



ZIM-Projekt: Robotergestützter 3D-Druck hochsteifer, funktionalisierter Formwerkzeuge für massive Faserverbundbauteile

Alternative Produktionsmöglichkeiten für den Werkzeugbau und die Kleinserie



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



- **Entwicklung der Forster System-Montage-Technik GmbH**

Gewachsen im Wandel

- **ZIM-Projekt: 6-Achsextrusion – Ein Weg zur materialreduzierten Additiven Fertigung**

Motivation

Bereitstellung der Hardware, Prozessablauf

Entwicklung am Parameterraum

Erste Anwendung

Kostenpotential

- **Aussichten und aktuelle Möglichkeiten**



Entstehung & Entwicklung der SMT

vertiefte Wertschöpfung – neue Geschäftsfelder



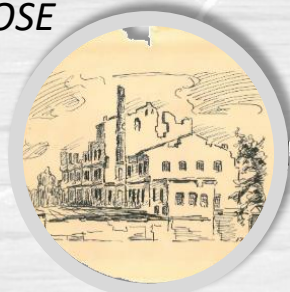
1987

*Neugründung der Firma MROSE
als Technischer Handel - Industriebedarf*



1907

*Gründung der Firma MROSE
als Tuchfabrik*



1972

Verstaatlichung

2006

*Gründung der
Forster System-Montage-Technik GmbH*



MROSE Heute

Vollausrüster

- Industrielieferer (online & vor Ort)
- Deutschlandweit Vertriebsingenieure
- 80.000 Artikel auf 10.000 m² Lagerfläche



SMT Heute

Dienstleister & Produzent

- Ingenieursleistungen
- Fertigung von Leichtbauelementen
- Klebefachbetrieb
- Aufarbeitung von Komponenten
- Montage beim Kunden

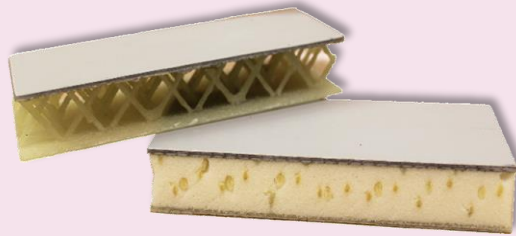
Leistungsspektrum - Unternehmensbereiche

Service/Dienstleister/Produzent



Von der Innovation bis zur Montage des fertigen Produkts

Ingenieure- & Entwicklungsleistungen



- Technologieentwicklungen
- **Kundenbezogene Produktentwicklungen**
- **Prototypenbau**
- Brandschutzlösungen (DIN EN 45545-2)
- Prüfungen von Werkstoffen, Bauteilen und Qualitäten
- **Langfristige Zusammenarbeit mit Forschungseinrichtungen**

Kleben

- Klebstoffauswahl, Klebstoffauslegung

Additive Fertigung

- Anschauungsmuster, Machbarkeitsanalyse

Fertigung

Leichtbau mit FKV

- **Vakuuminfusion**, Heißpressen, RTM-light, Handlaminierung
- **Fertigung und Einsatz von wiederverwendbarer Silikonmembranen**
- Harzsysteme: Vinylester, Epoxid, Bio-Harze
- Fasern: Glas, Aramid, Carbon, Flachs
- **Funktionsintegration**, Brandschutz
- **Einzelteile bis hin zur Kleinserie**
- **individuelle Ersatzteilerfertigung**

Aufarbeitung von Systemkomponenten

- Wartung, Aufarbeitung
- elektrische, mechanische, pneumatische, hydraulische Baugruppen

Kleben

- Baugruppen, Montagevorbereitung

Additive Fertigung

- Werkzeugbau, Urmodelle, Fertigteile

Montage



- zeichnungsgerechte **Demontage- und Montagedienstleistungen**
- Verlegung von elastischen und textilen Bodenbelägen
- individuelle Anpassung von Holz- und Faserverbundwerkstoffen

