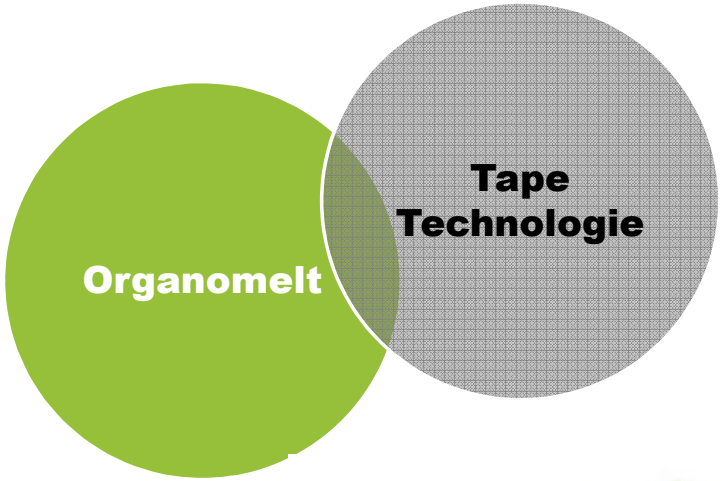
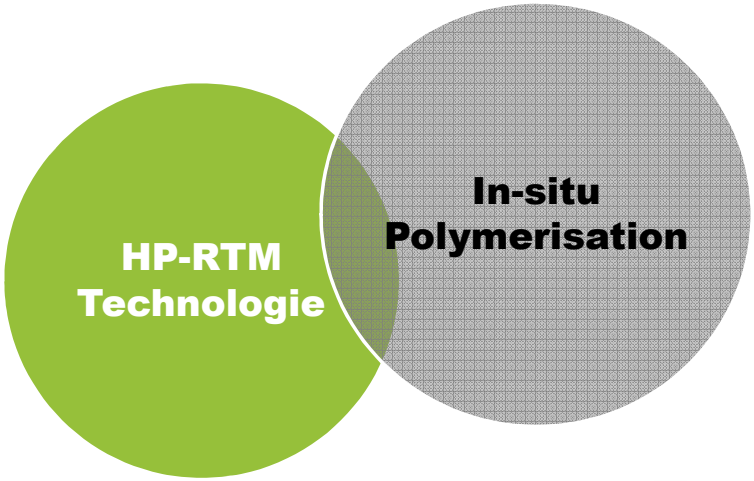
In-situ Technologie

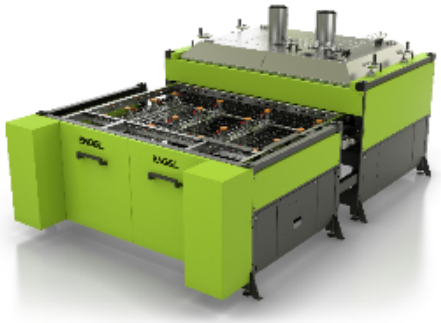
Verfahrenstechnik für die Herstellung thermoplastischer Faserverbundbauteile

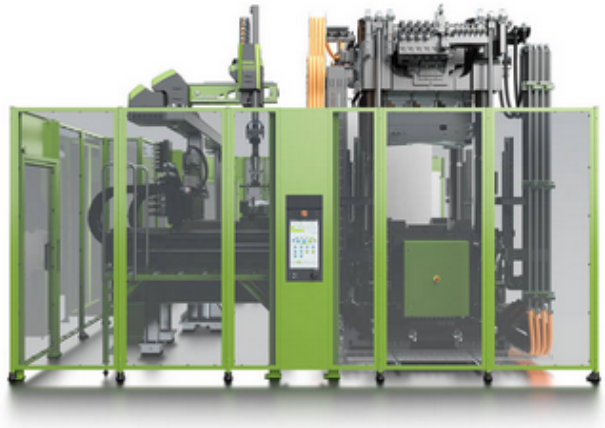
Dr. Lorenz Reith
Center for Lightweight Composite Technologies

