributionseinrichtungen werden innerbetriebliche Stetigfördersysteme u. a. zur Verkettung von Maschinen und Anlagen oder zum Transport von Waren zwischen Lager-, Kommissionier- und Be- bzw. Enladebereichen eingesetzt. Vermehrt werden dabei Kettenförderer mit Kunststoffketten ausgerüstet, die gegenüber den klassischen Stahlketten eine Reihe von werkstoffspezifischen Vorteilen bieten. Beispielfhaft können eine große Gestaltungsvielfalt und kostengünstige Fertigung, geringe Kettenmasse oder gutes Geräuschdämpfungsvermögen genannt werden. Besonders interessant sind die sehr guten tribologischen Eigenschaften, welche einen schmierungsfreien und damit wartungsarmen und saubereren Betrieb ermöglichen. Nachteilig sind insbesondere die gegenüber metallischen Werkstoffen deutlich geringere Festigkeit/Steifigkeit, zumal diese mechanischen Eigenschaften signifikant von den Anwendungsbedingungen wie Temperatur, Belastungsdauer oder auch Umgebungsmedien und UV-Strahlung abhängig sind.

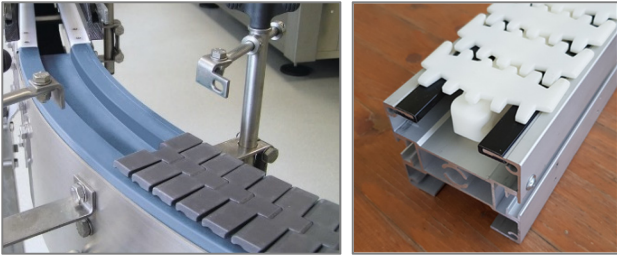


Abbildung 1: Scharnierbandketten (links) und Multiflexketten (rechts) mit Führungselementen aus PE-UHMW

Kunststoffkettenfördersysteme werden in unterschiedlichen Industriebereichen zum Transport kleiner bis mittelschwerer Fördergüter bis ca. 25 kg, aber auch für hohe Gesamtlasten von mehreren Tonnen eingesetzt. Die Leistungsfähigkeit kann insbesondere durch die Erhöhung der Zugfestigkeit der Kette sowie die Reduktion der Reibwerte zur Abstützung verbessert werden. Dementsprechend liegt der Fokus vieler Entwicklungen in erster Linie auf der Verbesserung dieser beiden Aspekte.

Als Werkstoffe für Kunststoffketten werden vorrangig Polyoxymethylen (POM) und Polybutylenterephthalat (PBT) sowie für Mattenketten zusätzlich Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP) verwendet. Die Eigenschaften können durch Zugabe von Additiven, z. B. Glas- oder Aramidfasern zur mechanischen Verstärkung sowie PTFE-Pulver, Silikonöl, Ruß oder Wachse zur Verbesserung des Gleitverhaltens, modifiziert werden. Ein weiterer wichtiger Grund für die Zugabe von Additiven ist das Erreichen bestimmter anwendungsspezifischer Eigenschaften, z. B. Brandhemmung, Detektierbarkeit, Wärmeleitfähigkeit oder antistatische Ausrüstung.



Abbildung 2: Kettenglieder mit Zinkdruckgusseinleger (links) [Roh09] sowie in Sandwichstruktur (rechts)

Neben der Verwendung der Kunststoffcompounds ist ein hybrider Aufbau von Kettengliedern verbreitet, bei denen die Funktionsbereiche aus unterschiedlichen Werkstoffen bestehen. Typisch sind dabei die Verwendung von metallischen oder elastomeren Belägen, welche die Tragplatten vor Verschleiß schützen oder die Haftung zum Fördergut verbessern sollen. Zur Erhöhung der Festigkeit und Steifigkeit ist die Integration von Verstärkungsstrukturen aus Metall (Abbildung 2, links) oder Hochleistungsfasern in den Kettenkörper möglich. Grundsätzlich wird dazu eine vorgefertigte Struktur in das Spritzgießwerkzeug eingelegt und mit Kunststoff ummantelt. Der Mehrkomponenten-Spritzgießprozess ermöglicht zudem das gleichzeitige Füllen der Form mit

verschiedenen Werkstoffen, sodass durch geeignete Materialauswahl Kettenelemente mit einem Kern aus einem festen, steifen Material sowie einer dünnen, tribologisch optimierten Haut in einem einzigen Prozessschritt hergestellt werden können (Abbildung 2, rechts).