Kleben

- Verklebungen, Abdichtungen, Beschichtung

Additive Fertigung

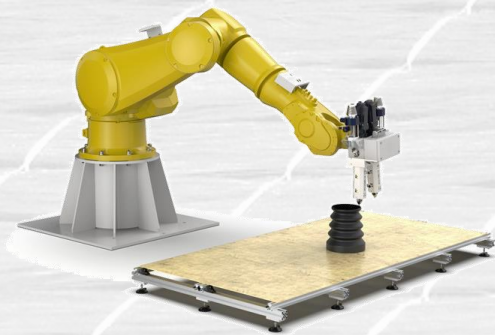
- Montagehilfen, Konturabzieher

Projekttitle: „Entwicklung eines additiven robotergestützten Direktextrusionsverfahrens zur hocheffizienten Herstellung von funktionsintegrativen hochsteifen und beheizbaren Formwerkzeugen für massive Faserverbundbauteile – on Demand“

Kooperation mit der Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg
(Lehrstuhl vom Herr Prof. Dr.-Ing. H. Seidlitz – Polymerbasierter Leichtbau)

Projektziel: „Entwicklung sowie die Umsetzung eines automatisierten additiven Fertigungsverfahrens zur Herstellung selbsttrennender mit integrierter Heizung versehener FKV-Formwerkzeuge.“

Granulat Extrusion (6-Achsig)