Center for Lightweight Composite Technologies





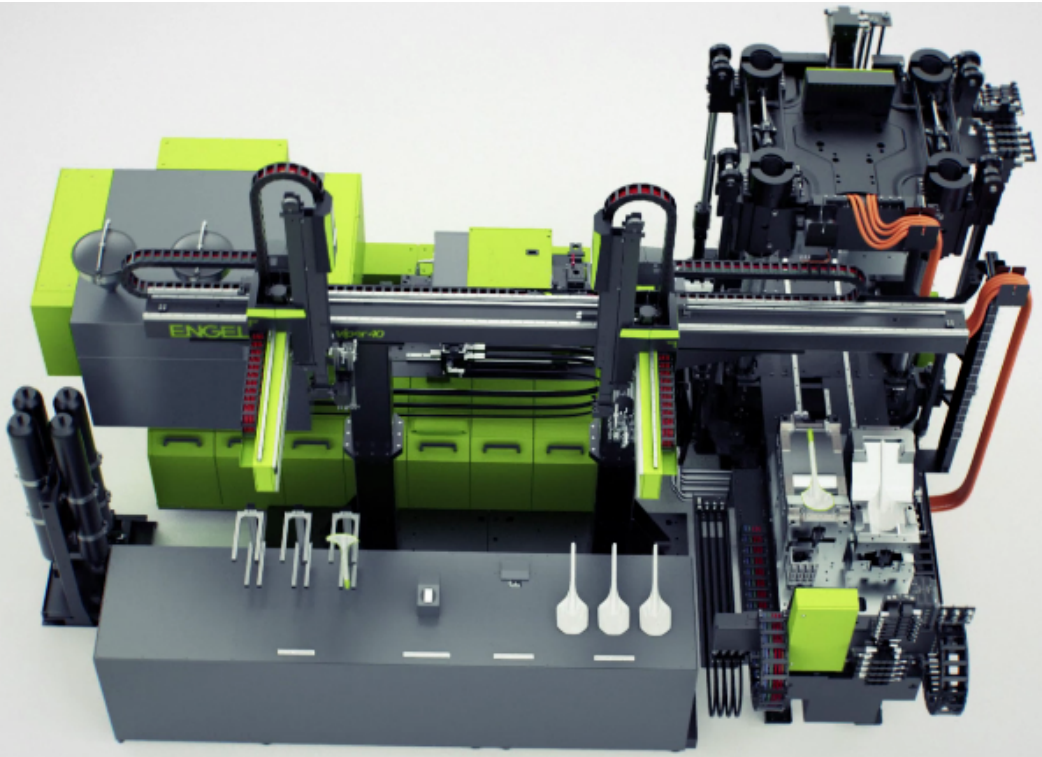




In-situ Technologie

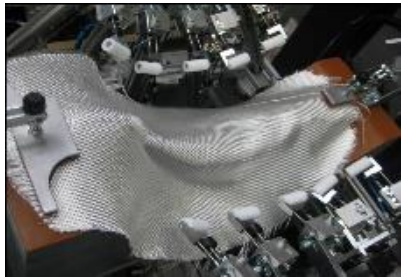
Verfahrenstechnik für die Herstellung thermoplastischer Faserverbundbauteile

- **Einleitung**
  Herstellung thermoplastischer FKV-Bauteile durch In-situ Polymerisation
- **Verarbeitung von ε-Caprolactam**
  Anionische Polymerisation
- **In-situ Verarbeitung**
  Anlagen, Prozess- und Werkzeugtechnik
- **Anwendungsbeispiel**
  K2016: Leichtbauschaufel
- **Zusammenfassung**

