

## steel-LIKE-plastics

Hochverschleißfest-beschichtete 3d-Druck-Polymere & CFK-Komposite für funktionszentrierte Konstruktion von Antrieben

|                                 |  |                        |               |
|---------------------------------|--|------------------------|---------------|
| <b>Programm / Ausschreibung</b> | Bundesländerkooperationen TP, Smart Mobility, Smart Mobility 2015  | <b>Status</b>          | abgeschlossen |
| <b>Projektstart</b>             | 01.11.2016   | <b>Projektende</b>     | 30.04.2019    |
| <b>Zeitraum</b>                 | 2016 - 2019  | <b>Projektlaufzeit</b> | 30 Monate     |
| <b>Keywords</b>                 | Festschmierstoff-Beschichtungen; PVD-Beschichtung; Beschichtung von Kunststoffen; Selektives Lasersintern von Kunststoffen; Defekt-Minimierung |                        |               |

### Projektbeschreibung

Ausgangssituation: Die „funktionszentrierte Konstruktion“ von Funktionskomponenten zur Kraft- und Bewegungsübertragung (Getriebe, Lagerungen, Gelenkverbindungen etc.) bietet ein außerordentliches hohes Potential zur Effizienzsteigerung im Herstellungsprozess und der Nutzung. Derzeit noch am Beginn ihrer Entwicklung stehend, wird sie speziell in Kombination mit kostengünstiger generativer Fertigung („3d-Druck“) von technischen Kunststoffen und mit der Fertigung neuer Kompositmaterialien ab 2020 entscheidenden Einfluss auf die Serienproduktion kleinerer elektrischer Antriebsstränge gewinnen. Vorteile liegen speziell in der integralen Fertigung ganzer Baugruppen (z.B. Getriebe) als 1 Komponente ohne aufwendige anschließende Montage, der Realisierung von Bauteilen bislang nicht verwirklichter Form und Funktionalität (z.B. mehrachsige Gelenke), der Optimierung des Materialeinsatzes und damit Bauteilgewichtes (z.B. Wabenstrukturen - Ultraleichtbau). Ähnlich wie bei geschäumten, ultraleichten Kohlefaser-Kompositen (für Wellen und Gleitführungen des Projektpartners SECAR) zeigten Vorstudien und Schadensanalysen auch bei mittels des selektivem Lasersinterns (SLS) generativ gefertigten Getriebebaugruppen (Bernstein), dass die derzeitigen Haupt-Problemstellungen auf dem Weg zu hochwertigen, funktionell hoch-belastbaren Kunststoff-/Komposit-Bauteilen in

- (1) der gegenüber Metallen niedrigen Verschleißbeständigkeit der Kunststoffe sowie
- (2) speziell bei „gedruckten“ Baugruppen in den niedrigen und schlecht reproduzierbaren mechanisch-dynamischen Materialeigenschaften liegen.

Ziele: Das Projekt „steel-LIKE-plastics“ hat den Fokus, diese Probleme durch Material- und Prozess-F&E an Grundmaterialien und Oberflächenflächenbeschichtungen mit österreichischen Kernkompetenzträgern in Industrie und Forschung zu lösen, d.h.:

- (1) Entwicklung reproduzierbarer, wirtschaftlicher Herstellprozesse von Leichtbau-Strukturen mit hoher Tragfähigkeit, Dauerfestigkeit und glatten Oberflächen ( $R_a < 1 \mu m$ ) für gute Beschichtbarkeit zum Verschleißschutz:
  - (1a) Bei der generativen Fertigung mittels SLS (Bernstein) ist dafür die Nutzung von Faser-/Partikel-Verstärkung von Polyamid (PA) alternativlos, führt aber durch höhere Mikro-Porosität zu reduzierter Dauerfestigkeit. Prozess-F&E erfordert die Verwendung neuer Pulvermischungen mit leicht unterschiedlichem SLS-Prozessfenstern (z.B. PA12-PA11), möglichst konstante Pulverbett-Temperatur und Laserleistungsdichte sowie neue SLS-Scan-Strategien für dem Kraftverlauf folgende

Sinterspuren sowie Umschmelzen. Zur Oberflächenglättung sind adaptierte UV-aushärtende Sol-Gel-Lacke einstellbarer Härte, Zähigkeit und Oberflächenspannung (für Glättungseffekt bei niedriger Schichtdicke) notwendig.

(1b) Kostengünstige Hybrid-Komposite, gefertigt aus makroporösem, tragfähigem Schaum-kern und wenigen Mantellagen von Kohlefaser-verstärktem Epoxidharz (CFK) mittels Pull-Winding (SECAR), sind bislang nur als Strukturelemente auf (axiale) Knicksteifigkeit optimiert, erfordern in Funktionselementen aber radiale Druckfestigkeit. Zudem muss die Oberflächen-Faserlage Belastungs-adaptiert an die tribologische Belastung angepasst und homogene Harzüberdeckung der Fasern zur Vermeidung lokal variierender Nachgiebigkeit gewährleistet werden.