Quelle: Hans Weber



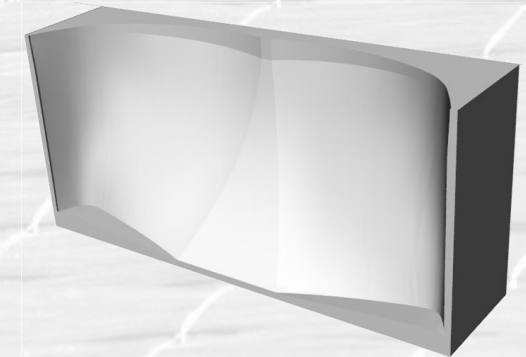
Endbearbeitung, Werkzeugwechsel



Quelle: Eurobot



Werkzeuge für FKV-Bauteile
hohe Variabilität der Formenkonstruktionen



Formwerkzeuge

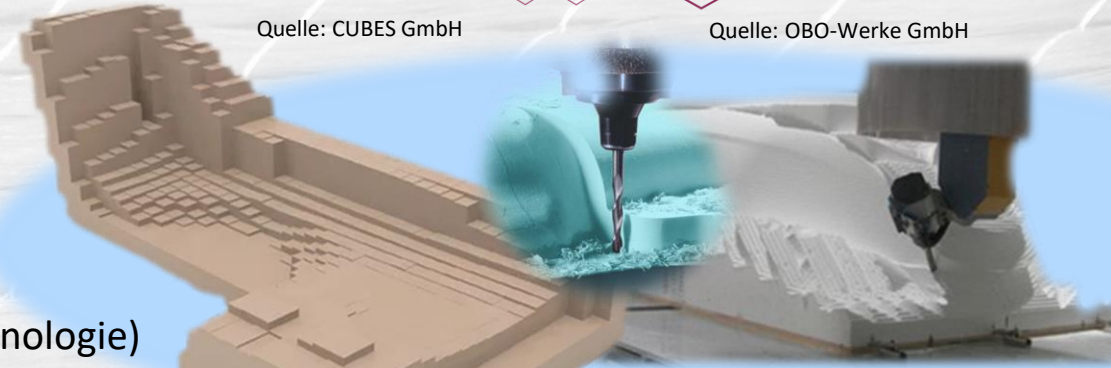
Viele Wege führen zur richtigen Form



- **Kostenintensive Formwerkzeuge** für die Herstellung von
 - Funktionsprototypen oder Serienbauteilen
 - FKV-Strukturbauteilen
- **Herstellung der Formwerkzeuge** durch
 - spanende Verfahren (Styroporguß, PUR-Blockmaterial, CUBES Technologie)
 - aufwändige Handlamine von Originalbauteilen
- **Limitierung** der Verfahren
 - Materialverlust durch systembedingte Einschränkungen
 - gewichtsbezogene Handlingnachteile
 - Verklebung von mehrteiligen Grundmaterialien notwendig
 - Lange Fräsprozesse und eventuelle Oberflächennachbehandlungen
- **Additive Fertigung**
 - verbesserte Werkzeugstrukturen
 - minimaler Verschnitt
 - Funktionsintegration

Quelle: CUBES GmbH

Quelle: OBO-Werke GmbH



Automatisiert

Quelle: BWH-Bücker Kunststoffe GmbH & Co. KG

Manuell

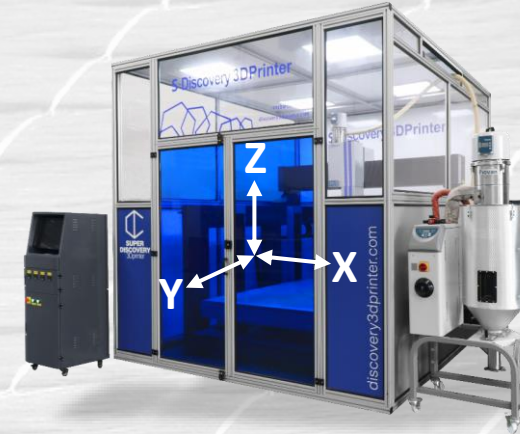


Quelle: B-TU CB-SFB



Additive Fertigung mittels LSAM-Anlage

- 1300 x 2500 x 1000 mm (3-Achsen)
- Direkte Granulat Extrusion, 6-10 kg/h, 200 mm/sek
- Thermoplastische Materialien z. B. ABS, PPE, PC, PEI **plus GF und CF**
- 450 °C, 6-20 mm $D_{\text{Düse}}$, 0.5 mm min. Schichtdicke



Quelle: CNC Barcnas



Additive Fertigung mittels Industrieroboter

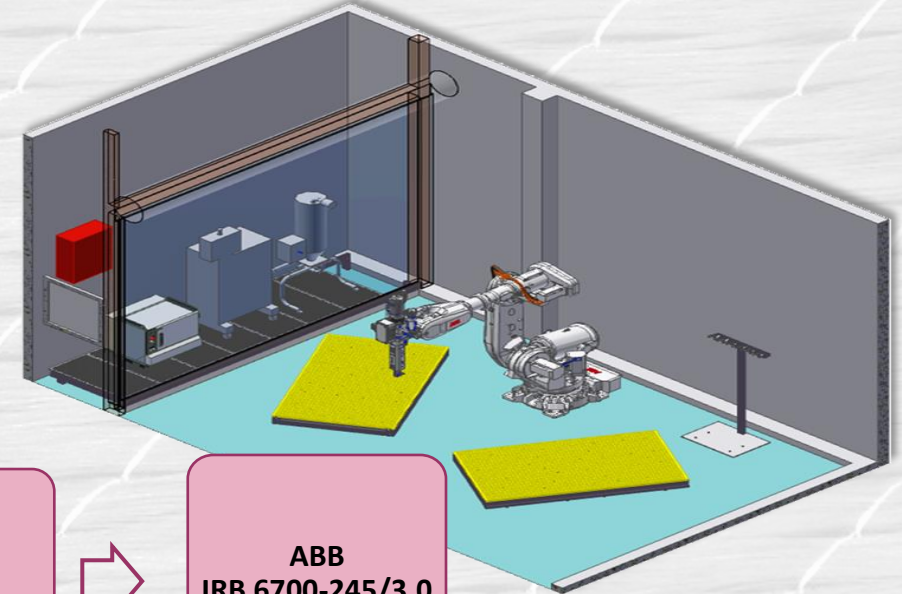
- 2 Arbeitstische á 1200 x 2000 x 1400 mm **+**
- Direkte Granulat Extrusion, 8-20 kg/h, bis zu 1000 mm/sek **+**
- Thermoplastische Materialien z. B. ABS, PPE, PC, PEI **plus GF und CF**
- 450 °C, 4-14 mm $D_{\text{Düse}}$, 0.5 mm min. Schichtdicke
- Schneckendurchmesser 30 mm, L/D = 15.5, Schneckenlänge = 465 mm
- 5-Achsen für AF verfügbar (6-Achse bis 45°), 6-Achsen für Fräsprozesse **+**