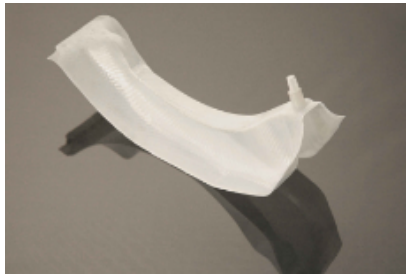


In-situ Verarbeitung von Caprolactam

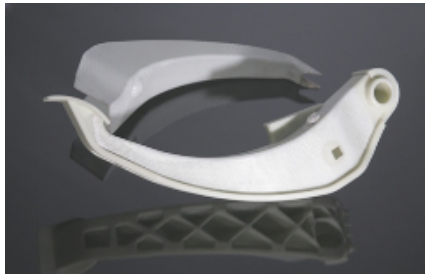
Thermoplastische Composites mittels reaktiver Verarbeitung



Preforming



In-situ Verfahren

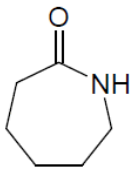


Spritzgießen

Reaktivverfahren zur Imprägnierung textiler Halbzeuge

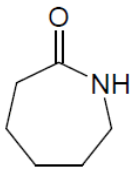
- Ausgezeichnete Faserimprägnierung
- Thermoplastische Matrix
- Anwendbarkeit für komplexe Geometrien
- Optimierte Faserausrichtung möglich

Anionische Polymerisation von ε-Caprolactam



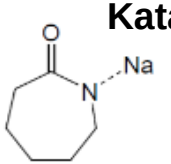
ε-Caprolactam

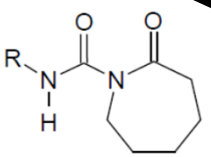
Anionische Polymerisation von ε-Caprolactam



ε-Caprolactam

Katalysator

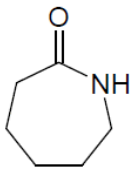




Aktivator

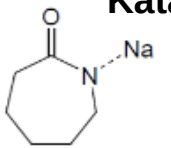
Reaktives 2-Komponenten System

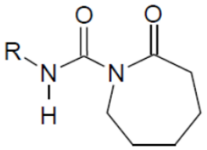
Anionische Polymerisation von ε-Caprolactam



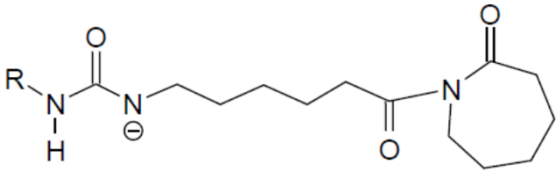
ε-Caprolactam

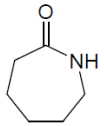
Katalysator

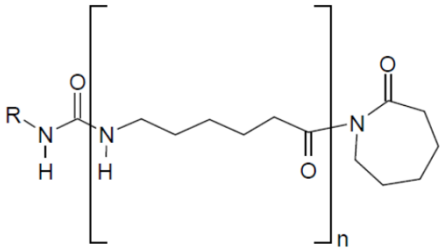




Aktivator







Polyamid 6

Temperatur	**T= 140 – 160 ℃**
Druck	**P= 1 – 120 bar**
Reaktionszeit	t= 2 - 5 min
Reaktion	ΔH_R= -166 J/g
Kristallisation	ΔH_C= -144 J/g

Verarbeitungseigenschaften von ε-Caprolactam

- 70℃ Schmelzpunkt
- Sehr niedrige Viskosität in der Schmelze (5-10 mPas)

- Als Feststoff (Granulat, Schuppen) verfügbar
- Direkt einsetzbare 2K-Fertigmischungen (“cast ready”) mit Additiven zur Polymerisation
- Aktivator und Katalysator mit nahezu identischen Verarbeitungseigenschaften

