

Veröffentlichung Hebezeuge Fördermittel, Berlin 49 (2009) 12

Hochleistungs-Gleitketten aus Kunststoff (2/2)

Tribologische Eigenschaften und Dimensionierung

Jens Sumpf, Arndt Schumann, Sebastian Weise
Technische Universität Chemnitz, Professur Fördertechnik

Tino Zucker
Technische Universität Chemnitz, Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung

*Das Ziel eines Verbundprojektes *) war die Entwicklung von dreidimensional beweglichen Kunststoffketten mit hoher Festigkeiten und Steifigkeit sowie sehr guten tribologischen Eigenschaften. Durch die Integration dieser Zugmittel in ein neues Fördersystem konnte die Leistungsfähigkeit gegenüber vergleichbarer Anlagen bedeutend erhöht werden. Nachdem im ersten von zwei Beiträgen zur Thematik „Hochleistungs-Gleitketten aus Kunststoff“ die Einflüsse der konstruktiven Gestaltung sowie der Werkstoffe und Herstellungsverfahren auf die mechanischen Eigenschaften der neuen Ketten beschrieben worden sind [4], stehen nachfolgend die Reibungs- und Verschleißigenschaften der neuen Gleitkettenförderer sowie der Dimensionierung dieser Systeme im Mittelpunkt.*

Tribologische Kontakte in Gleitketten-Fördersystemen

In einem Verbundprojekt *) wurde eine neue, raumbewegliche Kunststoff-Gleitkette entwickelt, die hinsichtlich Ihrer mechanischen Eigenschaften Vorteile gegenüber derzeitigen Ketten bietet. So konnte durch eine spannungsoptimierte Gestaltung sowie die Verwendung langglasfaserverstärkter Werkstoffe in Verbindung mit einem effizienten 2-Komponenten-Spritzgießverfahren sowohl die Steifigkeit als auch die Langzeitfestigkeit bzw. Lebensdauer deutlich erhöht werden. Die Kette ist modular aufgebaut, sodass die Zugelemente, die Tragplatte sowie das horizontale Pingelenk einzeln aus den jeweils günstigsten Werkstoffen gefertigt werden können [4].

Gleitkettenförderer sind zumeist einsträngige Systeme für den Transport von kleinen bis mittelgroßen Stückgütern oder Werkstückträgern und können sehr flexibel an komplizierte Förderstrecken angepasst werden. Für den vorrangigen Einsatz in Industriezweigen mit hohen Anforderungen an Hygiene und Sauberkeit, z. B. Lebensmittel-, Kosmetik- und Verpackungsindustrie, ist der vor allem der schmierungsfreie Betrieb von großem Vorteil.

Tribologische Kontakte treten an vielen Stellen des Systems auf (Abbildung 1) und führen zu teilweise erheblichen Reibungsverlusten, die sowohl das Antriebsmoment bzw. den Energiebedarf der Anlage als auch die Zugbelastung der Kette und damit die zulässige Länge des Fördersystems maßgeblich beeinflussen. Zudem führt die Reibung zu Verschleißerscheinungen, die verstärkt werden durch die ebenfalls reibungsbedingte Erwärmung der Kontaktbereiche.