(2) Entwicklung von Vakuum-Beschichtungsprozesse mittels Hochrate-PVD-Technologie bei niedrigen Temperaturen (<80°C) mit speziell auf diese Werkstoffe, Oberflächen und komplexen Bauteilgeometrien abgestimmte verschleißfeste Schichtarchitekturen mit geringster Reibung (<0.02 trocken / Notlauf): Langjähriger Erfahrung von JR zielt dafür auf neue Festschmierstoff-Schichtkonzepte (DLC, MoS<sub>2</sub>, WS<sub>2</sub>), welche:

- (i) durch ihren Nanokomposit-Aufbau niedrigen Elastizitätsmodul bei hoher Härte besitzen,
- (ii) über den Multilagen-Aufbau weiter Zähigkeit und damit die Toleranz gegenüber Substrat-Defekten (Rauigkeit, Poren) und Rissbildung bei Überlastungen erhöhen und
- (iii) Deckschichtmaterialien einschließen, welche im Falle zu hoher mechanischer Belastung anstatt abrasiver Verschleißpartikel niedrigreibende, Selbstheilung ermöglichende Transferschichten, ausbilden.

Geplante Projektergebnisse sind ein in seinen Kern-Bereichen patentiertes Schichtsystem, Leitlinien für funktionszentrierte, beschichtungsgerechte Leichtbau-Konstruktion sowie die technologische Basis zur Aufskalierung auf (Klein-)Serien-Fertigung mittels SLS und Pull-Winding geplant, deren Start 6 Monate nach Projektende (Anfang 2019) geplant ist. Zudem wird speziell das SLS-Knowhow über Lizenzverträge auch anderen Produzenten international zur Verfügung gestellt.

## Abstract

Starting point: The integrated functional construction of components for transmission of force and motion (gear boxes, bearings, joints, etc.) has extraordinary potential to increase efficiency in manufacturing and use. Now on start of development, its breakthrough (e.g. in serial production of smaller electrical powertrains) is expected in 2020 in combination with competitive additive manufacturing ("3d printing") of technical polymers and the manufacturing of novel composites. Advantages are the integral manufacturing of devices (e.g. gear boxes) as 1 component without time-consuming assembling, the realization of components of yet non-realizable shape and functionality (e.g. multi-axial joints), the optimization of the material consumption and weight (e.g. honeycombs / lightweight construction). Comparable to foamed ultra-lightweight carbon fibre composites (for shafts and sliding guides of SECAR), initial studies and failure analysis showed for additive manufactured cog-wheels, using selective laser sintering (SLS) fabrication (Bernstein) too the following main obstacles to achieve functionally high-strength components:

- (1) low wear resistance of polymers compared to metals,
- (2) low and non-reproducible mechanical-dynamical properties especially for SLS parts.

Goals: The project "steel-LIKE-plastics" has the focus to overcome these limitations by material and process R&D on polymers and coatings, including the Austrian core competence partners in industry and research, especially:

- (1) Development of reproducible, efficient manufacturing routes for light-weight structures of high load-bearing capacity, fatigue strength and smooth surfaces (Ra < 1 µm) as basis for optimal coatability for wear protection:

(1a) In additive manufacturing by SLS (Bernstein), the use of fibre and/or particle strengthening of polyamide (PA) is mandatory, but leads to lower fatigue strength due to higher micro-porosity. R&D on SLS processes demands the use of new powder blends with slightly different process windows (e.g. PA12/11), constant powder-bed temperature, laser power density as well as novel strategies for SLS scanning for sintering along the main force vectors. For smoothing the topography by thin coatings, adapted UV hardening sol-gel system with tunable hardness, toughness and surface tension are planned.

(1b) Cost-efficient hybrid composites, manufactured from macro-porous, stable foam core and a few carbon-fibre composite (CFRP) mantle layers by pull-winding (SECAR), are yet available only for structural components with optimized axial crippling strength. However, functional used components require radial compression strength. Further, the fibre orientation on the surface must be adapted to the tribological loading (motion direction) and homogenous resin layer thickness on the surface to prevent locally varying load-bearing capacity is mandatory.

(2) Development of vacuum coating processes by high-rate PVD technology at low temperatures ( $\leq 80^\circ\text{C}$ ) with wear-resistant, ultra-low friction ( $\leq 0.02$ ) film architecture, which is adapted especially on these composite polymers with their surface conditions and device complexity. High experience of JR targets on novel solid-lubricant coatings (DLC, MoS<sub>2</sub>, WS<sub>2</sub>), which

(i) have low elastic modulus, but high hardness due to nanocomposite structure,

(ii) have high toughness and tolerance to cracking around substrate defects and overloading due to multi-layered structure, and

(iii) include top coating materials, which enable instead of hard abrasive wear particles in case of overloading the formation of low-friction, self-healing transfer layer films.

Planned project results are a novel, patented coating system, guidelines for integrated functional light-weight construction with good coatability as well as the technological basis for an up-scale to (small-)series production by SLS and pull-winding, planned to start 6 months after project end (early 2019). Further, distribution of knowhow to other SLS manufacturers is planned by licensing.

### **Projektkoordinator**

- JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH

### **Projektpartner**

- Montanuniversität Leoben
- Materials Center Leoben Forschung GmbH
- Polymer Competence Center Leoben GmbH
- SECAR Technologie GmbH
- Bernstein Innovation GmbH