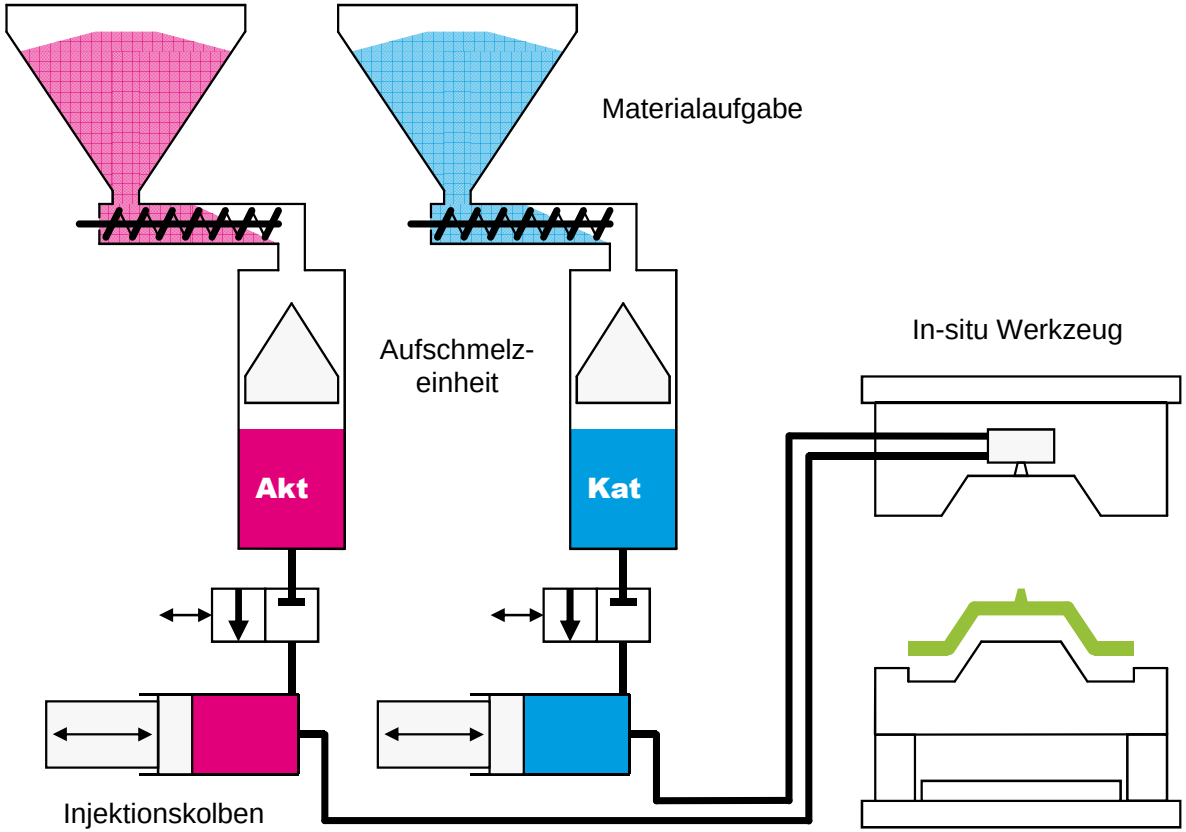
→ **Bedarf an eine maßgeschneiderte Anlagentechnik!**

Anlagentechnik zur Caprolactam-Verarbeitung

Anlagentechnik

- Getrennter Aufschmelz- und Injektionsprozess
- Aktive Feststoffförderung der Komponenten
- Bedarfsgerechtes Aufschmelzen der Komponenten (Material für 1-3 Zyklen wird vorgehalten)

- Injektion durch präzise servo-elektrisch angetriebene Injektionskolben
- Keine Rezirkulation
- Vermischung in werkzeugintegriertem Mischsystem