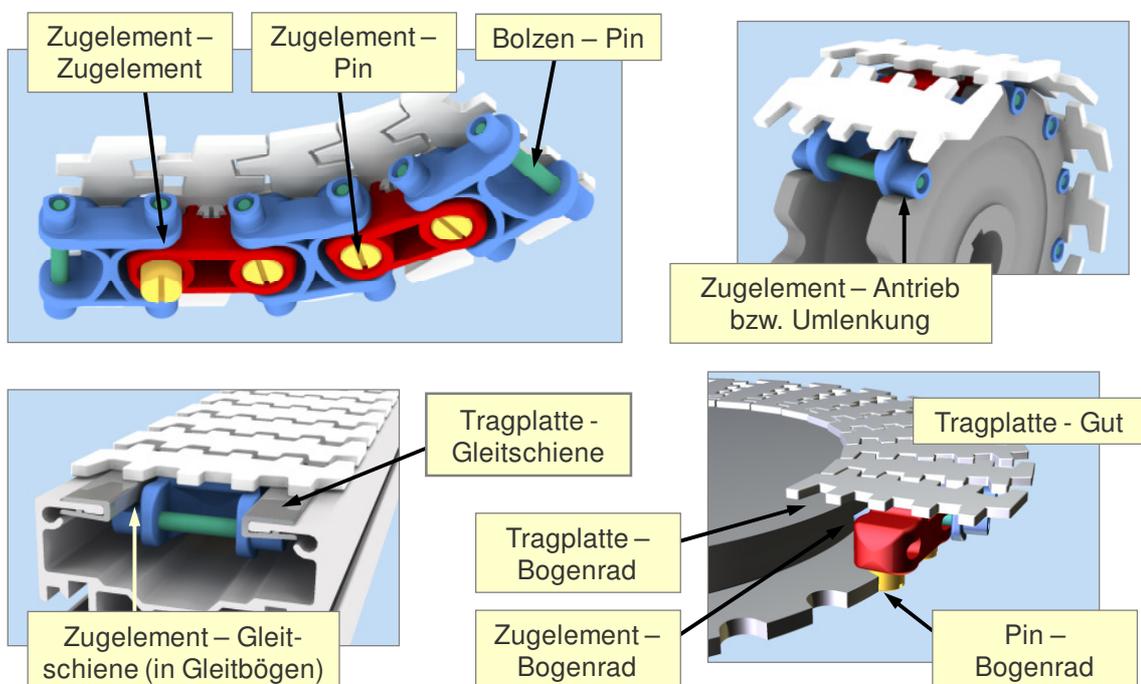


Abbildung 1 Tribologisch relevante Kontaktstellen im Fördersystem

Der wichtigste Kontakt im Fördersystem ist der zwischen der Tragplatte und den Gleitschienen, da hierüber die Last des Fördergutes auf der gesamten Förderstrecke abgetragen wird. Weiterhin ist der Kontakt zwischen den Zugelementen und den Gleitschienen in horizontalen Gleitkurven von großer Bedeutung, weil die Reibkraft der radialen Abstützung eine erhebliche Erhöhung der Kettenzugkraft bewirkt und diesen Stellen in der Praxis oft thermische Probleme auftreten. Innerhalb der Kette sind vor allem die beiden Gelenkstellen zu beachten, die in jeder horizontalen bzw. vertikalen Kurve sowie im Antriebs- und Umlenkbereich unter Wirkung der Kettenzugkraft ein- und ausgeschwenkt

werden und neben den auftretenden Energieverlusten die verschleißbedingte Längung der Kette bestimmt, die zu Zahneingriffsstörungen am Antrieb führen kann.

Weitere, insbesondere im Hinblick auf den Verschleiß zu betrachtende Reibungskontakte treten bei der Berührung der Kette mit den Antriebskomponenten auf. Außerdem ist bei einigen Anwendungen auch der Reibwert zwischen Tragplatte und Fördergut von Bedeutung, der je nach Einsatzfall gering (z. B. im Staubetrieb) oder hoch (z. B. bei geneigter Förderstrecke) gewünscht wird. In jedem Fall muss jedoch eine hohe Verschleißfestigkeit vorliegen.

Ergebnisse der tribologischen Untersuchungen

Zur Vorauswahl geeigneter Werkstoffe wurde die Ermittlung und Charakterisierung von Reibung und Verschleiß zunächst auf einem Modellprüfstand mit oszillierender Bewegung vorgenommen. Als Unterproben wurden Gleitschienenprofile oder spritzgegossenen Streifen aus potentiellen Kettenwerkstoffen verwendet. Die bewegten und normalbelasteten Oberproben von 15x15 mm wurden aus ebenfalls gespritzten Platten geschnitten. Die Versuchsdauer betrug standardmäßig 24 Stunden, teilweise auch bis zu 2 Wochen.

Zusätzlich wurden später Gleitketten und Gleitschienen in verschiedensten Materialkombinationen direkt in einem Demonstrator mit einer 15 m langen Förderstrecke mit mehreren Geraden, Kurven und Steigungen unter realen Lastbedingungen getestet. Neben verschiedenen Kraft- und Reibwertmessungen konnten hierbei u. a. das allgemeine Betriebsverhalten, das Geräuschverhalten (Quietschen und Knarren in horizontalen und vertikalen Umlenkungen) sowie der Verschleiß in Kettengelenken und am Antrieb zielgerichtet analysiert werden.

