

Veröffentlichung Hebezeuge Fördermittel, Berlin 49 (2009) 11

Hochleistungs-Gleitketten aus Kunststoff (1/2)

Gestaltung, Werkstoffe und Fertigung

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 Festigkeit und Steifigkeit sowie sehr guten tribologischen Eigenschaften. Durch die Integration dieser Zugmittel in ein neues Fördersystem konnte die Leistungsfähigkeit gegenüber vergleichbaren Anlagen bedeutend erhöht werden. Im ersten von zwei Beiträgen zur Thematik „Hochleistungs-Gleitketten aus Kunststoff“ werden die Einflüsse der konstruktiven Gestaltung sowie der Werkstoffe und Herstellungsverfahren auf die mechanischen Eigenschaften der neuen Ketten beschrieben. Im zweiten Beitrag, der in einem Folgeheft erscheint, stehen die Charakterisierung der tribologischen Eigenschaften sowie die Dimensionierung der Fördersysteme im Mittelpunkt.*

Ausgangslage und Zielstellung

Für den Transport von kleinen bis mittelgroßen Stückgütern oder Werkstückträgern werden zunehmend Gleitkettenförderer mit raumbeweglichen Kunststoffketten verwendet, die sehr flexibel an komplizierte Förderstrecken angepasst und schmierungsfrei betrieben werden können. Die zumeist einsträngigen Systeme kommen u. a. in der Lebensmittel-, Kosmetik- und Verpackungsindustrie sowie für Verkettungsaufgaben in der Montagetechnik zum Einsatz.

Auf Grund der hohen Flexibilität sind die ähnlich Abbildung 1 aufgebauten Multiflex-Gleitketten seit vielen Jahren fest am Markt etabliert. Das zusätzliche Drehgelenk (Pin),

welches in Verbindung mit dem Kettenbolzen ein kardanisches Gelenk ergibt, ermöglicht sehr kleine horizontale und vertikale Umlenkradien bei relativ hoher Zugfestigkeit. Die Kette wird in einem mit Kunststoff-Gleitschienen (meist PE) bestückten Führungsprofil (meist Alu-Profil) geführt. Gängige Systeme sind modular aufgebaut und bestehen aus Geraden, horizontalen bzw. vertikalen Kurvenprofilen, Kurvenrädern und sonstigem Zubehör.

Materialbedingt weisen die Kunststoffketten insbesondere bezüglich der zulässigen Zugkraft (Festigkeit / Dauerfestigkeit) sowie der vorhandenen hohen Dehnung (geringe Steifigkeit) Defizite auf. Die Folgen davon sind, dass Gleitkettenförderer noch häufig mit schweren und wartungsintensiven Stahlketten ausgerüstet oder lange Förderstrecken mehrfach geteilt werden müssen, wodurch zusätzliche Antriebe notwendig werden sowie konstruktiv aufwendige und fördertechnisch nachteilige Übergabestellen entstehen.

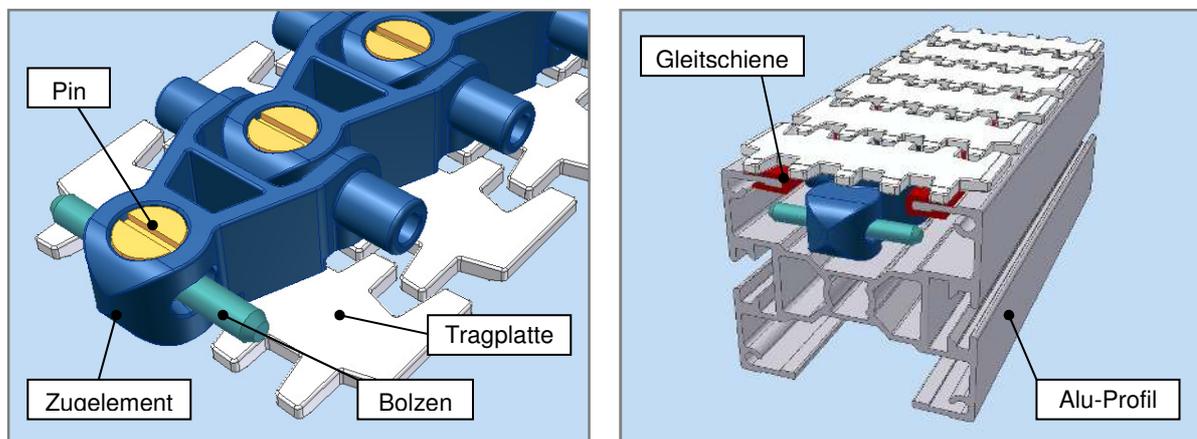


Abbildung 1 Multiflex-Gleitkette (links) und Gleitkette im Führungsprofil mit Kunststoff-Gleitschienen (rechts)

Das Ziel eines Verbundprojektes ^{*)} war die Erhöhung der Leistungsfähigkeit solcher Förderanlagen. Im Vordergrund stand dabei die Entwicklung von dreidimensional beweglichen Kunststoffketten mit hoher Festigkeit und Steifigkeit, jedoch wurden auch das Gesamtsystem vor allem hinsichtlich der tribologischen Eigenschaften sowie Verfahren zur effizienten Fertigung der Ketten untersucht.

