

Beitrag zur Entwicklung und Herstellungstechnologie hybrider Förderketten

Contribution to the development and production technology of hybrid conveyor
chains

Clemens Rohne¹
Michael Schreiter²
Jens Sumpf¹
Klaus Nendel¹
Lothar Kroll²

¹Professur Fördertechnik
Institut für Fördertechnik und Kunststoffe
Fakultät Maschinenbau
Technische Universität Chemnitz

²Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung
Institut für Strukturleichtbau
Fakultät Maschinenbau
Technische Universität Chemnitz

Kurzbeschreibung: Zur Erhöhung der Steifigkeit und Festigkeit von Multiflexgleitketten wurde ein hybrider Gestaltungsgrundsatz verfolgt. Die Übertragung der betriebsbedingten Kräfte in den Kettengliedern übernimmt eine druckgegossene Verstärkungsstruktur, während eine thermoplastische Außenhaut für optimale tribologische Eigenschaften in den Kontaktflächen zwischen den Zugelementen und den umliegenden Bauteilen wie bspw. Führungsprofile, Kettenräder, Gleitbögen, etc. sorgt. Die Entwicklung der hybriden Förderkette wird in folgender Abhandlung erläutert.

[Schlüsselwörter: Kunststoffgleitkette, fusionierte Fertigungstechnologie, Zinkdruckguss, hybride Werkstoffverbunde]

Abstract: In order to increase the stiffness and strength of a multiflex conveyor chain, a hybrid design principle has been used. A die casted reinforcement structure is responsible for the transmission of operating forces, while a thermoplastic layer provides optimum tribological properties in the contact areas between the chain links and surrounding components, such as guide profiles, chain wheels and curves. The development of the hybrid conveyor chain is explained in the following paper.

[Keywords: plastic slide chain, merged production technology, die casted zinc, hybrid materials]

1 MOTIVATION

Die Optimierung der Förderleistung von Stetigförderern mit Kunststoffgleitketten ist bereits seit mehreren Jahren Gegenstand von Entwicklungsarbeiten im industriellen und wissenschaftlichen Umfeld. So zeigen zahlreiche Patentschriften, Forschungsberichte und wissenschaftliche Qualifizierungsarbeiten die Wichtigkeit dieser

Thematik [EP88, EP97, AUE06, MIT08, WEI14]. Die einzelnen Kettenglieder, auch Kettengelenke oder Zugmittel genannt, sind Bauteile, welche im Spritzgießprozess als Massenprodukt gefertigt werden. Durch diesen Umstand sind vergleichsweise niedrige Produktionskosten pro Meter Kette realisierbar. Als Werkstoff für die Gleitketten finden technische Thermoplaste wie z. B. Polybutylenterephthalat (PBT), Polyamid (PA) und Polyoxymethylen (POM) ihren Einsatz. Dies führt jedoch zu werkstoffspezifischen Verformungs- und Verschleißverhalten, welche eine geringe Lebensdauer, ein ausgeprägtes Kriechverhalten sowie eine verminderte Leistungsfähigkeit unter sehr hohen oder niedrigen Temperaturen im Vergleich zu geschmierten Metalltransportketten mit sich bringt. Die Entwicklung einer hybriden Förderkette verfolgt das Ziel, die Vorteile der Kunststoffförderketten mit denen der Metallförderketten zu verknüpfen. Hierbei wird die zugkraftbeanspruchte Kernkomponente aus einer Zinkdruckgusslegierung und die tribologisch beanspruchte Oberfläche vorzugsweise aus Polyoxymethylen (POM) im Spritzgießverfahren hergestellt. Um den Fertigungs- und Montageaufwand der einzelnen Kettenglieder auf ein Minimum zu reduzieren, wird die Fusionierung bzw. räumliche Konzentration der Fertigungstechnologien Druckguss und Spritzguss angestrebt.

2 KONSTRUKTION UND AUSLEGUNG DER HYBRIDEN FÖRDERKETTE

2.1 ANALYSE BESTEHENDER MULTIFLEXKETTEN

Um den Einsatz der hybriden Förderkette in bereits bestehenden Stetigförderern zu gewährleisten, erfolgt die Auslegung der metallischen Verstärkungsstruktur auf Basis der Geometrie einer zweiteilig ausgeführten Multiflexkette mit einer Kettenteilung von 33,5 mm und einer Baubreite von 83 mm. Die Grundkomponenten der

Multiflexkette sind in Abbildung 1 zu sehen. Die Kettenglieder (1) dienen der Zugkraftübertragung und somit der Bewegung der Kette, die Tragplatten (2) nehmen die zu fördernden Güter auf, Bolzen (3) und Pin (4) dienen der gelenkigen Lagerung der Kettenglieder untereinander und bewirken somit die Raumgängigkeit der Kette.

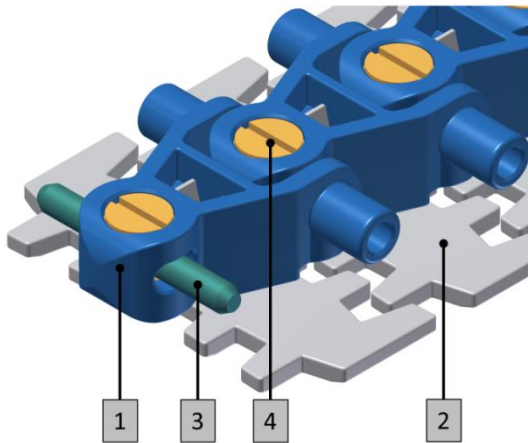


Abbildung 1. Komponenten einer Multiflexkette [ROH17, WEI11]

In Abbildung 2 wird ersichtlich, dass die Förderkette in Profilen (5) aus Edelstahl oder Aluminium geführt wird, wobei die Tragplatten auf Gleitleisten (6) abgestützt werden, welche an dem Führungsprofil befestigten sind. Die Werkstoffpaarung von Tragplatte und Gleitleiste sorgt unter optimalen Umständen für geringste Reibungskoeffizienten, welche die Grundlage für eine energieeffiziente Intralogistik darstellen.