Ungeschmierte Kunststoff-Gleitpaarungen zeigen meist eine ausgeprägte Abhängigkeit von den Belastungsbedingungen sowie ein Einlaufverhalten, bei dem der Reibwert auf einem relativ niedrigen Niveau beginnt und im Verlauf von mehreren Stunden bis Tagen deutlich ansteigt. Dieses Verhalten war prinzipiell auch bei den untersuchten Werkstoffen zu beobachten. Bei der Erfassung von Referenzdaten mit RAM-extrudierten Gleitschienen aus PE-1000 in Verbindung mit dem bevorzugt eingesetzten Kettenwerkstoff POM Delrin 500AL (DuPont) startete der Reibwert bei $\mu = 0,32$, verdoppelt sich innerhalb von ca. 30 Minuten auf $\mu = 0,61$ und erreicht nach ca. 24 Stunden einen weitestgehend stationären Endwert von $\mu \approx 0,4 \dots 0,45$. Auch die Reibwerte anderer potentieller Kettenwerkstoffe lagen in diesen Tests zwischen 0,3 und 0,6 [3].

Im Verlauf des Projektes wurden umfangreiche Versuche mit Führungsschienen aus gleitmodifiziertem und RAM-extrusionsfähigem PE-UHMW sowie verschiedensten Kettenwerkstoffen durchgeführt. Unter Berücksichtigung der mechanischen Eigenschaften wurde für die unverstärkte Gleitkette bzw. die Tragplatte Delrin 500AL (DuPont) als günstigster Werkstoff gefunden, als Hautmaterial für die Monosandwich-Ketten sind u. a. Terez PA 6.6 7500 TF20 (TER HELL Plastic) und Technyl A221 (Rhodia) gut geeignet. Für die Gleitschienen konnte ein Material entwickelt werden, deren Reibwerte gegen die Vorzugswerkstoffe dauerhaft bei etwa $\mu = 0,15 \dots 0,20$ liegen und gleichzeitig eine sehr hohe Verschleißfestigkeit aufweisen.

Auch für das Pingelenk, welches zusätzlich hohe Festigkeitsanforderungen stellt, konnten geeignete Werkstoffpaarungen mit sehr guten tribologischen Eigenschaften gefunden werden. Dabei kommt u. a. Terez PA 6.6 7500 TF20 (TER HELL Plastic) zum Einsatz, welches aufgrund eines chemisch angekoppelten PTFE-Additives neben geringen Reibwerten auch sehr gute mechanische Eigenschaften aufweist. Neben einer hohen Verschleißfestigkeit erlaubt dies, im Gegensatz zu vielen anderen gleitmodifizierten Werkstoffen, auch die Übertragbarkeit der geforderten Zugkräfte.

Berechnungs- und Dimensionierungsgrundlagen

Zur Berechnung von Gleitkettenförderern wird dieser zunächst entsprechend der Systembereiche (Geraden, Steigungen, Kurven, usw.) und dem Belastungszustand (Leerlauf, Förderung, Staubetrieb) in verschiedene Abschnitte unterteilt. Beginnend vom lastfreien Zustand im Auslauf des Antriebsrades (Kettensack) werden die in den einzelnen Abschnitten entstehenden Zugkräfte aufaddiert und ergeben im letzten Abschnitt direkt vor dem Antrieb die maximal auftretende Kettenzugkraft. Die wichtigsten Grundlagen einer zuverlässigen Berechnungsmethode wurden von Auerbach [1] erarbeitet.

Die mithilfe der gemessenen Reibwerte berechnete Kettenzugkraft kann unter Berücksichtigung von Wirkungsgraden und Sicherheiten z. B. direkt zur Auslegung der Antriebe verwendet werden. Für die Dimensionierung der Kette wird zudem die zulässige Zugkraft benötigt, die für eine sichere Funktion größer sein muss als die berechnete Maximalkraft.

Die Grundlagen dafür bilden die Ergebnisse der mechanischen Untersuchungen [4]. Die Tests am Pulser ergeben die ertragbaren Lastwechsel (Kettenumläufe) bei einer bestimmten Kettenzugkraft, die jedoch nur bei geradem Zug bzw. geraden Förderstrecken gilt. Die Ergebnisse der Umlaufversuche in Förderanlagen mit Kurven sind zwar qualitativ ähnlich,

liegen jedoch infolge der asymmetrischen Belastung sowie der zusätzlichen Biegebelastung beim Einschwenken der Kette in eine Kurve quantitativ etwa 1.000 N unter denen der geraden Zugbeanspruchung (Abbildung 2).