Anforderungen der SMT

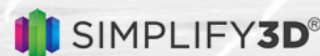
Prozessablauf – Vom CAD zum G-Code



- Direktextrusion am Knickarmroboter für die **ressourceneffiziente, endkonturnahe Herstellung**
- Fräsen als hocheffiziente und **schnelle Oberflächennachbehandlung**
- **Automatisierung** der Druck- und Fräsprozesse in einer Aufspannung
- **Materialkosten- und Massereduktion** von bis zu 80%
- **Reduzierung der Prozesszeiten** vom CAD zum fertigen Modell
- **Integriertes Heizungssystem** für die nachgelagerten Produktionsschritte



```
84 M82  
87 M106 S0 ; turn off the external cooling fan  
88 G28 Z ; home Z axis first then move up to avoid  
89 G91 ; switch to relative positioning  
90 G1 Z5 F1000 ; move Z up 5mm to avoid bed  
91 G90 ; switch back to absolute positioning  
92 G28 X0 Y0 ; home X and Y axes at the same  
93 M104 S190 T0 ; starting heating the extruder  
94 M140 S60 ; start heating the bed temperature  
95 M190 S60 ; wait for the bed to reach 60 degrees  
96 M109 S190 T0 ; wait for the extruder to reach  
97 G1 X5 Y5 F2400 ; move to start of priming locati  
G1 X0.5 Y600 ; slowly lower for priming
```



Hardware der SMT

Materialfluss - Vom Granulat zum Bauteil



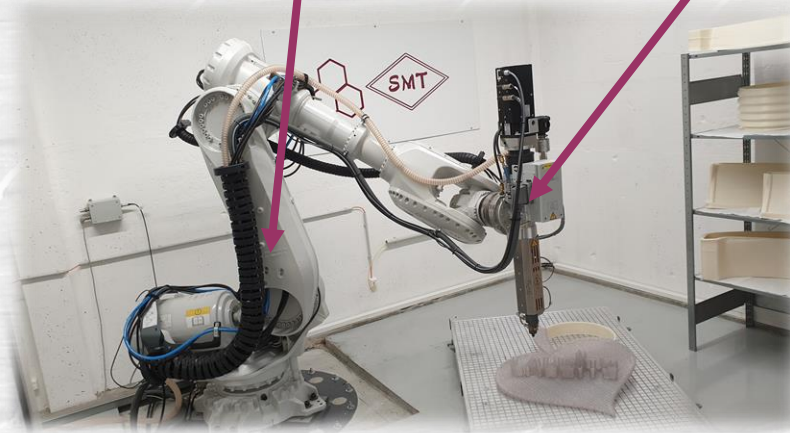
Robotersteuerung
IRC5

Extrudersteuerung

Materialspeicher &
Materialtrockner 50L

ABB Industrieroboter
6700-245/3.00

Extruder AE30
inkl. Materialförderung



- An- und Absetzbewegungen
- 100 mm/sek Verfahrensgeschwindigkeit
- PET/ABS ohne Faserverstärkung
- First Layer (Breite 8 mm, Höhe 2 mm)