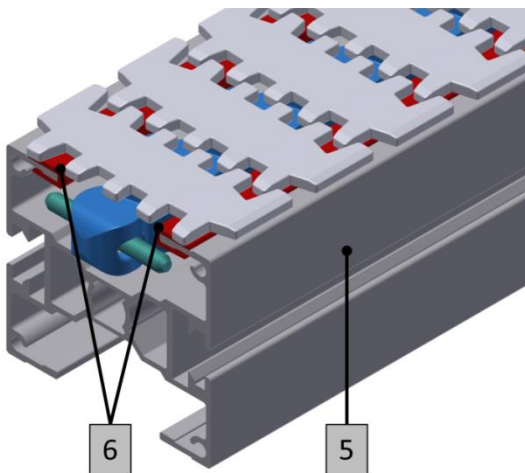


Abbildung 2. Multiflexkette in ihrem Führungsprofil [ROH17, WEI11]

Die Förderkette wird mithilfe eines Kettenrades (7) angetrieben. Hierbei werden die Kettenglieder zwischen den Zähnen des Kettenrades aufgenommen. Durch die Rotation des Kettenrades wird die translatorische Bewegung der Förderkette im Führungsprofil initiiert und somit die Förderung des Gutes realisiert. In Abbildung 3 wird der

Kraftfluss im Kettenglied schematisch dargestellt. Die Kraft wird ausgehend von den Zahnflanken des Kettenrades über die Bolzenaufnahme des Kettengliedes in die Bolzen geleitet. Anschließend erfolgt die Überleitung der Kraft in den Gelenkpin, welcher die Kraft in das Zugelement überträgt. Durch den symmetrischen Aufbau des Kettengliedes werden auftretende Kräfte optimal verteilt über die Zugträger in den hinteren Bereich der Bolzenaufnahme geführt. An dieser Stelle erfolgt über den Bolzen die Verbindung zu einem nachfolgenden Kettenglied.

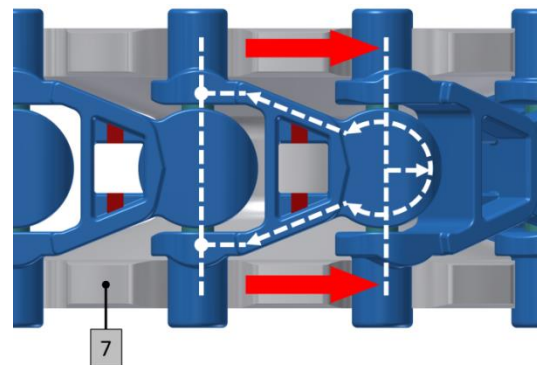


Abbildung 3. Schematischer Kraftfluss in einem einzelnen Kettenglied [ROH17]

2.2 AUSLEGUNG DER METALLISCHEN VERSTÄRKUNGSSTRUKTUR

Die Abbildungen in Absatz 2.1 zeigen, dass die Kettenglieder eine definierte Geometrie besitzen um einerseits die Tragplatten für den Guttransport aufzunehmen, andererseits eine höhen- und seitenflexible Bewegung zu realisieren als auch eine gleichmäßige Krafteinleitung durch das Kettenrad und eine gleichmäßige Kraftverteilung im Kettenglied zu erhalten. Unter dem Anspruch die hybride Förderkette in bereits bestehende Layouts von Stetigförderern zu implementieren, steht für eine verstärkende Metallstruktur nur begrenzter Bauraum zur Verfügung. Die Verstärkungsstruktur soll im Druckgussverfahren hergestellt werden. Dies eröffnet die Möglichkeit einer endkonturnahen Fertigung des Verstärkungseinlegers in großer Stückzahl. Zusätzliche Nachbearbeitungsschritte können somit reduziert und eine anschließende Umspritzung der Verstärkungsstruktur zeitnah und getaktet durchgeführt werden. Um diesem Sachverhalt Rechnung zu tragen wurden drei Konstruktionsvarianten für den Verstärkungseinleger untersucht (siehe Abbildung 4). In Variante 1 folgt die Geometrie des Einlegers der Kontur des Kettengliedes. In Variante 2 weicht die Einlegergeometrie im Bereich der Zugträger von der Kettengliedkontur ab und verläuft gerade bis zu den Bolzendurchführungen. Bei Variante 3 wurde ein Verbindungssteg zwischen den Zugträgern nicht vorgesehen, um eine weitere Massereduzierung zu bewirken. Andererseits entfällt dadurch eine weitere Möglichkeit zur exakten Positionierung des Verstärkungseinlegers in einem Spritzgießwerkzeug.



Abbildung 4. Verstärkungsstruktur in unterschiedlichen Konstruktionsvarianten [ROH15]

Die Konstruktionsvarianten wurden einer numerischen Verformungsanalyse mittels der FEM-Software Ansys Workbench unterzogen. Die Wandstärke der metallischen Einlegerstruktur wurde dafür auf 1 mm festgelegt. Die Ergebnisse der Analyse sind in Tabelle 1 dargestellt. Als Verformungsreferenz dient ein unverstärktes Standardkettenglied aus PBT.

Tabelle 1. Verformungsanalyse an ausgewählten Varianten der Verstärkungsstruktur

	Standardkettenglied	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Zugkraft [N]	1000	1000	1000	1000
Kettenglied: Verformung X-Richtung [mm]	0,15	0,073	0,062	0,072
Kettenglied: Verformung Z-Richtung [mm]	0,025	0,025	0,017	0,023
Verstärkungsstruktur: Verformung X-Richtung [mm]	-	0,072	0,061	0,071
Verstärkungsstruktur: Verformung Z-Richtung [mm]	-	0,025	0,017	0,023

Daraus wird ersichtlich, dass die Verformung des Kettengliedes durch den Verstärkungseinleger aus Zinkdruckguss in X-Richtung um 51 % bei Variante 1, um 58 % bei Variante 2 und um 52 % bei Variante 3 reduziert werden kann. Die Reduzierung der Verformung des Kettengliedes in Z-Richtung liegt für Variante 1 bei rund 5 %, bei 32 % für Variante 2 und 8 % für die dritte Einlegervariante. Die Ergebnisse der Designanalyse haben dazu geführt, dass für das weitere Vorgehen im Entwicklungsablauf Variante 2 der Einlegergeometrie näher untersucht wird und für die Entwicklung des Druckguss- und Spritzgießwerkzeuges als Ausgangsbasis dient.

Wie bereits erwähnt, kommt es durch die Substitution von Kunststoff durch die metallische Verstärkungsstruktur aufgrund von Dichteunterschieden (siehe Tabelle 2) zum Anstieg der Masse des einzelnen Kettengliedes. An

dieser Stelle muss ein Kompromiss gefunden werden, um einerseits die Erhöhung der Festigkeit/Steifigkeit zu erlangen (möglichst große Wandstärke des Verstärkungseinlegers) andererseits aber so wenig wie möglich zusätzliche Masse einzubringen (geringe Wandstärke des Verstärkungseinlegers), welche ebenfalls bewegt werden muss. Die zweite Designvariante des Verstärkungseinlegers wurde in unterschiedlichen Wandstärken und mit einem Materialmodell mit spezifischen Eigenschaften der Zinkdruckgusslegierung ZnAl4Cu1 (ZAMAK5) modelliert und mittels numerischer Berechnungsmethodik auf ihr Verformungsverhalten untersucht.