Die zulässige Zugkraft muss immer in Verbindung mit einer bestimmten Betriebsdauer gesehen werden, woraus sich unter Berücksichtigung der Länge und der Geschwindigkeit des Förderers eine Umlaufzahl ergibt, aus der mit Hilfe der Lebensdauerkurven aus Abbildung 2 die ertragbare Zugkraft bestimmt werden kann. Umgekehrt kann damit auch die Betriebsdauer bei vorgegebener maximaler Zugkraft abgeschätzt werden. Da je nach Anwendung etwa $10^5 \dots 10^6$ Umläufe sicher gestellt werden müssen, ergibt sich für die neue, unverstärkte Kette im Fördersystem eine zulässige Zugkraft von etwa 900...1.500 N, mit herkömmlichen Ketten können unter diesen Bedingungen etwa 700...1.300 N übertragen werden.

Die zulässige Belastbarkeit der langglasfaserverstärkten Monosandwich-Ketten ist aufgrund der andauernden Lebensdauerersuche noch nicht bekannt. Aus den bisherigen Ergebnissen lässt sich jedoch eine noch höhere Festigkeit ableiten.

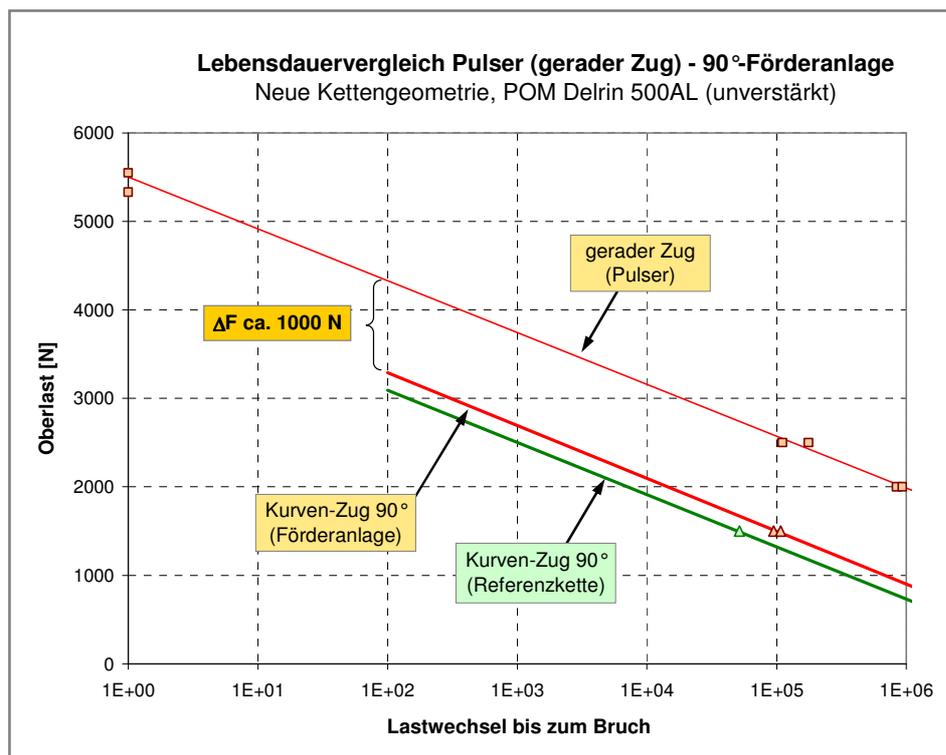


Abbildung 2 Zeitfestigkeitsdiagramm für eine unverstärkte Kette aus Delrin 500AL

Potentialabschätzung

Mithilfe der Berechnungsvorschriften und der Versuchsergebnisse lässt sich das Potential des neuen Fördersystems abschätzen, welches sich zum einen aus der gesteigerten Kettenfestigkeit und zum anderen aus den verbesserten Reibwerten ergibt. Am Beispiel des Funktionsdemonstrators nach Abbildung 4 mit mehreren Steigungen und Kurven ergibt sich somit eine Verringerung der Kettenzugkraft und der Antriebsenergie um ca. 70% bei gleichzeitiger signifikanter Steigerung der ertragbaren Kettenumläufe. Dabei ist anzumerken, dass die Größe der Verbesserungen maßgeblich vom Förderlayout und den Belastungen abhängt und je nach Anwendungsfall zu ermitteln ist.