Materialspeicher

Materialtrockner

Venturi/
Druckluft
Transport

Zwischenlager
Füllstandsensor

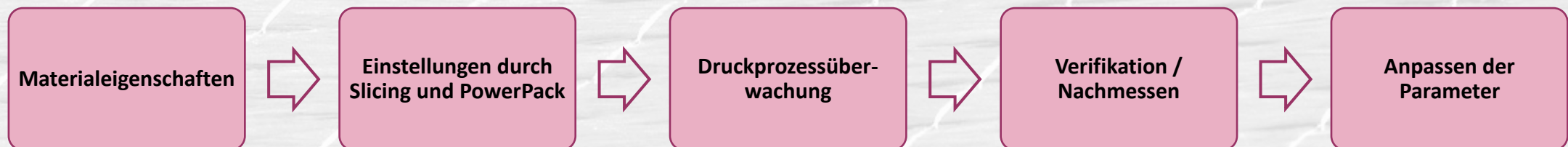
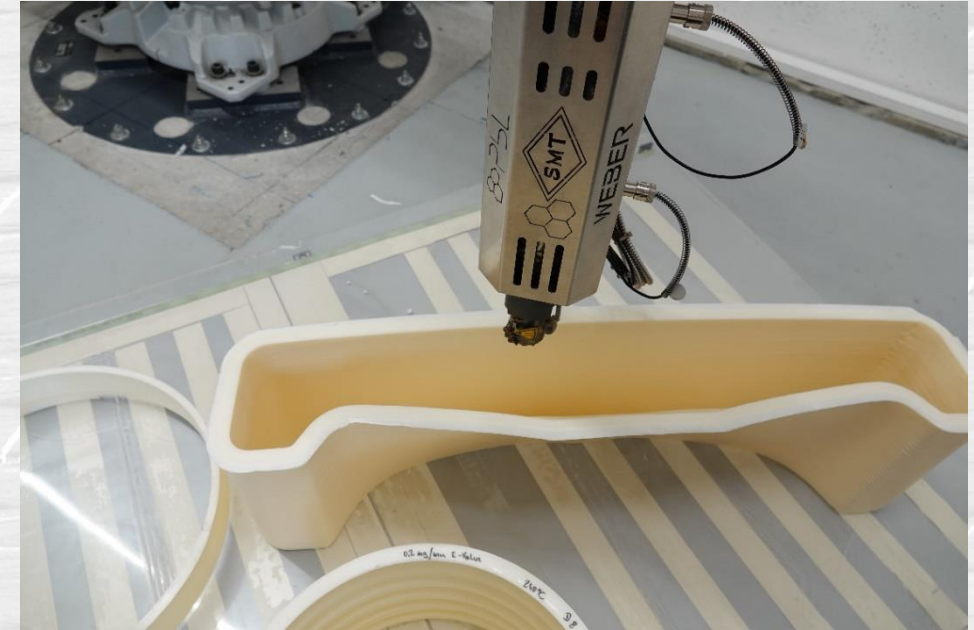
Extruder

Parameterentwicklung

Die besten Parameter für das beste Material



- Vorbereitung in der Software
 - Slicing / PowerPack (E-Faktor, Wiping, Retraction)
- Prozesskalibrierung
 - Live-Temperaturmessungen (Layerzeit)
 - Linien, Kreise, Rechtecke
 - Wände, Zylinder, Quader
 - Überhangtest
 - Überlappungsbereiche/ -lücken, Schichtverschweißung
 - Übertragen auf spezifische Komponenten