### 3 Bewertungsmethoden für eine nachhaltige Produktentwicklung

Zur Bewertung des Ressourcenverbrauchs und des Emissionsausstoßes wird häufig die Methode der Ökobilanzierung nach DIN EN ISO 14040 und 14044 verwendet. In der Ökobilanz werden alle umweltrelevanten Einflussfaktoren eines Produktes über seinem gesamten Lebenszyklus berücksichtigt.

Hierzu muss zunächst der Untersuchungsrahmen, d. h. Funktion des Produktes, Systemgrenzen, getroffene Einschränkungen und Annahmen usw., genau definiert werden. Um die Vergleichbarkeit verschiedener Produkte zu ermöglichen, wird eine sogenannte „funktionellen Einheit“ festgelegt, auf welche die ermittelten Umweltwirkungen bezogen werden. Für Förderer, deren Hauptfunktion der Transport von Gütern über eine bestimmte Strecke ist, eignet sich dafür der bei Transportprozessen häufig verwendete Ansatz von „transportierten Massekilometern“ [t·km].

Im Weiteren werden alle umweltrelevanten Wirkungen im gesamten Produktlebenszyklus ermittelt, der bei der Bereitstellung von Werkstoffen beginnt, welche für die Fertigung und Montage von Zwischenprodukten, einzelnen Bauelementen bis hin zu fertigen Systemen benötigt werden. Es schließt sich eine Nutzungsphase an, an deren Ende die Außerbetriebnahme und Entsorgung steht.

Aus den erfassten Daten werden verschiedene Umweltwirkungen des Produktes berechnet, wobei für eine vereinfachte Abschätzung oftmals der Ansatz des Treibhauseffektes verwendet wird. Treibhausgase, wie Kohlendioxid oder Methan, vermindern in der Atmosphäre die Rückstrahlung der Wärme ins All. Während ein natürlicher Treibhauseffekt essenziell für die Bewohnbarkeit der Erde ist, führen große Mengen Gase aus technischen Prozessen zu einem globalen Temperaturanstieg. Der Treibhauseffekt, auch als „Carbon Footprint“ oder „Global Warming Potential“ (GWP) bezeichnet, wird in sogenannten CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (CO<sub>2</sub>e) angegeben, wobei die Wirkung anderer klimaschädigenden Gase relativ zum Faktor 1 von Kohlendioxid dargestellt wird. So hat z. B. die Emission von Methan eine 30-mal stärkere Wirkung in der Atmosphäre als Kohlendioxid.

Neben den in der Herstellungs- und Betriebsphase erzeugten Emissionen durch Energieverbrauch geraten zunehmend Verwertungsoptionen im Sinne einer Kreislaufwirtschaft in den Fokus. Dabei werden Produkte am Ende ihrer Nutzung nicht mehr entsorgt, sondern durch Wiederverwendung oder Recycling in den Produktions-

kreislauf zurückgebracht. Ein wesentlicher Faktor ist dabei auch die Abfallvermeidung durch längere Nutzbarkeit. [KWG12]

## **4 Ansätze zur energie- und ressourceneffizienten Gestaltung von Kunststoffketten**

### **4.1 Ausgangslage**

Kettenförderer werden derzeit hauptsächlich nach technischen/ technologischen und ökonomischen Gesichtspunkten ausgelegt bzw. ausgewählt. Ökologische Aspekte wurden bisher selten thematisiert und allenfalls reduziert auf den Energiebedarf in der Nutzungsphase sowie die Lebensdauer des Systems.

Der eingangs beschriebene, fortschreitende Klimawandel lässt jedoch den Druck auf Industrie und Verbraucher steigen. Viele Unternehmen werden sich dadurch zunehmend ihrer Eigenverantwortung für die Umwelt bewusst und verpflichteten sich freiwillig zum Mindesteinsatz von recycelten Werkstoffen oder zur umweltneutralen Gestaltung ihrer Prozesse. Letztlich betrifft dies auch die Intralogistik, es werden deshalb Werkzeuge zur objektiven Beurteilung der Umweltwirkung von Transportsystemen benötigt. Es bietet sich dazu die in Abschnitt 3 vorgestellte Methode der Ökobilanzierung an, die an die spezifischen Anforderungen der Förderer-technik angepasst werden muss. [Lüd19]

Langfristig sollen dabei quantitative Aussagen zur Umweltwirkung eines Transportvorgangs, zum Vergleich unterschiedlicher Förderprinzipien, zu Stellhebeln für eine mögliche Verbesserung der Umweltwirkung sowie zur Wirkung von Recyclingprozessen möglich werden.