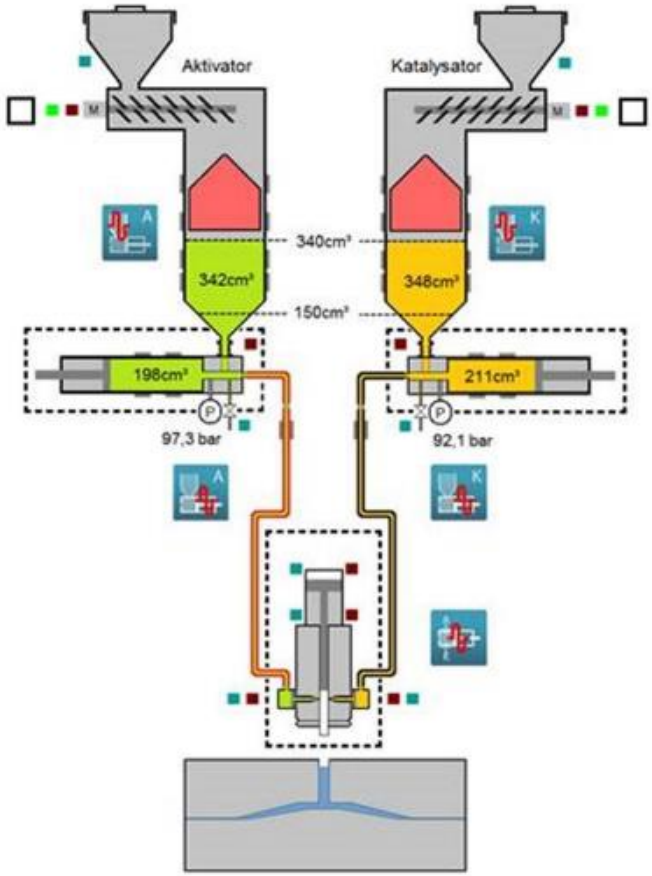


Anlagentechnik zur Caprolactam-Verarbeitung

Anlagentechnik

- 50 – 1500 cm^3 Injektionsvolumen pro Zyklus
- Bis zu 200 bar Injektionsdruck
- Zusätzlicher Druckaufbau in der Form durch Kompressionshub

- Reaktivaggregat vollständig in die ENGEL CC300 Maschinensteuerung integriert



Werkzeugtechnik für die In-situ Technologie

Herausforderungen

- Niedrige Viskosität des Reaktivsystems
- Hohe Werkzeugtemperaturen (140 – 160°C)

Anforderungen

- Sehr homogene Werkzeugtemperierung
- Bewegliche Werkzeugelemente
  (Auswerfer, Evakuierungsbausteine, Schieber)
- Zusätzlicher Kompressionshub zur Schwindungskompensation
- Beständigkeit d. Werkstoffe gegenüber Caprolactam
- Homogene Formfüllung
- Mischen der Reaktivkomponenten im Werkzeug

SCHÖFER
CREATIVE MOULDING SOLUTIONS

ENGEL

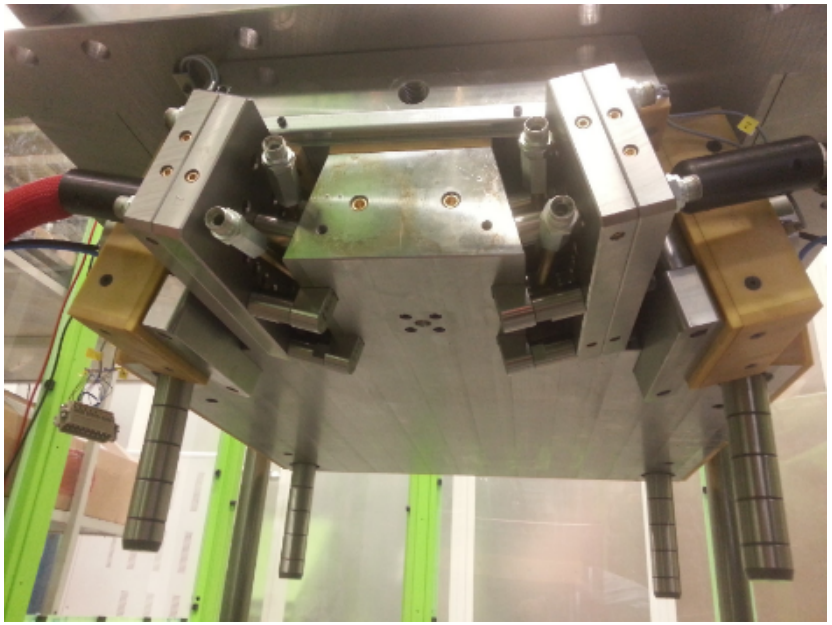
Werkzeugtechnik für die In-situ Technologie