Die Aluminiumdruckgusslegierung AlSi10Mg bildet eine interessante Alternative als Werkstoff für die Verstärkungsstruktur. Sie zeichnet sich durch eine geringere Dichte, jedoch auch durch geringere mechanische Eigenschaften im Vergleich zur Zinkdruckgusslegierung aus. Vergleicht man die auf die Dichte bezogene $R_{p0,2}$ -Grenze, Zugfestigkeit und E-Modul (sog. spezifische Festigkeit/Steifigkeit), dann ist die Aluminiumlegierung der Zinklegierung ebenbürtig, teilweise sogar überlegen. Der Nachteil der Aluminiumlegierung liegt eindeutig bei den produktionstechnischen Eigenschaften. So ist die kleinstmöglich zu fertigende Wandstärke dreimal größer, die Produktionsrate und durchschnittliche Werkzeugstandzeit signifikant niedriger und die Gießtemperatur deutlich höher als bei der Zinklegierung.

Im Rahmen einer energie- und ressourceneffizienten Fertigungsstrategie wird der Zinkdruckgusslegierung für die Herstellung einer hybriden Förderkette demnach der Vorzug gegeben.

Tabelle 2. Mechanische, physikalische und produktionstechnische Eigenschaften der Zinkdruckgusslegierung ZnAl4Cu1 und Aluminiumdruckgusslegierung AlSi10Mg im Vergleich zu Standardkunststoffen für Gleitketten [ZIN17, CAM17]

	ZnAl4Cu1	AlSi10Mg	POM (Delrin® 500AL NC010)	PBT (Arnite® T06 202)	PA (Akulon® F223-D)
Dichte [g/cm ³]	6,7	2,68	1,4	1,04	1,13
R _{p0,2} -Grenze [MPa]	295	140	70	55	85
Zugfestigkeit [MPa]	331	240	-	-	-
E-Modul [GPa]	96	74	3	2,7	3,2
Therm. Ausdehnungskoeffizient [*10 ⁻⁶ °C ⁻¹]	27,4	21	110	90	95
Gießtemperatur [°C]	415 - 435	600 - 650			
Schwindmaß [%]	0,4 - 0,6	0,5 - 0,8			
Toleranz [%]	0,1	0,25 - 0,3			
Kleinstmögliche Wandstärke [mm]	0,4	1,3			
Werkzeugstandzeit [10 ³ xSchuß]	750 - 2000	100 - 225			
Produktionsrate [10 ³ xSchuß/h]	2000 - 3000	50 - 250			

Die Ergebnisse der Wandstärkenanalyse sind in Abbildung 5 dargestellt. Als maximale Zugkraft wurden ein Wert von 1000 N angenommen. Aus prozesstechnischer Sicht ist im Zinkdruckgussverfahren eine minimale Wandstärke von 0,4 mm realisierbar. Die obere Grenze von 1,4 mm resultiert aus den geometrischen Randbedingungen, welche durch das Standardkettenglied gegeben sind.

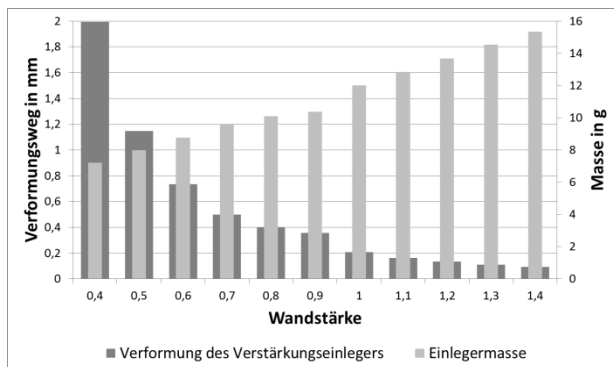


Abbildung 5. Einfluss der Wandstärke auf Verformungsverhalten und Masse des Verstärkungseinlegers

Die größte Verformung weist das Modell mit einer Einlegerwandstärke von 0,4 mm auf. Durch die Verdoppelung der Wandstärke auf 0,8 mm kann die Verformung um ca. 80 % reduziert werden. Durch eine weitere Erhöhung der Einlegerwandstärke wird nur noch eine geringfügige Verformungsreduzierung des Verstärkungseinlegers erreicht. Im Gegensatz dazu steht die Entwicklung der Einlegermasse, welche sich annähernd linear verhält

und deren Betrag sich innerhalb der untersuchten Wandstärkenvarianz nahezu verdoppelt. Ferner wurde das Verformungsverhalten von hybriden Kettengliedern mit Verstärkungseinlegern im benannten Wandstärkenbereich simuliert (siehe Abbildung 6). Die Kunststoffumspritzung der Verstärkungseinleger bewirkt eine weitere Versteifung der kompletten Kettengliedstruktur, woraus eine maximale Verformung von ca. 0,12 mm (Wandstärke 0,4 mm) bzw. eine minimale Verformung von ca. 0,058 mm (Wandstärke 1,4 mm) resultiert.

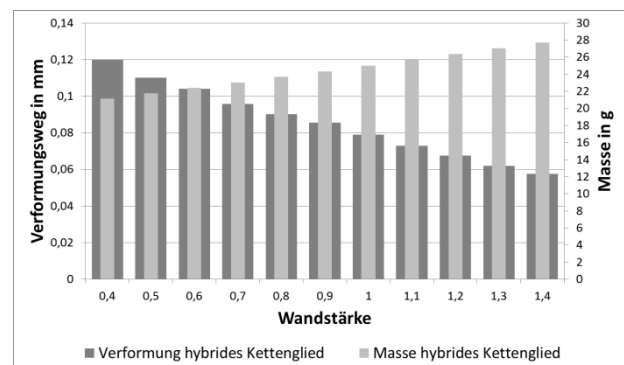


Abbildung 6. Einfluss der Wandstärke auf Verformungsverhalten und Masse eines hybriden Kettengliedes

Aus Tabelle 1 wurde bereits ersichtlich, dass sich ein Standardkettenglied aus PBT bei einer Zugbelastung von F = 1000 N um ca. 0,15 mm in Zugrichtung verformt. Die Masse eines einzelnen Kettengliedes aus PBT liegt bei ca. 15 g. Die Gesamtmasse des hybriden Kettengliedes variiert in Abhängigkeit von der Wandstärke des

Verstärkungseinlegers zwischen ca. 22 g und 29 g. Die in Abbildung 5 und 6 dargestellten Ergebnisse bestätigen die Anfangs aufgestellte Hypothese eines Masseanstieges infolge des Einsatzes einer metallischen Verstärkungsstruktur eindeutig. Ebenfalls kann durch die Untersuchungen zum Wandstärkeneinfluss ein eindeutiger Zusammenhang zum Verformungsverhalten der hybriden Kettenglieder hergestellt werden. Mittels dieser Erkenntnisse wurde eine Wandstärke von 0,8 mm für die Fertigung der Verstärkungseinleger festgelegt. Diese bildet gleichfalls die Grundlage für die Konstruktion und Fertigung des Druckguss- und des Spritzgießwerkzeuges. Neben einer dem Kraftfluss angepassten Geometrie ist zusätzlich die exakte und lagegerechte Positionierung des metallischen Verstärkungseinlegers im Spritzgießwerkzeug von höchster Priorität, um eine optimale Verbindung zwischen Metall, Kunststoff und damit einhergehend einen optimalen Kraftfluss im hybriden Kettenglied zu erzielen. Dafür wurden an den Innenseiten der Zugträger sowie des Verbindungsstegs Halteelemente (1) angebracht (siehe Abbildung 7). In Abschnitt 3.2 des Beitrages wird nochmals gesondert auf die Positionierung des Verstärkungseinlegers im Spritzgießwerkzeug eingegangen.