Konstruktive Gestaltung der neuen Kette

Die einzelnen Bauelemente der Gleitkette werden im Betrieb sehr unterschiedlich beansprucht. Die Kette ist im Wesentlichen einer schwellenden Zugbelastung unterworfen, die durch die Zuelemente, den Pin und den Bolzen übertragen wird. Diese Elemente benötigen somit eine hohe Festigkeit (bzw. Dauerfestigkeit) und Steifigkeit bei

gleichermaßen guten Reibungs- und Verschleißeigenschaften insbesondere in den Gelenkbereichen. Die Tragplatte dient dagegen der Aufnahme der Fördergüter sowie der Übertragung deren Masse auf die Gleitschienen, sodass hier nur eine vergleichsweise geringe Scherbelastung vorliegt. Die wichtigsten Eigenschaften dieser Elemente sind damit ein möglichst geringer Reibwert zur Gleitschiene sowie eine hohe Abriebfestigkeit.

Aus dieser Grundüberlegung heraus wurde eine modular aufgebaute Kette entwickelt und zum Patent angemeldet (Abbildung 2), bei der Zugelement, Pin und Tragplatte einzeln hergestellt und deshalb auch die Werkstoffe sehr zielgerichtet ausgewählt werden können. Der Aufbau ähnelt dem einer Rollenkette mit geraden Innen- und Außengliedern, was eine sehr gute Kraftübertragung mit ausgewogener Spannungsverteilung gewährleistet.

Die neue Kette mit einer Teilung von 33,5 mm und einer Tragplattenbreite von 84 mm passt in bestehende Profilsysteme für vergleichbare Ketten und erfüllt die üblichen Anforderungen an die horizontale und vertikale Beweglichkeit.

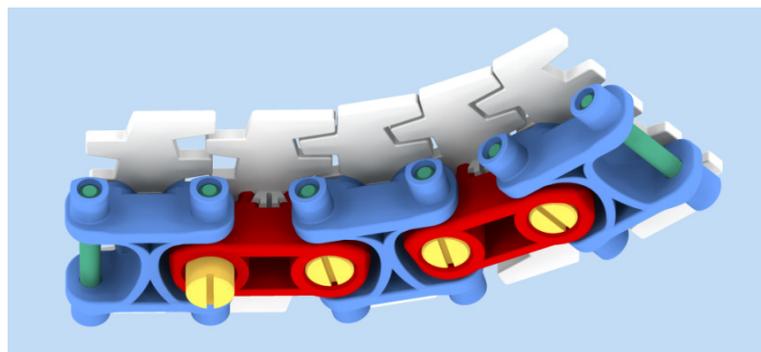


Abbildung 2 Neue Gleitkettengeometrie

Eine weitere Neuerung ist der alternativ zum Kopfantrieb verwendbare horizontale Bogenradantrieb, bei dem die Kette nur im Obertrum läuft und die Rückführstrecke komplett eingespart werden kann. Bei diesem Antriebskonzept greifen die nach unten aus der Kette herausragenden verlängerten Pins in eine Bogenradverzahnung ein, was im Gegensatz zu bisherigen Lösungen eine sehr saubere Kraftübertragung bei minimalem Abriebverschleiß gewährleistet.