### **4.2 Optimierungen in den Lebenszyklusphasen**

Wie oben beschrieben, verlangt eine Ökobilanz die Einbeziehung sämtlicher umweltrelevanter Einflüsse im Rahmen des Produktlebenszyklus. Neben der in der Betriebsphase benötigten Energiemenge zur Erfüllung der Förderfunktion müssen dabei u. a. die absoluten Aufwendungen zur Herstellung und Entsorgung der Anlage berücksichtigt werden, also z. B. die Bereitstellung von Aluminium und Stahl, die Fertigung von Profilen, Motoren und Steuerungskomponenten sowie die Demontage und Entsorgung von Mechanik- und Elektronikkomponenten. Infolge der großen Komplexität wird in den folgenden Betrachtungen lediglich auf die Kunststoffkette eingegangen.

#### ***Design und Herstellung***

In der Designphase wird die Umweltwirkung eines Produktes maßgeblich beeinflusst. Das Hauptpotential betrifft dabei die Optimierung des Rohstoff- und Energieverbrauches sowie die Umsetzung von Prinzipien der Recyclingfähigkeit.

Grundsätzlich ist ein geringer Materialverbrauch vorteilhaft, der durch eine optimale, belastungsgerechte Gestaltung der Ketten erreicht wird. Die Herstellung der

Kettenglieder im Spritzgießverfahren erfordert ein Mindestmaß an Energie, wobei deren Einsatz bei Mehrkomponentenspritzguss steigt. Energetisch noch aufwendiger werden die Fertigungsprozesse, wenn Einlegeteile vorgesehen sind. Dazu muss zunächst der Einleger in einem separaten Prozess gefertigt und später in das Spritzgießwerkzeug eingelegt, dort vorgewärmt und anschließend mit Kunststoff umspritzt werden.

Fest miteinander verbundene Werkstoffe lassen sich zudem in einem späteren Recyclingprozess nicht oder nur mit erheblichem Aufwand materialsortenrein trennen und werden deshalb meistens einer thermischen Verwertung zugeführt. Kettenglieder sollten deshalb aus einer Werkstoffkomponente bestehen. Sind unterschiedliche Werkstoffe aus funktionellen Gründen notwendig, sollte auf Zerlegbarkeit geachtet werden.

#### ***Einsatz umweltschonender Materialien***

In Kettenförderern werden Kettenglieder aus Stahl oder Kunststoff eingesetzt, die über einen Stahlbolzen miteinander verbunden sind. Kunststoffe werden primär aus fossilen Rohstoffen hergestellt, wobei in der Herstellungsphase bis zu einem verarbeitungsgerechten Granulat klimaschädliche Emissionen freigesetzt werden, die mit dem in Datenbanken verfügbaren GWP-Wert quantifiziert werden können. Beim exemplarischen Vergleich von Scharnierbandketten gleicher Bauart fällt auf, dass die Umweltwirkung zur Produktion beider verarbeitungsfähigen Werkstoffe mit 3,84 kg CO<sub>2</sub>e/kg für Edelstahl bzw. 3,20 kg CO<sub>2</sub>e/kg für POM-Granulat ähnlich ist. Durch das deutlich geringere spezifische Gewicht der Kunststoffkette von 0,9 kg/m (Stahlkette 2,9 kg/m) verursacht das dafür benötigte Material jedoch etwa 70% weniger Emissionen (Kunststoffkette 3,3 kg CO<sub>2</sub>e/m vs. Stahlkette 11,14 kg CO<sub>2</sub>e/m).