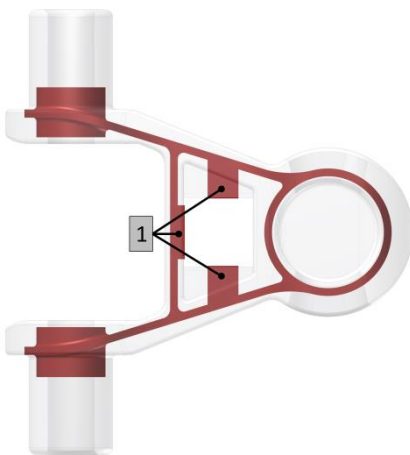


Abbildung 7. Vorzugsvariante des metallischen Verstärkungseinlegers

3 FERTIGUNG DES DRUCKGUSS- UND DES SPRITZGIEßWERKZEUGES

Für die Fertigung der Metall-Kunststoff-Hybridkettenglieder bestand die Maßgabe, dass Druckgussprozess und Spritzgießprozess jeweils einstufig ausgeführt werden. Daraus ergibt sich der Vorteil, dass insbesondere während des Spritzgießprozesses das Werkzeug nicht geöffnet werden muss, um den Verstärkungseinleger erneut zu positionieren. Weiterhin erspart man sich durch einen einstufigen Prozess den negativen Einfluss von Anbindungsfehlern zwischen Kunststoff und Metall als auch zwischen Kunststoff und Kunststoff. Somit wird durch das einmalige Umspritzen der metallischen Verstärkungs-

struktur mit Kunststoff ein Maximum an Form- und Kraftschluss erreicht.

3.1 DRUCKGUSSWERKZEUG

Für die Fertigung des Druckgusswerkzeuges musste das CAD-Modell des Verstärkungseinlegers weiterentwickelt werden (siehe Abbildung 8). So wurden Auswerfermarken am Einleger (1) vorgesehen, mit deren Hilfe das Entformen des Gussteils aus dem Werkzeug erleichtert wird. Die zum Entformen vorgesehenen Auswerferstifte (2) sind in Abbildung 8 orange, rot, grün und violett dargestellt. Das Anschnittsystem (3), durch welches das schmelzflüssige Metall in die Formkavität fließt, ist magentafarben dargestellt. Der Angusskanal, der zur Formkavität hinführt, wird als Filmanschnitt mit einer Anschnittfläche von 9 mm² ausgeführt. Dadurch wird eine schnelle Formfüllung mit einer geringen Verwirbelung der Metallschmelze erzielt.

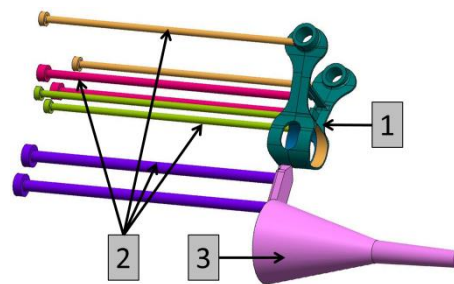


Abbildung 8. Aufbereitetes CAD-Modell des Verstärkungseinlegers für die Fertigung des Druckgusswerkzeuges [GOE17]

Um die Löcher der Bolzendurchführung und die Langlöcher im vorderen Bereich des Einlegers abbilden zu können, wurden vier Kerne (4) für das Werkzeug vorgesehen (siehe Abbildung 9). Die Ansteuerung der Auswerferstifte und der Kernzüge erfolgt hydraulisch.

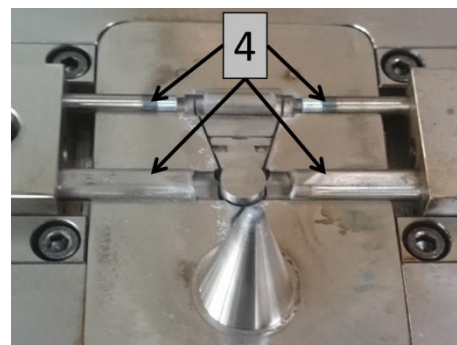


Abbildung 9. Druckgusswerkzeug (Auswerferseite) für Verstärkungseinleger aus Zink

3.2 SPRITZGIEßWERKZEUG

In Vorbereitung auf die Fertigung des Spritzgießwerkzeuges wurden umfangreiche Formfüllsimulationen durchgeführt, um das Fließverhalten des schmelzflüssigen Kunststoffes während der Formfüllung des Werkzeuges

zu untersuchen. Der Fokus lag dabei auf der Bildung und Lage von Lufteinschlüssen und Bindenähten. Die Faktoren Schmelztemperatur, Werkzeugtemperatur und Einlegertemperatur haben einen maßgeblichen Einfluss auf das Formfüllverhalten, insbesondere bei der Verarbeitung von Einlegerstrukturen mit komplexer Geometrie. Die Strömungsanalyse der Formfüllung trägt weiterhin zur kunststoffgerechten Bauteilgestaltung bei. Ebenfalls lassen sich dadurch mögliche Fehler bereits im Vorfeld der Werkzeugkonstruktion erkennen und vermeiden. Für das hybride Kettenglied wurde das Formfüllverhalten mit dem Werkstoff Polybutylenterephthalat (PBT) Arnite T06 202 verifiziert. Die Schmelztemperatur wurde mit 245 °C und die Werkzeugwandtemperatur mit 90 °C festgelegt. Die Einlegertemperatur wird im Simulationsmodell mit 23 °C angenommen. Für eine symmetrische Umspritzung des Einlegers wurde der Anschnitt an der Stirnseite positioniert. Als Ergebnis der Formfüllsimulation konnte eine Füllzeit von 1,042 s für das hybride Kettenglied ermittelt werden. Weiterhin konnten potentielle Stellen für Lufteinschlüsse (1) und die Lage von Bindenähten durch die Simulation detektiert werden (siehe Abbildung 10).