Parametereinflüsse

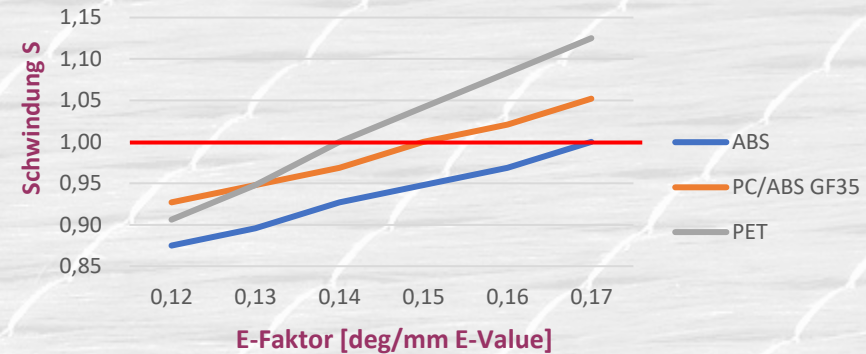
Die Variation macht den Unterschied



Kompensation der Materialschwindung

- Anpassen der Schwindung anhand von empirischen Messwerten
$$S = \frac{b_{Raupe,kalt}}{b_{Raupe,Soll}}$$
- Kompensation über E-Faktor des Extruders

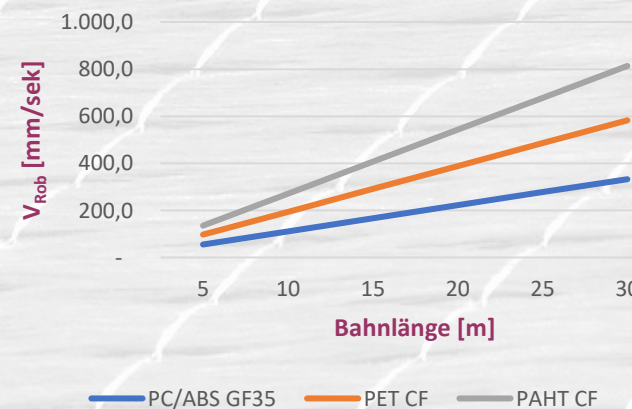
Einfluss des E-Faktors auf die Schwindung



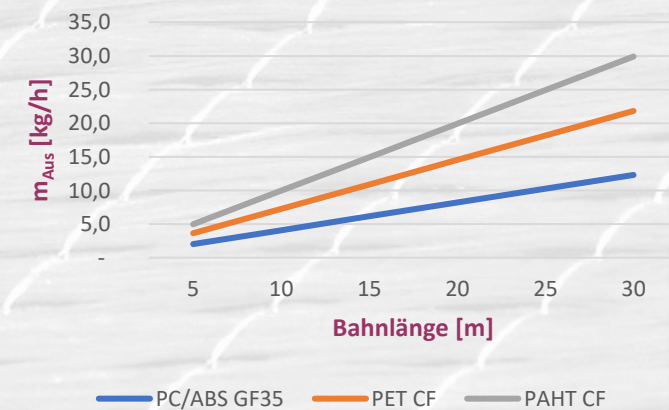
Anpassung der Layerzeit (Q-Time)

- Anpassen der Vorschubgeschwindigkeit anhand der Bahnlänge
- Vorschubgeschwindigkeit und Austragsleistung sind linear zueinander und Materialabhängig

Einfluss Bahnlänge auf die Vorschubgeschwindigkeit



Einfluss der Bahnlänge auf die Austragsleistung



Anwendungsfall

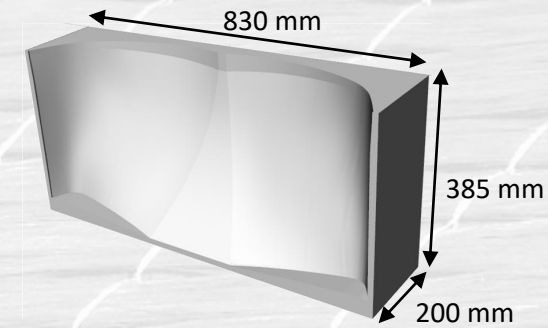
Neue Herausforderungen bringen neue Lösungen