Herausforderungen

- Niedrige Viskosität des Reaktivsystems
- Hohe Werkzeugtemperaturen (140 – 160°C)

Anforderungen

- Sehr Homogene Werkzeugtemperierung
- beweglicher Werkzeugelemente
  (Auswerfer, Evakuierungsbausteine, Schieber)
- Zusätzlicher Kompressionshub zur Schwindungskompensation
- Beständigkeit d. Werkstoffe gegenüber Caprolactam
- Homogene Formfüllung
- **Mischen der Reaktivkomponenten im Werkzeug**

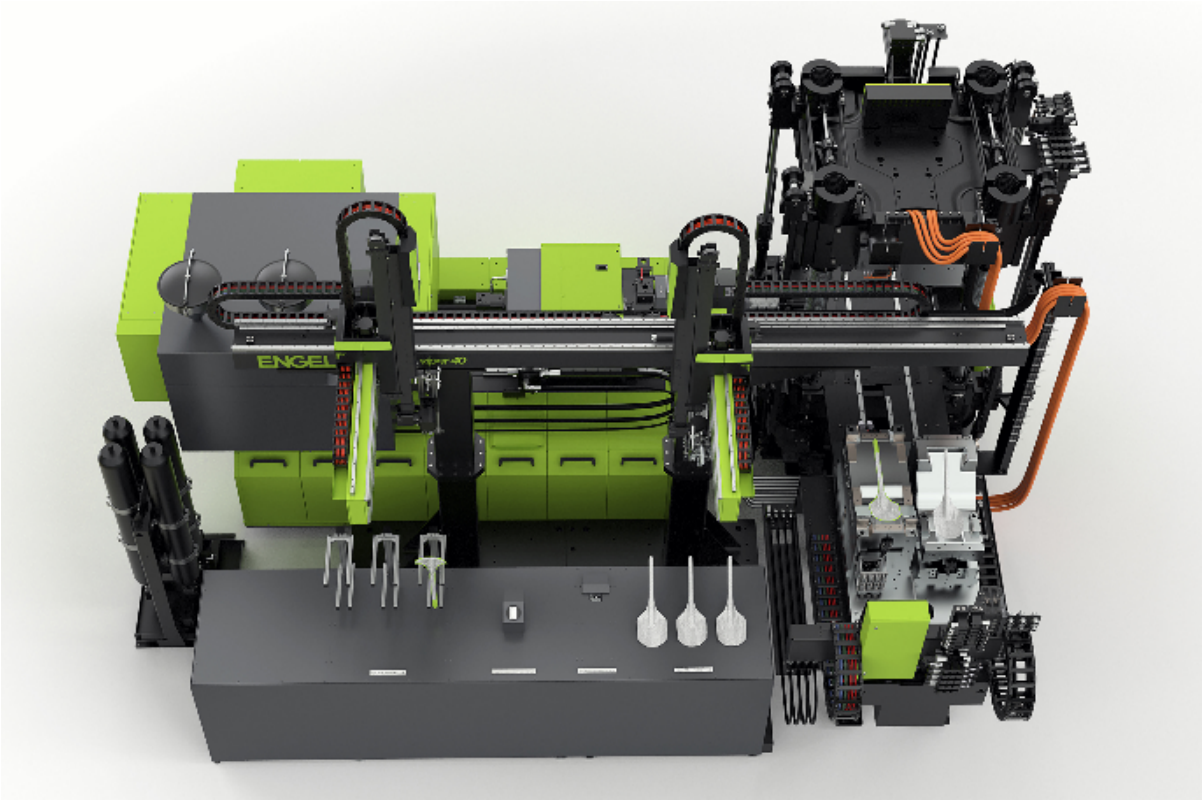


SCHÖFER
CREATIVE MOULDING SOLUTIONS

ENGEL

Leichtbauschaufel – K2016