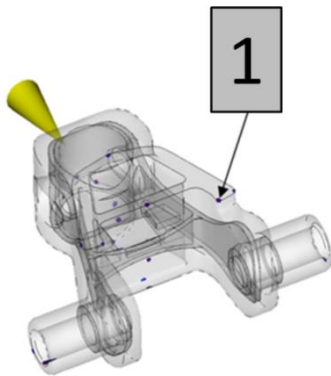


Abbildung 10. Potentielle Positionen für Lufteinschlüsse während des Spritzgießprozesses [ROH17]

Um Lufteinschlüssen vorzubeugen, die am Formteil durch die Kompression von Luft Verbrennungen an der Formteiloberfläche hervorrufen können, sind bei der Konstruktion des Spritzgießwerkzeuges Maßnahmen zur besseren Entlüftung vorzusehen. Um einen stabilen Spritzgießprozess sicherzustellen, kommt der Positionierung und Fixierung des metallischen Einlegeteiles in der Werkzeugkavität eine zentrale Bedeutung zu. Im Werkzeug treten zum Teil Innendrucke von mehreren hundert Bar auf und können Einlegeteile unter dem Einfluss des Schmelzedruckes verschieben. Um diesem Störeinfluss entgegenzuwirken, muss durch konstruktive Maßnahmen eine lagegerechte Fixierung des Einlegeteiles gewährleistet werden. Dahingehend wurden mehrere Lösungsansätze auf ihre Machbarkeit untersucht. So erlauben die in Abschnitt 2.2 beschriebenen, speziell angeordneten Halteelemente am Einlegerteil ein exaktes Positionieren der

metallischen Verstärkungsstruktur indem es in der Werkzeugkavität auf einen vorstehenden rechteckigen Kern (Fixierkern, 1) aufgesteckt wird (siehe Abbildung 11).

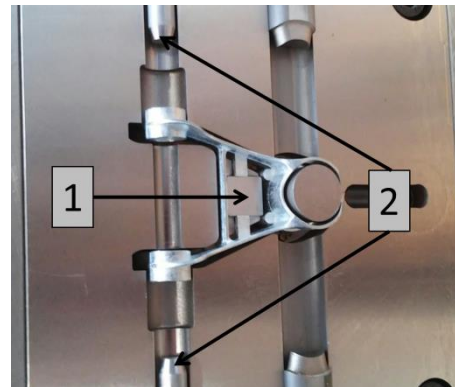


Abbildung 11. Fixierung des Verstärkungseinlegers in der Kavität des Spritzgießwerkzeuges

Beim Schließen des Werkzeuges werden darüber hinaus die Halteelemente in der Trennebene geklemmt, so dass ein Verschieben des Einlegeteiles verhindert wird. Aus diesem Grund ist an dieser Position des Verstärkungseinlegers keine Umspritzung möglich. Dieser Bereich unterliegt keiner mechanischen oder tribologischen Beanspruchung und wird bei der Montage der Tragplatte auf das Kettenglied schützend abgedeckt. Weiterhin wird durch hydraulisch betätigte Formkerne (2), die quer zur Trennebene in die Bolzendurchführungen des Einlegeteiles eintauchen, eine zusätzliche Einlegerfixierung erreicht.

4 FERTIGUNG UND EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNG VON ZINKVERSTÄRKUNGSSTRUKTUREN UND HYBRIDEN KETTENGLIEDERN

Die Zinkverstärkungsstruktur wurde in einer Vorserie von 1000 Stück gegossen. In Abbildung 12 ist der fertig gegossene Zinkverstärkungseinleger mit Anschnittsystem zu sehen.



Abbildung 12. Rohgussteil mit Angussystem

Für die Weiterverarbeitung im Spritzgießwerkzeug wird das Anschnittsystem vom Einleger getrennt, der Einleger anschließend entgratet und die Oberfläche mittels vollau-

tomatisiertem Gleitschleif-, Wasch- und Trocknungsvorgang nachbehandelt (siehe Abbildung 13).



Abbildung 13. Zur Weiterverarbeitung vorbereiteter Verstärkungseinleger

Darauffolgend wurden die Zinkverstärkungseinleger nach einem definierten Versuchsplan mit den Kunststoffen Polypropylen (PP), Polybutylenterephthalat (PBT), Polyamid (PA) und POM (Polyoxymethylen) umspritzt.



Abbildung 14. Hybrides Kettenglied nach dem Spritzgießvorgang (Zamak5/PP)

Nach der Fertigung der Zinkverstärkungsstrukturen und erster hybrider Kettenglieder erfolgt der Nachweis von Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften im quasistatischen Zugversuch. Im ersten Schritt wurde dabei das Kraft-Verformungs-Verhalten einzelner Zinkeinleger untersucht. Es zeigten sich reproduzierbare Ergebnisse mit einer maximalen Zugkraft von ca. 3700 N, Bruchdehnung von ca. 3,2 % sowie ein einheitliches Versagen der Einleger im Bereich der Zugträger. Nach sieben Monaten wurden erneut Zinkeinleger unter gleichen Randbedingungen geprüft. Die maximalen Zugkräfte erreichten hierbei im Mittel 2600 N und die mittlere Bruchdehnung lag bei 4,2 %. Der Versagensort bildete sich im vorderen Bereich der Langlöcher aus. Eine dritte Versuchsreihe wurde nach weiteren vier Monaten durchgeführt. Diese zeigten jedoch keine weiteren Unterschiede in der maximalen Bruchkraft bzw. der maximalen Bruchdehnung des Zinkeinlegers. Durch diese drei Versuchsreihen wird deutlich, dass die Zinklegierung innerhalb eines halben Jahres gealtert und dieser Vorgang danach als abgeschlossen zu betrachten ist. Aus der Literatur ist der Alte-

rungeffekt von Zinkdruckgusslegierungen ebenfalls bekannt [MOE13]. Allerdings wird erwähnt, dass der Alterungseffekt erst nach ca. einem Jahr abgeschlossen sei [LEI11].

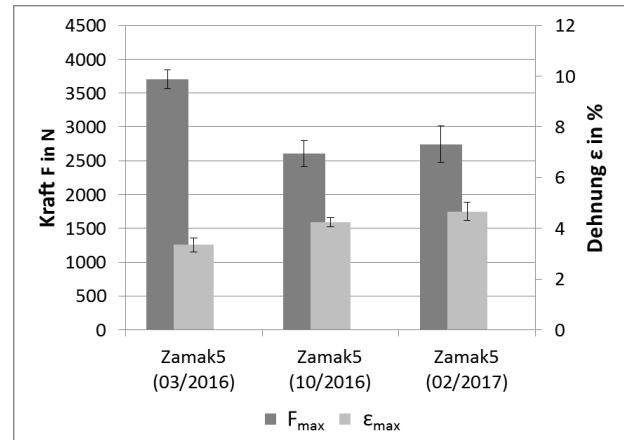


Abbildung 15. Versuche zum Alterungsverhalten der Zinkverstärkungsstrukturen

Im Rahmen der Versuchsreihen wurde ebenfalls untersucht, ob sich die Alterung der Verstärkungsstruktur auch im umspritzten Zustand einstellt. So wurden die Materialpaarungen Zamak5/PP, Zamak5/PBT, Zamak5/PA und Zamak5/POM geprüft. Die Ergebnisse zu diesen Versuchen sind in Abbildung 16 bis Abbildung 19 zu sehen.