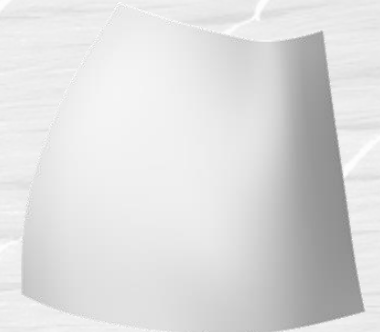
- Regionalzug Frontbereich „Stadler Regio-Shuttle RS 1“
- Wildschäden oder anderweitige Kollisionen



Quelle: Stadler Regio – Shuttle RS 1, Erfurter Bahn



Werkzeugmodell
(Bauteil Links und Rechts)



CAD-Model (Bauteil Rechts)

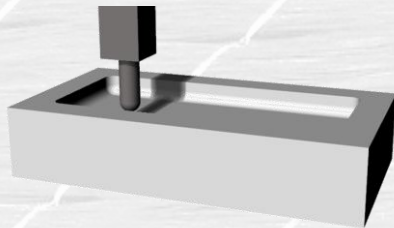


Vergleich im Formenbau

Kostenreduktion durch neue Ideen

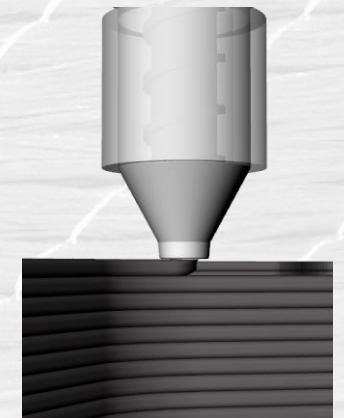
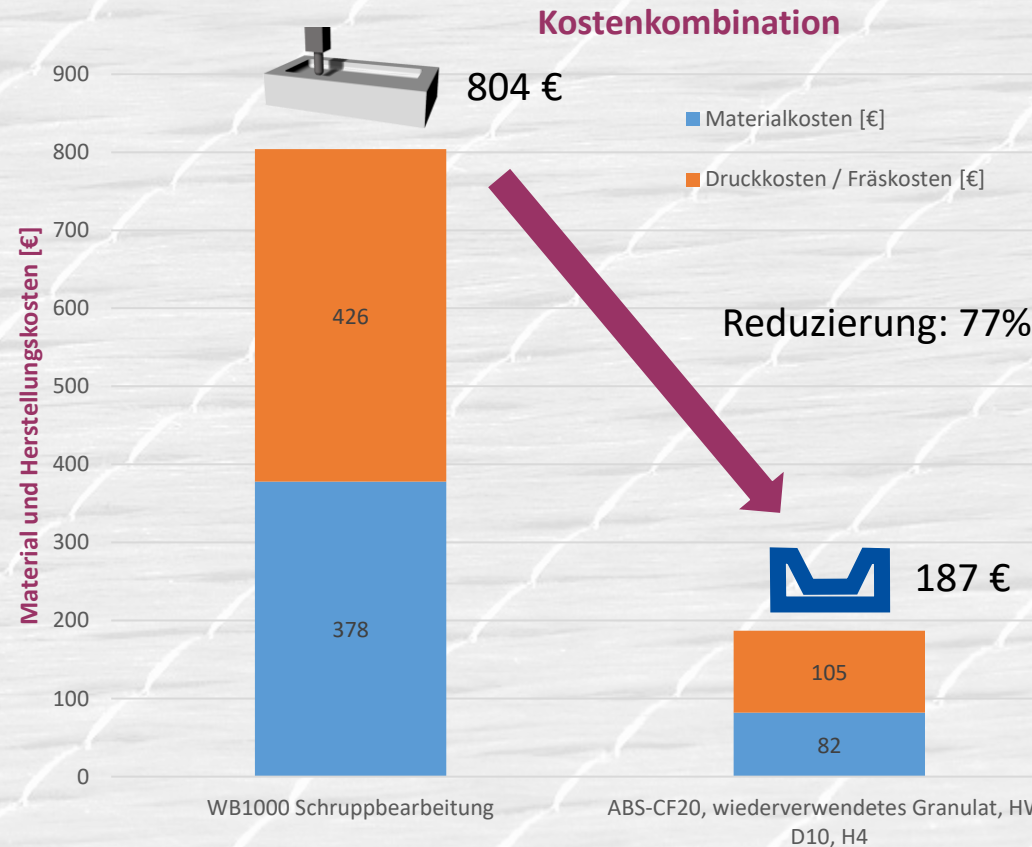