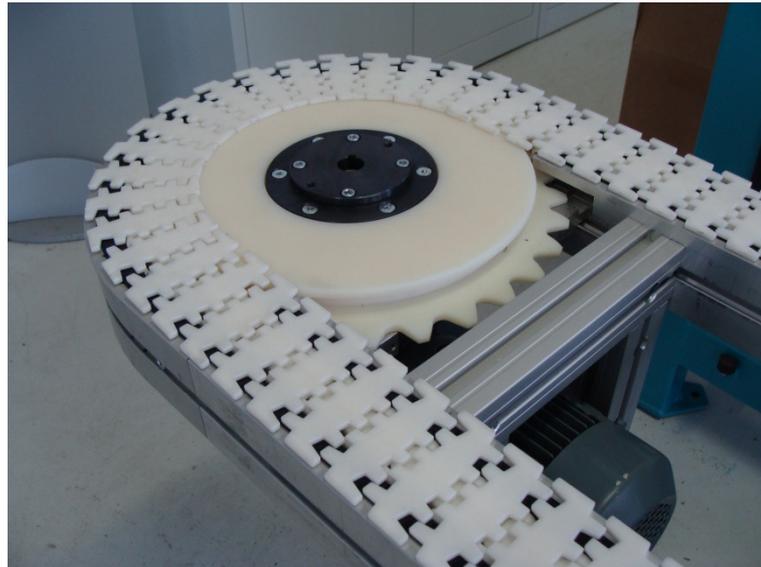


Abbildung 3 Bogenradantrieb

Werkstoffe und Fertigungsverfahren

Nach [2] kommt es in Gleitkettenförderern u. a. zu folgenden Ausfallursachen bzw. Schädigungserscheinungen:

- Ketten- bzw. Zahnbruch durch mechanische Überlastung (zu hohe Kettenzugkraft)
- Kettenlängung infolge elastischer / viskoelastischer Kettendehnung und Verschleiß in den Gelenkbereichen (Zahneingriffsstörungen und Stick-Slip-Bewegung der Kette)
- Abriebverschleiß an sich relativ zueinander bewegenden Ketten- bzw. Systemelementen
- thermische Zerstörung, d. h. partielles Aufschmelzen von Ketten- oder Gleitschienen in Bereichen überhöhter Belastung

Für die Funktion des Förderers sind folglich neben guten tribologischen Eigenschaften eine hohe Festigkeit und Steifigkeit des Zugelementes der Kette von Bedeutung. Unter der Voraussetzung des gleichen Materialvolumens ist dies einerseits durch eine spannungsoptimierte Konstruktion und andererseits durch die Verwendung geeigneter Hochleistungswerkstoffe zu erreichen. Hierfür bieten sich z. B. langglasfaserverstärkte Kunststoffe an, die in Ihrer Festigkeit und Steifigkeit herkömmliche Kettenwerkstoffe und kurzglasfaserverstärkte Materialien deutlich übertreffen. Problematisch ist jedoch das tribologische Verhalten dieser Werkstoffe, da insbesondere durch die abrasiven Glasfasern ein hoher Abriebverschleiß verursacht wird.

Als Lösung wurden die Zugelemente in einem 2-Komponenten-Spritzgießverfahren mit einem festen und steifen Kern sowie einer Haut aus tribologisch optimiertem Material hergestellt (Abbildung 4). Dazu wurde das moderne Monosandwich-Verfahren der Fa. Ferromatik Milacron [4] angewendet, bei dem die plastifizierte Hautkomponente über einen Nebenextruder vor das Kernmaterial im Hauptspritzaggregat gefördert wird. Beide hintereinander geschichteten Schmelzen werden dann gemeinsam in die Kavität eingespritzt, wobei der Kernwerkstoff das Hautmaterial verdrängt, welches dünnsschichtig an der Werkzeugoberfläche erstarrt. Auf diese Weise können die Zugelemente ohne Zykluszeitverlust sehr effizient gefertigt werden.



Abbildung 4 Schnitt eines im Monosandwich-Verfahren hergestellten Kettenzugelementes

Auch unter Berücksichtigung der tribologischen Eigenschaften [[Verweis auf Folgebeitrag im nächsten Heft](#)] wurden aus mechanischer Sicht als Vorzugswerkstoffe für unverstärkte Zugelemente POM Delrin 500AL (DuPont) und POM Hostaform C9021 (Ticona) gefunden. Für die Monosandwich-Ketten erwies sich ein 40-60% langfaserverstärktes Factor PA 6.6 LGF (Fact) als Kernmaterial am geeignetsten. Als Hautwerkstoff können optional verschiedene, möglichst gleitmodifizierte Werkstoffe auf PA-Basis eingesetzt werden.

Mechanische Eigenschaften

Im statischen Zugversuch konnten Bruchfestigkeit und Steifigkeit (Anstieg der Messwertkurven) der Ketten ermittelt und mit Referenzwerten verglichen werden. Wie Abbildung 5 zeigt, lassen sich beide Eigenschaften durch die Verwendung von langglasfaserverstärktem Kunststoff deutlich verbessern. Die Ergebnisse von

Monosandwich-Ketten mit faserverstärktem Kern und unverstärkter Haut liegen erwartungsgemäß dazwischen.