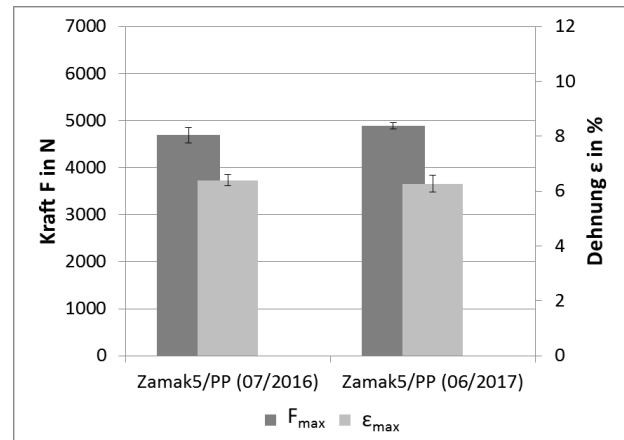


Abbildung 16. Versuche zum Alterungsverhalten Zamak5/PP

Die maximalen Bruchkräfte und Bruchdehnungen der hybriden Kettenglieder mit PP, POM und PBT befinden sich zu beiden Prüfzeitpunkten auf gleichem Niveau und im Bereich der statistischen Streuung. Bei der Materialpaarung Zamak5/PA ist ein deutlicher Unterschied der maximalen Bruchkräfte und -dehnungen zwischen den Prüfterminen zu erkennen. Dieses Verhalten kann mit der erhöhten Feuchtigkeitsaufnahme von Polyamid und der damit einhergehenden Verringerung der mechanischen Eigenschaften begründet werden.

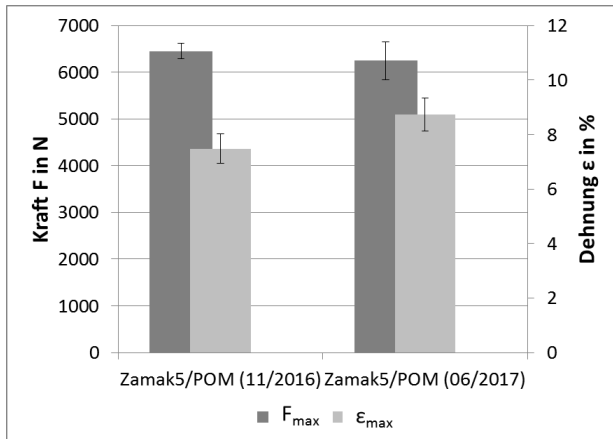


Abbildung 17. Versuche zum Alterungsverhalten Zamak5/POM

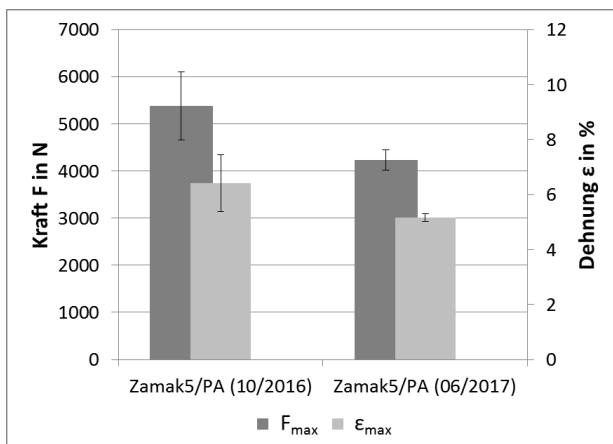


Abbildung 18. Versuche zum Alterungsverhalten Zamak5/PA

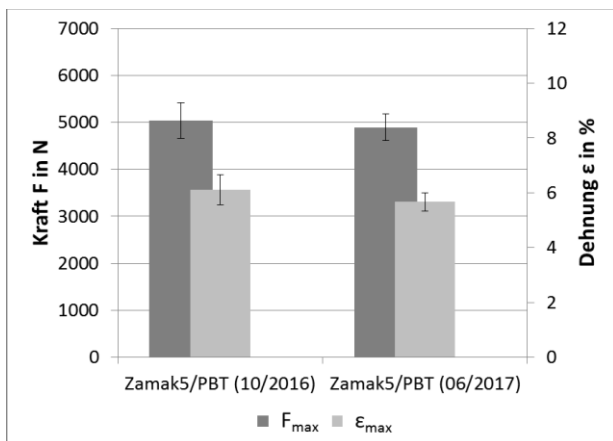


Abbildung 19. Versuche zum Alterungsverhalten Zamak5/PBT

Es muss des Weiteren erwähnt werden, dass zwischen dem Abguss der Zinkverstärkungsstrukturen und dem Umspritzen mit Polypropylen ein Zeitraum von ca. 7 Monaten lag. Die Umspritzung mit PA, POM und PBT erfolgt ca. 10 Monate nach dem Abguss. Es ist somit davon auszugehen, dass die Zinkverstärkungseinleger zum

Zeitpunkt der Umspritzung bereits gealtert sind. Dies wiederum bedeutet, dass eine weitere Reserve bei den maximal zu erreichenden Bruchkräften und -dehnungen für hybride Kettenglieder mit gussfrischen Verstärkungseinlegern zu erwarten ist.

Der Fokus der Entwicklungsarbeit lag auf der Optimierung der Steifigkeits- und Festigkeitseigenschaften von Multiflexgleitketten mithilfe metallischer Verstärkungsstrukturen. Somit befasste sich ein wesentlicher Anteil der Bauteilversuche mit dem Vergleich von unverstärkten Standardkettengliedern und hybriden Kettenglieder. Im Betrieb der Multiflexketten wirken abhängig von der Lastsituation (Gleitkurven, Kurvenräder, Anstiege / Gefälle bis 30° Neigung, etc.) normalerweise Zugkräfte zwischen 1000 N und 2000 N. Aus diesem Grund ist dieser Bereich in den Kraft-Verformung-Kurven von besonderem Interesse und erfährt an der Stelle gesonderte Aufmerksamkeit. In Abbildung 20 sind die Kraft-Weg-Kurven für unverstärkte Standardkettenglieder und zinkverstärkte Hybridkettenglieder aufgetragen. Daraus wird ersichtlich, dass Polypropylen deutlich geringere Zugkräfte aufnehmen kann und die Steifigkeit signifikant kleiner ist als bei PBT, PA und POM. Durch den Einsatz der Zinkverstärkung steigt die maximal ertragbare Zugkraft und die Steifigkeit nimmt ebenfalls zu, insbesondere im Arbeitsbereich von Multiflexketten zwischen 1000 N und 2000 N. Die Kraft-Weg-Verläufe der Standardkettenglieder PBT, PA und POM zeigen annähernd identische Steifigkeiten im Bereich zwischen 1000 N und 2000 N und dehnen sich erst ab einer Zugkraft von 2500 N unterschiedlich.