Zu einer Verringerung des CO<sub>2</sub>e Fußabdruckes führt die Verwendung von recycelten Kunststoffen zur Herstellung der Ketten. Dieses Closed-Loop Recycling, bei dem der Werkstoff wieder für die ursprüngliche Verwendung eingesetzt werden soll, ist im Bereich Fördertechnik bisher nicht anzutreffen, wird jedoch derzeit in einem haus-eigenen Projekt untersucht. [Bon20]

Einsparungen könnten sich außerdem ergeben, wenn der auf Rohöl basierende Kunststoff durch biologische Alternativen ersetzt wird. [Wal20] Weitere technologische Entwicklungen fokussieren auf die Verwendung von Restmüll als Ausgangsbasis für Kunststoffe oder die Einbindung von CO<sub>2</sub>-Emissionen in das Material (Carbon Capturing) und sparen damit Emissionen ein. [Qua20], [Cov20]

Generell ist die Quantifizierung der Umweltwirkung bei der Verwendung von Rezyklaten aus gebrauchten Kunststoffprodukten als schwierig einzuschätzen. Die Gründe dafür liegen in der Notwendigkeit von Detektions-, Separierungs- und Reinigungsprozessen, die je nach Produkt-

gestaltung und Einsatzbedingung unterschiedlich aufwendig sind, sowie in der Reduktion der physikalischen Gebrauchseigenschaften durch den Recyclingprozess (vgl. Punkt Recycling/ End-of-Life-Phase).

### Energieverbrauch in der Betriebsphase

Neben Kettendesign und Materialverbrauch bildet der Energieverbrauch in der Nutzungsphase des Fördersystems den wichtigsten Angriffspunkt zur Reduktion der Emissionen. Dieser lässt sich maßgeblich auf Reibungsverluste, den Energiebedarf beim Beschleunigen und Anheben von Gütern sowie elektrische und mechanische Verluste des Antriebssystems zurückführen.

Tabelle 1: CO<sub>2</sub>-Emission unterschiedlicher Ketten- und Layoutvarianten; **Basis:** Kunststoffkette, ebene, gerade Strecke, L = 10 m, v = 0,5 m/s, μ = 0,4 (weitere Reibeinflüsse vernachlässigt), η<sub>Antr</sub> = 0,6, Nutzungsdauer t = 10<sup>4</sup> Stunden, CO<sub>2</sub>-Faktor für Strommix Deutschland 2019 = 0,401 kg CO<sub>2</sub>/kWh [BMU20]

Einflussparameter	Motorleistung [W]	Umweltwirkung [kg CO <sub>2</sub> ]	Änd. bez. auf Basis [%]
Basis, Kunststoffkette	29,4	<b>118,0</b>	100%
Edelstahlkette	94,8	<b>380,3</b>	322%
geringerer Reibwert (μ = 0,2)	14,7	<b>167,4</b>	50%
höherer Antriebswirkungsgrad (η <sub>Antr</sub> = 0,8)	22,1	<b>121,6</b>	75%
ansteigende Strecke (β = 10°)	41,8	<b>419,0</b>	142%
90°-Gleitkurve am Streckenanfang	30,3	<b>59,0</b>	103%
90°-Gleitkurve am Streckenende	104,5	<b>114,6</b>	355%
Kurve am Streckenende, μ = 0,2)	28,6	<b>88,5</b>	97%

Der Einfluss verschiedener Parameter soll anhand des einfachen Beispiels aus Tabelle 1 verdeutlicht werden, in dem ein vergleichbar langer Förderabschnitt eine bestimmte Zeit betrieben und als Basis eine horizontale, gerade Förderstrecke mit Kunststoffkette angenommen wird. Die Umweltwirkung bei Variation der entsprechenden Einflussgröße wird auf die Kohlendioxid-Emission reduziert, welche sich aus der insgesamt benötigten Energiemenge und dem spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor der genutzten Stromsorte, im konkreten Beispiel der Strommix Deutschland, berechnen lässt.

Es wird deutlich, dass sich die CO<sub>2</sub>-Emission direkt proportional zur Antriebsleistung, und damit bei gerader

Streckenführung und Vernachlässigung von Nebeneffekten u. a. auch zur bewegten Masse, dem Reibwert oder dem Antriebswirkungsgrad, verhält. Bei Verwendung von Kunststoffketten wirkt sich somit die gegenüber vergleichbaren Stahlketten geringere Masse positiv aus, wobei sich dieser Effekt bei hoher Fördergutmasse deutlich verringert. Eine proportionale Wirkung hat auch die Reduktion von Reibwerten. In diesem Zusammenhang spielt auch die Effizienz des Antriebssystems eine wesentliche Rolle. Hierbei ist zu beachten, dass die Motor- und Getriebekomponenten bei Nennleistung betrieben werden sollten, weil der Wirkungsgrad der meist verwendeten Asynchronmotoren im unteren Teillastbereich massiv sinkt und damit andere Verbesserungen an Wirksamkeit verlieren.