Fertigungszelle für die In-situ Verarbeitung



SCHÖFER
CREATIVE MOULDING SOLUTIONS

JKU
JOHANNES KEPLER
UNIVERSITÄT LINZ

formquadrat
innovativ design services

ENGEL

Leichtbauschaufel – K2016

Demonstratorbauteil

SCHÖFER CREATIVE MOULDING SOLUTIONS

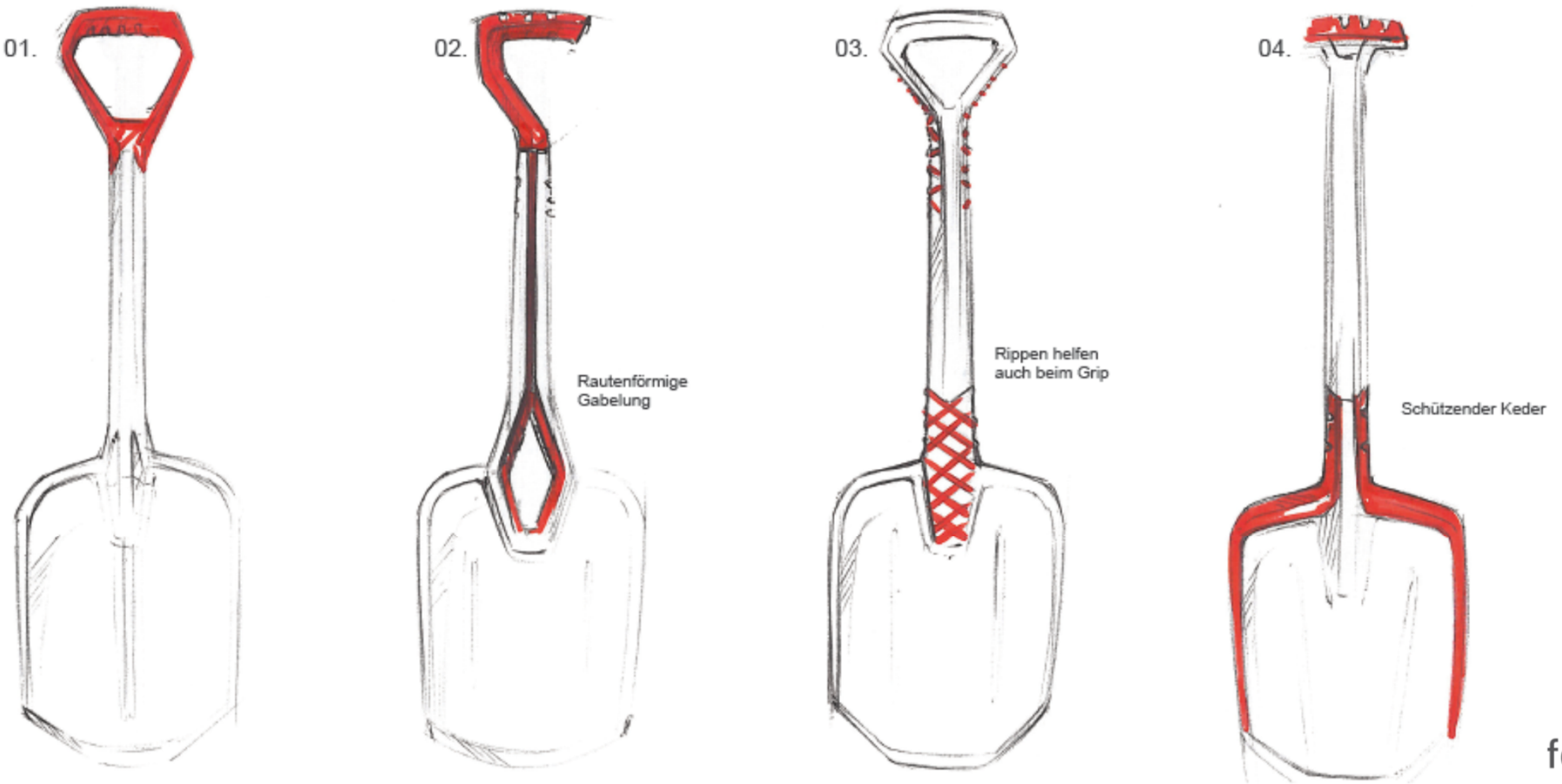
JKU JOHANNES KEPLER UNIVERSITÄT LINZ

formquadrat innovativ design services

ENGEL

Leichtbauschaufel – K2016

Bauteildesign - Konzeptstudie



formquadrat
innovativ design services

Leichtbauschaufel – K2016

Bauteildesign

Anforderungen

- Design
- Ergonomie