Die Zinkverstärkung brachte einen Gewinn an Steifigkeit, wobei dieser in Kombination mit Polyamid am stärksten ausgefallen ist, gefolgt von PBT. Bei zinkverstärkten POM-Kettengliedern ist die Erhöhung der Steifigkeit im Arbeitsbereich nicht so ausgeprägt. Mit steigenden Zugkräften zeichnet sich ein deutlicher Unterschied in der Steifigkeit zwischen verstärkten und unverstärkten PA-, PBT- und POM-Kettengliedern ab. Die Erhöhung der maximal ertragbaren Zugkräfte ist bei POM mit ca. 1800 N deutlich ausgeprägter als bei PBT (ca. 1000 N) und PA (ca. 800 N). Das Versagensverhalten der Kettenglieder variiert zum Teil deutlich. So ist bei den Standardkettengliedern aus PP und PA kein offensichtlicher Anriss und keine Bruchmarke zu identifizieren. Die PBT-Kettenglieder zeigen zum Teil Einschnürungen an der Pinaufnahme und in einem Fall einen deutlichen Bruch am hinteren Bereich der Zugträger, wohingegen alle POM-Standardkettenglieder an den Zugträgern oder an der Pinaufnahme spröde gebrochen sind. Die zinkverstärkten PP-Kettenglieder zeigen teilweise eindeutiges Versagen von Kunststoff und Metall an der Pinaufnahme, zum Teil aber auch nur Kunststoffablösung und -bruch.

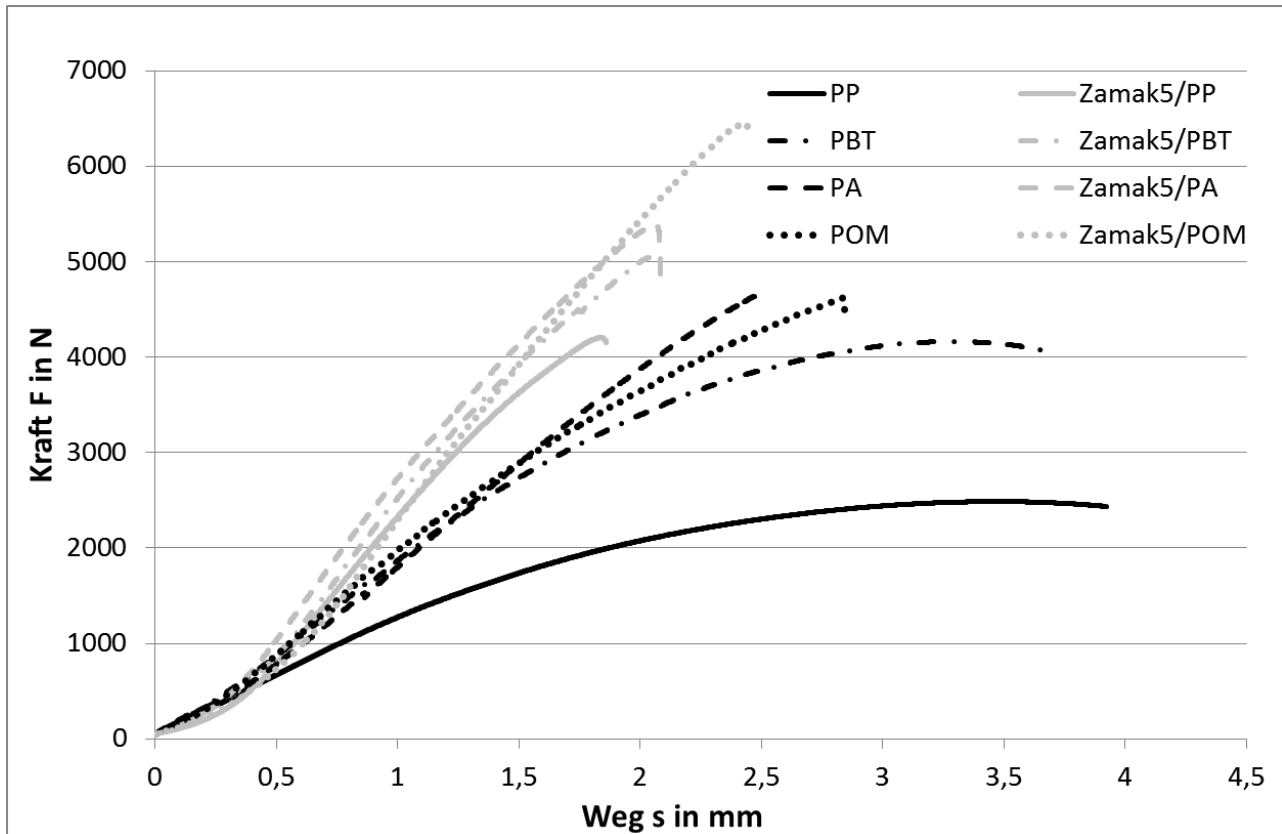


Abbildung 20. Vergleich der maximal ertragbaren Zugkräfte von Standardkettengliedern (PP, PBT, PA, POM) mit hybriden Kettengliedern (Zamak5/PP, Zamak5/PBT, Zamak5/PA, Zamak5/POM)



Abbildung 21. Hybride Kettenglieder nach dem quasistatischen Zugversuch: Zamak5/PP (links), Zamak5/PBT (Mitte), Zamak5/POM (rechts)

Bei den zinkverstärkten PA-Kettengliedern waren in neun von zehn Fällen keine Versagensspuren wie z. B. Brüche oder Anrisse zu beobachten. Nur in einem Fall ist ein Kettenglied am Übergang von Pinaufnahme zu den Zugträgern offensichtlich gebrochen. Während die PBT-Kettenglieder mit Zinkverstärkung kein offensichtliches Versagen zeigen, waren an den verstärkten POM-Kettengliedern Risse und Brüche an der Pinaufnahme und im Übergang zu den Zugträgern zu verzeichnen (siehe Abbildung 21).