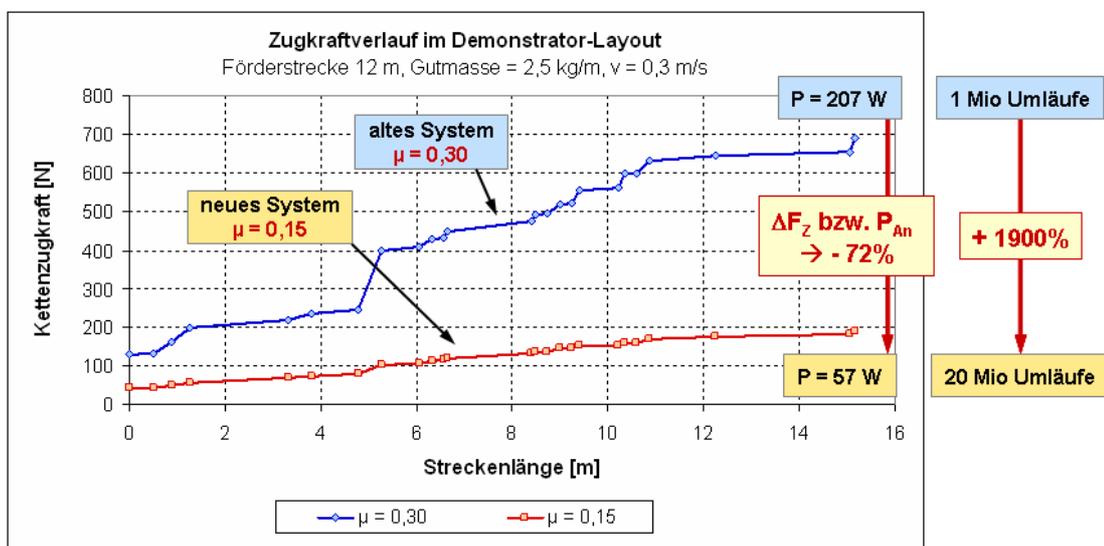


Abbildung 3 Leistungspotential des neuen Gleitketten-Fördersystems

Resümee: Neues Fördersystem mit vielen Vorteilen

Im Rahmen eines Forschungsprojektes^{*)} wurden grundlegende Untersuchungen zu Gleitkettenförderern durchgeführt und ein neues Fördersystem auf Basis einer hochleistungsfähigen Multiflex-Gleitkette entwickelt. Durch die neue Geometrie sowie tribologisch verbesserte Gelenkbereiche werden bei gleichem Materialeinsatz die Steifigkeit und Zeitfestigkeit der Ketten sowie die Verschleißbeständigkeit erhöht, reibungsoptimierte Gleitschienen sorgen für eine Minimierung der Kettenzugkraft.

Bei der Kombination der mechanischen und tribologischen Eigenschaften im Gesamtsystem ist eine drastische Verringerung der Zugmittelbelastung, verbunden mit längerer Lebensdauer und größerer Funktionssicherheit, und zudem die Einsparung von Antriebsenergie in gleicher Größenordnung möglich. Alternativ können mit dem neuen

System wesentlich längere und kurvenreichere Anlagen mit weniger Antrieben und Gutübergabestellen oder größere Förderlasten bzw. –geschwindigkeiten realisiert werden.

Das neue System wurde bereits ausgiebig mithilfe eines Funktionsdemonstrators getestet (Abbildung 4). Dieser etwa 12 Meter lange Förderer enthält mehrere Kurven und Steigungen und wurde mit massebestückten Werkstoffträgern praxisgerecht mehrere Monate problemlos betrieben.