Die Umweltwirkung hängt bei Stetigförderern maßgeblich vom Förderlayout ab. Wie Tabelle 1 zeigt, entsteht bei ansteigender Transportstrecke ein höherer Energiebedarf. Besonders zu beachten ist die Verwendung von horizontalen Gleitkurven, bei denen zusätzliche Reibungsverluste in der radialen Kettenabstützung auftreten. Die Verluste steigen deshalb exponentiell mit dem Reibwert und dem Kurvenwinkel und sind zudem von der Kettenzugkraft am Kurveneingang abhängig, sodass auch die Position der Kurve im Gesamtsystem eine entscheidende Bedeutung hat. Tabelle 1 verdeutlicht, dass bei gleicher Gesamtstrecke die Anordnung der Kurve am Beginn oder am Ende (nahe Motor) der Förderstrecke zu einer Vervielfachung der Antriebsleistung und damit auch der Umweltwirkung führen kann. Aus dem Beispiel geht ebenfalls hervor, dass sich eine Reibwertreduktion im Kurvenbereich überproportional positiv auswirkt.

### Verschleiß und Lebensdauer

Generell hat die Nutzungsdauer der untersuchten Produkte einen signifikanten Einfluss auf die Ökobilanz, da sich bei längerer Nutzung die relative Umweltwirkung der Herstellung sowie der End-of-Life-Phase verringert. Schäden an den Ketten, die einen Austausch erforderlich machen, sind z. B. Verschleiß in Gelenken oder an den Kontaktstellen zu den Gleitschienen, thermische Schädigung, Versprödung durch ungünstige Umgebungseinflüsse oder UV-Strahlung bis hin zum Kettenbruch.

Grundsätzlich kann die Umweltbelastung also durch verschleißfeste und mechanisch stabile Ketten verbessert werden. Bezogen auf den Verschleiß ist vor allem eine geringe reibungsbedingte Erwärmung anzustreben, weil die verwendeten thermoplastischen Kunststoffe dadurch signifikant erweichen und an Festigkeit verlieren.

### Recycling/ End-of-Life-Phase

Eine Förderanlage enthält auch nach Beendigung der Nutzungsphase noch wertvolle Komponenten und Werkstoffe, die einer weiteren Nutzung zugeführt werden können. Während metallische Gestellkomponenten



wiederverwendet oder recycelt werden, werden gebrauchte Kunststoffketten, welche z. B. beim verschleißbedingten Austausch oder beim Umbau eines Förderers anfallen, derzeit im Restmüll entsorgt und stehen damit lediglich als Energieträger in Müllverbrennungsanlagen zur Verfügung.

Eine werkstoffliche Wiederaufbereitung von Kunststoffketten würde dem Gedanke der Kreislaufwirtschaft entsprechen. Hierbei entfällt der erste Schritt der Kunststoffherstellung aus einem fossilen Rohstoff bis zum verarbeitungsfähigen Material, der Ressourcenverbrauch wird gesenkt und Emissionen durch Verbrennung vermieden. Recycling wird derzeit aus wirtschaftlichen Gründen vorrangig bei Verpackungsmaterialien wie PE, PP oder PET praktiziert, die in großen Mengen als Abfallprodukte vorliegen. Das Recycling von thermoplastischen Konstruktionswerkstoffen wie PA, PBT oder POM erfolgt zumeist nur in Form von Produktionsabfällen (post-industrial recycling), bei dem z. B. Angüsse und Zerspanungsabfälle direkt in den Produktionskreislauf zurückgeführt oder sortenrein gesammelt und regranuliert werden. Dagegen wird eine Rückführung von Altteilen von Endverbrauchern (post-consumer-recycling) in der Regel nicht durchgeführt.