5 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

In dem vorliegenden Beitrag wurde die Entwicklung einer hybriden Förderkette basierend auf der Geometrie

einer Multiflexkette veranschaulicht. Die Idee hinter der Entwicklung besteht darin, dass eine metallische Verstärkungsstruktur den Hauptteil der Zugkräfte in der Kette überträgt, während eine Kunststoffspritzung für optimale tribologische Eigenschaften zwischen den Einzelkomponenten der Kette und zu Antriebs- und Umlenkelementen sorgt. Im ersten Schritt dieses Forschungsvorhabens wurde das Bewegungs- und Verformungsverhalten einer Multiflexkette analysiert und daraus entsprechende Gestaltungsansätze für die konstruktive Umsetzung der Verstärkungsgeometrie abgeleitet. Die Fertigung soll im Druckgussprozess mittels der Zinklegierung ZnAl4Cu1 (ZAMAK5) erfolgen. Somit kann die Verstärkungsgeometrie endkonturennahe und dem Kraftfluss entsprechend hergestellt und im unmittelbaren Nachgang mit thermoplastischen Kunststoffen wie z. B. POM, PBT, PA im Spritzgießverfahren zu einem hybriden Kettenglied komplettiert werden. Unter der Voraussetzung, dass die Fertigungstechnologien verknüpft bzw. räumlich konzentriert werden, ergibt sich ein ressourcen- und energieeffizienter Herstellungsprozess, welcher mit konventionellen Fertigungsstrategien in Konkurrenz treten kann. Da die metallische Verstärkungsstruktur einen deutlichen Masseeintrag in das System Förderkette mit sich bringt, galt ein wesentlicher Teil der Untersuchungen der optimalen Geometrie des Ver-

stärkungseinlegers. Im zweiten Schritt wurde jeweils ein komplexes Werkzeugsystem für den Druckguss der Verstärkungsstruktur und den Spritzguss der tribologisch beanspruchten Außenhaut des Kettengliedes entwickelt. Um dabei eine möglichst perfekte Verbindung zwischen Metall und Kunststoff zu erhalten, wurde das Spritzgießwerkzeug für einen einstufigen Prozess ausgelegt. Im dritten Schritt wurden Zinkdruckgusseinleger gefertigt und anschließend mit kettenüblichen Kunststoffen umspritzt. Die anschließenden Untersuchungen zum Verformungs- und Festigkeitsverhalten der hybriden Kettenglieder zeigten einen deutlichen Gewinn an erträglicher Maximalkraft bei reduzierter Dehnung und einen ebenso deutlichen Anstieg der Steifigkeit. Zukünftig stehen weitere Versuche zum zyklischen Verhalten, Lebensdauer- versuche und Versuche nach künstlicher Alterung der Kettenglieder an. Ferner ist man bestrebt die Verformung der einzelnen Kettenglieder mit Hilfe von gezielt platzierten Dehnungsmessstreifen zu analysieren, um damit zukünftig die Überwachung von Betriebszuständen im Logistikbetrieb zu ermöglichen und eventuell auftretende Überlastszenarien der Kettenförderer zu vermeiden. Schließlich sollen in Feldversuchen mit Förderern unterschiedlicher Layouts verschiedene Belastungsszenarien nachgestellt und die Funktion der hybriden Förderkette nachgewiesen werden.

Fördervermerk:

Diese Arbeit entstand im Rahmen des Bundesexzellenzcluster EXC 1075 „Technologiefusion für multifunktionale Leichtbaustrukturen“ und wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert. Die Autoren danken für die finanzielle Unterstützung.

LITERATUR

[EP88] Patentschrift EP0323819A1
 [EP97] Patentschrift EP0820942A1
 [AUE06] Auerbach, Peter: Zur Beanspruchung und Lebensdauer raumgängiger Gleitketten aus Kunststoffen. TU Chemnitz, Dissertation, 2006
 [MIT08] Mitzschke, F.: Eigenschaftsprofile neuartiger faserverstärkter Kunststoffgleitketten für den Stückguttransport. TU Chemnitz, Dissertation, 2008
 [WEI14] Weise, Sebastian: Entwicklung und Evaluation von Hochleistungsgleitket-

ten aus Kunststoff. Technische Universität Chemnitz, Dissertation, 2014

[ROH17] Rohne, C.; Schreiter, M.; Tawalbeh (geb. Thurm), M.; Sumpf, J.; Nendel, K.; Kroll, L.; Müller, E.: Prozessfusion von Metalldruckguss-/Kunststoffspritzgieß-Technologien für Komponenten von Leichtbau-Fördersystemen. In: Kroll, Lothar (Hrsg.): Technologiefusion für multifunktionale Leichtbaustrukturen – Ressourceneffizienz durch die Schlüsseltechnologie „Leichtbau“(vorläufiger Titel). Springer Vieweg; 2017
 [WEI11] Weise, S.; Nendel, K.; Sumpf, J.; Schreiter, M.; Klärner, M.; Kausch, M.; et.al.: Optimierung von Kunststoffketten durch textile Verstärkungsstrukturen; Tagungsband zum 18. Symposium Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde e.V.; Verlag TU Chemnitz; 2011
 [ROH15] Rohne, C.; Schreiter, M.; Sumpf, J.; Nendel, K.; Kroll, L.: Smart High Performance Conveyor Chain Made of Plastics. Conference proceedings 2. IMTC – International Merge Technologies Conference, Chemnitz; 2015
 [ZIN17] <http://www.zink-druckguss.de/Produkte-und-Leistungen/Zink-im-Vergleich.asp>
 [CAM17] <http://www.campusplastics.com/>
 [GOE17] GOEPFERT Werkzeug &Formenbau GmbH & Co. Teilefertigung KG
 [MOE13] Moeller, Elvira: Handbuch Konstruktionswerkstoffe; Auswahl, Eigenschaften, Anwendungen. Hanser Verlag, München, 2013. ISBN: 978-3-446-43169-0
 [LEI11] Leis, Walter; Kallien, Lothar H.: Ageing on Zinc Alloys. In: International Foundry Research 64 (2011) No.1

Dipl.-Ing. Clemens Rohne, wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur Fördertechnik der Technischen Universität Chemnitz

Dipl.-Ing. Michael Schreiter, wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung der Technischen Universität Chemnitz

Dr.-Ing. Jens Sumpf, Forschungsgruppenleiter Zugmittel und Tribologie an der Professur Fördertechnik der Technischen Universität Chemnitz

Prof. Dr.-Ing. Klaus Nendel, Leiter der Professur Fördertechnik der Technischen Universität Chemnitz

Prof. Dr.-Ing. habil Lothar Kroll, Leiter der Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung

Technische Universität Chemnitz

Institut für Fördertechnik und Kunststoffe
Professur Fördertechnik
Reichenhainer Straße 70, 09126 Chemnitz
Telefon +49(0)371 531 23110

Institut für Strukturleichtbau
Professur für Strukturleichtbau und
Kunststoffverarbeitung
Reichenhainer Straße 31/33, 09126 Chemnitz
Telefon +49(0)371 531 23120