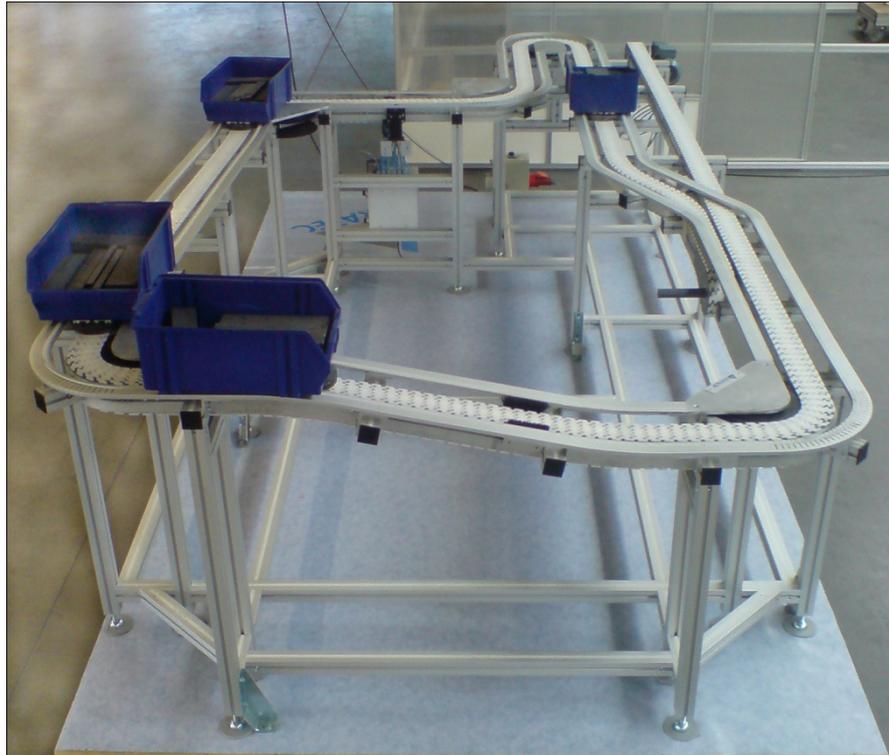


Abbildung 4 Funktionsdemonstrator des neuen Fördersystems

Literatur

- [1] Auerbach, P.: Zur Beanspruchung und Lebensdauer raumgängiger Gleitketten aus Kunststoffen. TU Chemnitz, Dissertation 2006.
- [2] Mitzschke, F.: Eigenschaftsprofile neuartiger faserverstärkter Kunststoffgleitketten für den Stückguttransport. TU Chemnitz, Dissertation 2008.
- [3] Nendel, K.; Vollet, M., Sumpf, J.; Mitzschke, F.; Schumann, A.: Faserverstärkte Zugmittel für Stetigförderer in Leichtbauausführung. Hochleistungs-Transportketten mit Faserverstärkung aus Kunststoff. VDI-Berichte 2008; Tagungsband zum 17. Deutschen Materialfluss-Kongress; VDI-Verlag GmbH; 2008. ISBN 978-3-18-092008-5

- [4] Sumpf, J.; Schumann, A., Weise, S., Zucker, T.: Hochleistungs-Gleitketten aus Kunststoff (1/2). Gestaltung, Werkstoffe und Fertigung., Hebezeuge Fördermittel, Berlin 49 (2009) 11, S. 528-530.

Forschungsprojekt

- *) "Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) innerhalb des Rahmenkonzeptes „Forschung für die Produktion von morgen“ gefördert und vom Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe, Bereich Produktion und Fertigungstechnologien (PTKA PFT), betreut."

Projektpartner

- ALTRATEC Montagesysteme GmbH, Schwieberdingen
- Huster Sondermaschinenbau GmbH, Chemnitz
- IWIS Antriebssysteme GmbH, München
- Livemold Trading GmbH, Breitung
- Quadrant EPP Deutschland GmbH, Sinsheim / Vreden
- SMK V-Fabrik GmbH, Chemnitz
- TU Chemnitz, Professur Fördertechnik (Prof. Dr.-Ing. K. Nendel)
- TU Chemnitz, Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung (Prof. Dr.-Ing. L. Kroll)

Autoren

- **Dr.-Ing. Jens Sumpf** ist Leiter der Forschungsgruppe Ketten-Zahnriemen-Tribologie der Professur Fördertechnik an der TU Chemnitz
- **Dipl.-Ing. Arndt Schumann** ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Professur Fördertechnik an der TU Chemnitz
- **Dipl.-Ing. Sebastian Weise** ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Professur Fördertechnik an der TU Chemnitz
- **Dipl.-Ing. Tino Zucker** ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung an der TU Chemnitz