Abbildung 3: Förderketten nach mehrjähriger Anwendung

Die nach dem Gebrauch aus dem Förderer entfernten Kettenstränge sind für eine direkte Weiterverarbeitung ungeeignet. Die genaue Materialzusammensetzung incl. der verwendeten Additive ist dem Anwender in der Regel nicht bekannt und an den Ketten sind nach mehrjährigem Betrieb in unterschiedlichsten Anwendungen oft massive Verunreinigungen festzustellen. Diese reichen von leicht löslichen Verstaubungen bis hin zu klebrigen oder fettigen, stark anhaftenden Belägen, die äußerlich schwer zugänglich sind (Abbildung 3). Der eigentlichen Wiederaufbereitung müssen demnach aufwendige Erkennungs-, Trenn- und Reinigungsprozesse vorgelagert werden. Hierbei spielt das Design der Kette eine wesentliche Rolle, weil z. B. Verstärkungseinleger, mehrkomponentiger Aufbau oder schwer zu detektierende Werkstoffe, die zuverlässige Materialtrennung erschweren oder sogar unmöglich machen. Im Fokus aktueller Untersuchungen stehen deshalb Demontierbarkeit, effektive Entfernung anhaftender Fremdstoffe sowie Untersuchungen, wie sich geringe Mengen Verunreinigungen oder die Vermischung unterschiedlicher Compoundvarianten auf die Eigenschaften der Rezyklate auswirken.

Neben den Verunreinigungen ist die Degradation der Kunststoffe zu beachten. Diese molekularen Zerfallsprozesse können durch physikalische, chemische oder biologische Einflüsse verursacht werden und führen neben optischen Veränderungen zu einer Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften, insbesondere durch Versprödung. Im Zusammenhang mit den Einsatzbedingungen der Kunststoffketten sind hierbei vor allem der Abbau durch die mechanische Zug-Schwell-Beanspruchung, hohe oder wechselnde Temperaturen (z. B. in Trockenöfen), bestimmte Umgebungsmedien (z. B. Reinigungsmittel, Säuren, Öle) oder UV-Strahlung zu nennen. Unabhängig von der Anwendung wirkt sich das mehrfache Aufschmelzen bei der Verarbeitung auf die Eigenschaften aus.

Die genannten Aspekte der Verunreinigungen und Degradation führen gegenüber Neumaterialien zwangsläufig zu Rezyklaten mit verminderten Eigenschaften, was jedoch nicht zwingend mit einer schlechten Materialqualität in Verbindung einhergeht. Ein großer Teil der Fördersysteme wird mit sehr geringer Beladung und damit weit unter der zulässigen Belastungsgrenze der Ketten betrieben, in solchen Fällen können problemlos Rezyklate verwendet werden.

Die Bereitstellung von „zertifizierten“ Rezyklaten mit reproduzierbarem Eigenschaftsprofil und entsprechenden Datenblättern, welche zudem explizit die verbesserte Umweltwirkung aufzeigen, ist als vorteilhaft einzuschätzen. Auf diese Weise könnten Bedenken und Vorurteile von potentiellen Anwendern ausgeräumt und der Einsatz von Rezyklaten in industriellen Anwendungen forciert werden.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Die in Produktion und Distribution häufig verwendeten Kunststoffkettenförderer werden in erster Linie nach der zulässigen Kettenzugkraft dimensioniert und deshalb häufig auf hohe Zugfestigkeit und geringe Reibung zum Führungssystem ausgerichtet. Ökologische Aspekte spielten bei der Entwicklung bisher eine untergeordnete Rolle, obwohl mit dem Design über einen ressourcen- und umweltschonenden Materialeinsatz entschieden wird und wichtige Grundlagen zur Beeinflussung der Umweltwirkung sowohl in der Nutzungs- als auch der End-of-Life-Phase geschaffen werden.

Die ökologisch höchste Bedeutung bei Stetigförderern hat die Nutzungsphase. Hierbei sind eine hohe Verschleißfestigkeit der Ketten und ein energiesparender Betrieb anzustreben. Der Energiebedarf ist neben den Systemreibwerten auch vom Wirkungsgrad des Antriebssystems sowie vom Förderverlauf abhängig und erfordert deshalb eine vorausschauende Layoutgestaltung und leistungsgerechte Motorauslegung.