Bei identischem Werkstoff und gleicher Materialmenge war bei der neuen Gestaltungsvariante eine geringfügige Verbesserung der Festigkeit (max. 5%) sowie eine deutliche Versteifung (um 15...30%) gegenüber der herkömmlichen Kettengeometrie festzustellen.

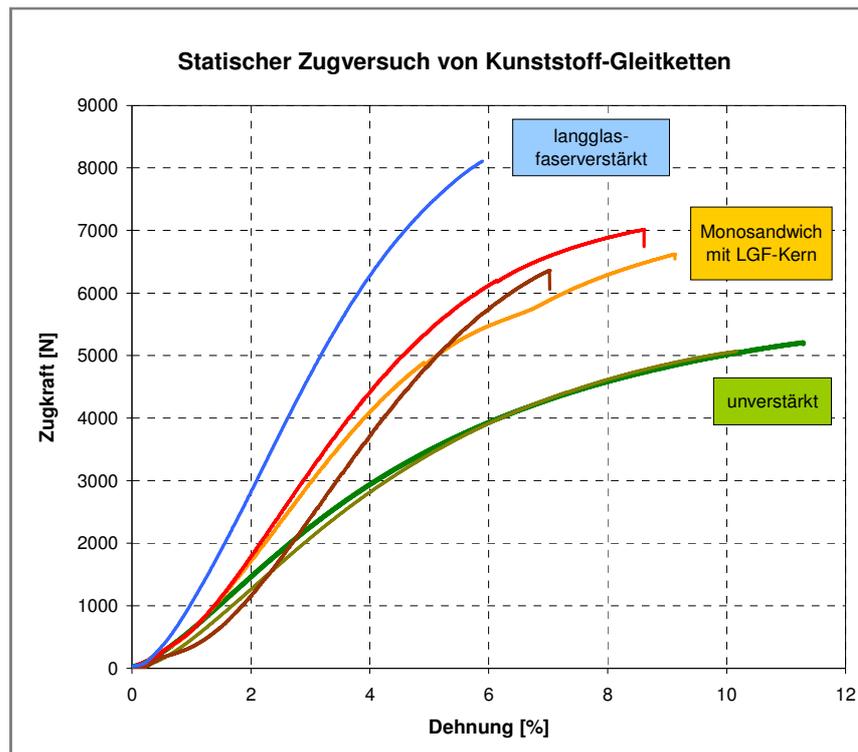


Abbildung 5 Einfluss der Werkstoffe auf Bruchfestigkeit und Steifigkeit der Ketten

In einem Kettenförderer wird die Kette nach dem Auslaufen aus dem Antriebsrad (im sogenannten Kettensack) komplett entlastet. Im Bereich der Kettenrückführung sowie auf der eigentlichen Förderstrecke steigt die Kettenzugkraft infolge der Reibung und der Wirkung der Ketten- und Fördergutmasse ständig an und erreicht beim Eingriff in das Antriebsrad ihren Maximalwert. Das bedeutet, dass die Kette während eines Umlaufes einer schwelenden Belastung unterworfen ist. Bei den Multiflex-Ketten kommt dazu eine zusätzliche Biegebelastung in horizontalen Kurven.

In [1] und [2] wurde bereits festgestellt, dass deshalb die statische Bruchkraft allein keine zuverlässige Aussage zur Eignung bestimmter Werkstoffe als Kettenmaterial liefert. Dazu ist zumindest eine dynamische Zugprüfung bei schwelender Last erforderlich ist, die sich bei verschiedenen Werkstoffen auch qualitativ vom statischen Zugversuch unterscheiden kann.

In diesen Tests werden die Ketten mit einer sinusschwingenden Last zwischen 0 und einer bestimmten Oberkraft beaufschlagt und die Zyklen bis zum Bruch bestimmt. Diese Werte können als ertragbare Kettenumläufe bei einer bestimmten Zugkraft interpretiert und in einem Lebensdauerdiagramm dargestellt werden.

Die in einer Zugprüfmaschine ermittelte Lebensdauer gilt allerdings nur bei geraden Förderstrecken. Durch die asymmetrische Belastung der Ketten in den Horizontalkurven sowie ein zusätzliches Biegemoment, welches im Pingelenk beim Einschwenken in eine Kurve erzeugt wird, sinkt die Zeitfestigkeit beim Test in einem realen Fördersystem deutlich ab, was ebenfalls ausführlich in [1] und [2] beschrieben wurde.