- Einflussfaktoren Kosten:
 - Druckstrategie
 - Düsendurchmesser
 - Extruder Ausstoß
 - Wiederverwendung von Granulat



Standard Formbau-PUR
WB 1000

Bearbeitetes Vollmaterial
Formmasse = 37,2 kg



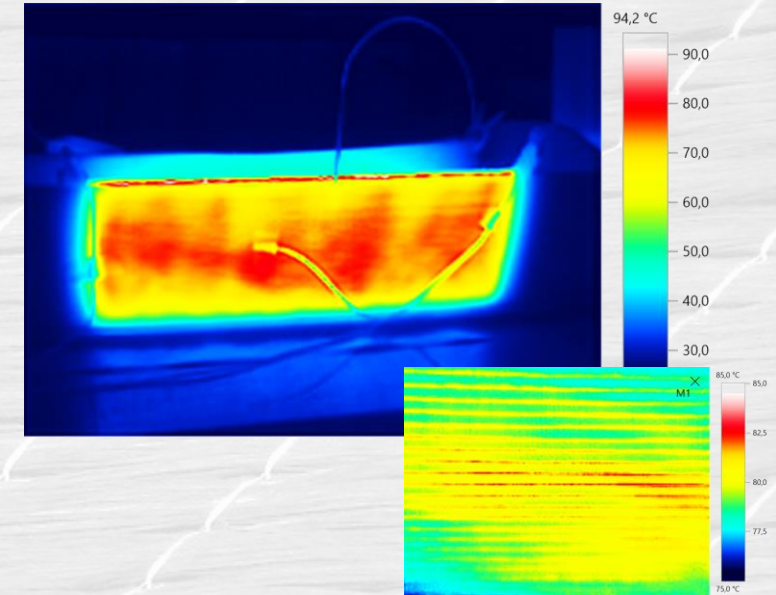
Extrudierte
Schalengeometrie
Formmasse = 15,01 kg

Aussichten und aktuelle Möglichkeiten

Was können wir für Sie leisten.



- Verarbeitung von **verschiedenen thermoplastischen Kunststoffen** mit Kurzfaserverstärkung bisher
 - LUVOTECH T88 (PC/ABS - GF)
 - LUVOCOM 9743 (PAHT - CF)
 - LUVOCOM 9700 (PET - CF)
 - **Anwenderspezifische Materialien** werden weiter erprobt und verifiziert
- **Endkonturnahe Erstellung** von Werkzeugformen oder Prototypen
- **Kontinuierliches Drucken** auf zwei Arbeitstischen, **ohne Abkühlzeiten und geringere Rüstzeiten**
- **Beheizen** von Formwerkzeugen für FKV-Bauteile **bis 100 °C**
- **Übertragen der Druckbahnen** zwischen beiden Anlagentypen (LSMA-Anlage ↔ Industrieroboter)
- **Fräsmodul für Oberflächenbearbeitung** erfolgt bis Februar 2022
- **Materialersparnis** durch weitere Anpassungen am Parameterraum





*Vielen Dank
für Ihre
Aufmerksamkeit*

Stefan Losansky

Projektleiter Fachgebiet Engineering
Arbeitsbereich Bahn
03562 / 9814 - 531
s.losansky@smt-forst.de

Prof. Dr.-Ing. Holger Seidlitz

Lehrstuhlleitung
Fachgebiet Polymerbasierter Leichtbau
0355 / 69 5001
fg-leichtbau@b-tu.de



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