Ein wesentlicher Einflussfaktor ist auch die Verwertung gebrauchter Kunststoffketten im Sinne einer Kreislauf-

wirtschaft, d. h. die Werkstoffe werden nach ihrer Nutzung wieder in den Produktionskreislauf zurückgeführt und sparen deshalb Ressourcen und herstellungsbedingte Emissionen. Ein ökologischer und gleichzeitig ökonomischer Recyclingprozess von Gebrauchtteilen kann jedoch nur mit effizienten, automatisierbaren Technologien zur Demontage, Reinigung und sortenreinen Trennung der Bauteile funktionieren. Wichtige Grundvoraussetzungen werden bereits bei der Gestaltung gelegt und können u. a. durch Demontierbarkeit, Vermeidung von Mehrkomponentenbauteilen oder Materialkennzeichnung positiv beeinflusst werden. Vorbehalte gegen die Verwendung von Rezyklaten betreffen häufig die gegenüber Neuware verringerten Eigenschaften aufgrund von polymeren Abbauprozessen sowie fehlender Kennwerte. Hier ist die Deklaration reproduzierbarer Materialeigenschaften in Verbindung mit der klaren Ausweisung der Umweltwirkung erforderlich, um die Marktakzeptanz recycelter Werkstoff weiter zu verbessern.

Zur Forcierung der Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft bei technischen Produkten wie Förderketten fehlen derzeit noch wirksame Konzepte und Anreize. So sind Rezyklate bei vergleichbarer Qualität oft deutlich teurer als Neuware und es stehen recyclingfähige Kunststoffe nicht in ausreichendem Maß zur Verfügung, weil gebrauchte Produkte nicht einer Wiederaufbereitung zugeführt werden. Gute Ansätze sind gesetzliche Regelungen, z. B. die bereits in der EU beschlossene Steuer für Neuware oder eine Kennzeichnungspflicht der Umweltwirkung, sowie auch die zunehmende Bereitschaft von Unternehmen zu einer Selbstverpflichtung zur CO<sub>2</sub>-neutralen Produktion oder zum Mindesteinsatz von Rezyklaten in ihren Produkten.

## Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei der Röchling Stiftung Mannheim für die finanzielle Unterstützung der Forschungen.

## Literaturverzeichnis

- [BMU20] Umweltbundesamt: Energiebedingte Emissionen, <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energiebedingte-emissionen#energiebedingte-treibhausgas-emissionen>, Abruf 09.02.2021.
- [Bon29] Bona, M. et al.: Recycling von Kunststoffgleitketten. Logistik Werkstatt Graz Tagungsband, S. 43-64, Graz, November 2020, DOI 10.3217/978-3-85125-742-7.
- [Cov20] Covestro: Neuer Rohstoff CO<sub>2</sub> auf dem Weg zum Alleskönner. <https://www.covestro.com/de/sustainability/lighthouse-projects/co2-dreams>, Abruf 09.02.2021.

- [EU21] Europäische Kommission: 2030 climate & energy framework. [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en), Abruf 06.02.2021.
- [KWG12] Kreislaufwirtschaftsgesetz vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212), letzte Änderung 09.12.2020 (BGBl. I S. 2873).
- [Lüd19] Lüdemann, L. et al.: Development of a Product Category Rule (PCR) for Environmental Product Declaration (EPD) of Conveyor Chain Systems. Proceedings of XXII International Conference MHCL 2019, S. 127-134, Vienna, September 2019, ISBN 978-86-6060-020-4.
- [Qua20] Quantis SA: UBQ Materials. [www.quantis-intl.com/casestudy/ubq-materials](http://www.quantis-intl.com/casestudy/ubq-materials), Abruf 09.02.2021
- [Roh09] Rohne, C. et al.: Hybrid Conveyor Chains - Calculation, Design and Manufacturing. International Symposium Plastic-Slide-Chains and Tribology in Conveyor Systems: Proceedings, Vol. 3, April 2017, Chemnitz. ISBN 978-3-945479-08-7, p. 65-77, URN: urn:nbn:de:bsz:ch1-qucosa-231781.
- [RöS20] Röchling-Stiftung: PolyProblem-Report 2020. [www.polyproblem.org](http://www.polyproblem.org), Abruf 09.02.2021.
- [Wal20] Walker, S., Rothman R.: Life Cycle Assessment of bio-based and fossil-based plastic: A review. Journal of Cleaner Production 261 (2020) 121158, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121158#>.