Die Messungen in einem Kurven-Versuchsstand unter praxisnahen Belastungsbedingungen erbrachten die in Abbildung 6 dargestellten Ergebnisse. Sie zeigen, dass die Lebensdauer der Ketten durch die Verwendung von langglasfaserverstärktem Material erwartungsgemäß deutlich verlängert werden kann. Interessant daran ist, dass die Monosandwich-Ketten trotz geringerer Bruchfestigkeit in der Lebensdauer Vorteile gegenüber komplett verstärkten Ketten aufweisen. Der Grund dafür liegt in der oben beschriebenen zusätzlichen Biegebelastung beim Einschwenken in eine Horizontalkurve, welche aufgrund des besseren Reibwertes zwischen Kette und Pin bei den Monosandwich-Ketten mit tribologisch hochwertigem Hautmaterial wesentlich geringer ist.

Zum anderen wird deutlich, dass allein die neue geometrische Gestaltung im Vergleich zu herkömmlichen Ketten zu einer signifikanten Standzeiterhöhung beiträgt. Bei unverstärkten Ketten liegt dieser Vorteil zwischen 40 und 60% längerer Lebensdauer, woraus sich eine Erhöhung der zulässigen Zugkraft ca. 20...30% ergibt. Die Ergebnisse mit den faserverstärkten Ketten sind derzeit quantitativ noch nicht abschätzbar, da die Belastungstests weiterhin laufen.

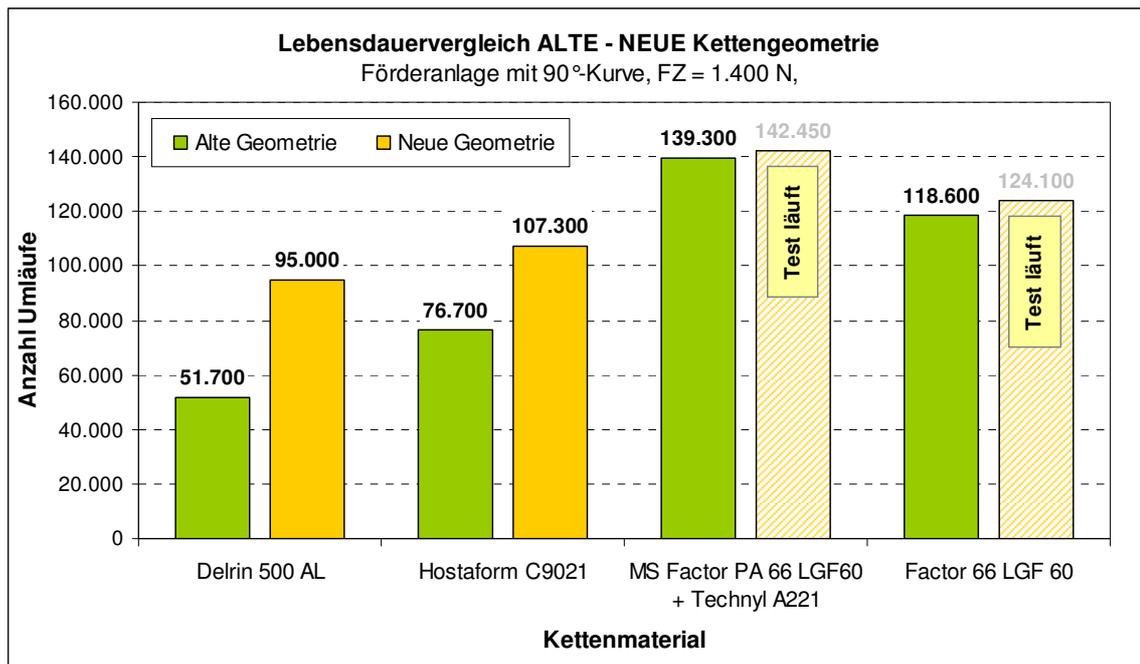


Abbildung 6 Lebensdauervergleich der Werkstoffe und Gestaltungsvarianten (Förderer mit 90°-Kurve, Zugkraft 1.400 N)

Resümee

Durch die neuartige, spannungsoptimierte Gestaltung einer Multiflex-Gleitkette konnte die Zeitfestigkeit bzw. Lebensdauer sowie die Steifigkeit gegenüber Referenzketten bei vergleichbarem Materialeinsatz deutlich erhöht werden. Eine weitere Verbesserung dieser Ketteneigenschaften ist durch die Herstellung der Zugelemente der Kette im Monosandwich-Spritzgießverfahren bei Verwendung von langglasfaserverstärktem Kunststoff und einer tribologisch optimierten Hautkomponente erreichbar.

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] www.ferromatik.com, Internetpräsentation Ferromatik Milacron Maschinenbau GmbH, Malterdingen, 2009.

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