- Fertigungsgerechtes Design
- Gewicht unter 0,5 kg

- Drapierbarkeit
- Realisierbare Umformgrade
- Kantenabschluss und Funktionalisierung durch 2K-Prozess
- **nachbearbeitungsfrei**

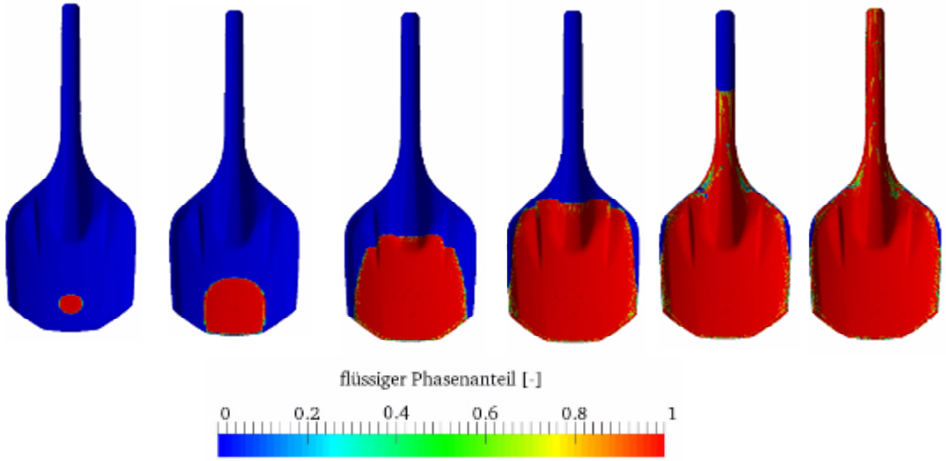
SCHÖFER CREATIVE MOULDING SOLUTIONS

formquadrat innovativ design services

ENGEL

Leichtbauschaufel – K2016

Bauteilentwicklung Simulation



CFD-Füllsimulation mit OpenFoam:

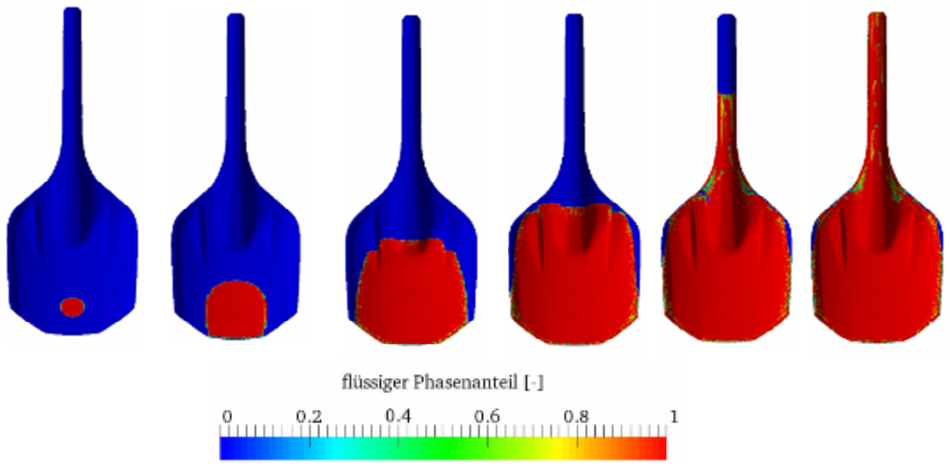
- FVG: 50%
- Viskosität:10 mPas
- Volumenstrom: 15 cm^3/s
- Medientemperatur: 120℃
- Werkzeugtemperatur: 160℃

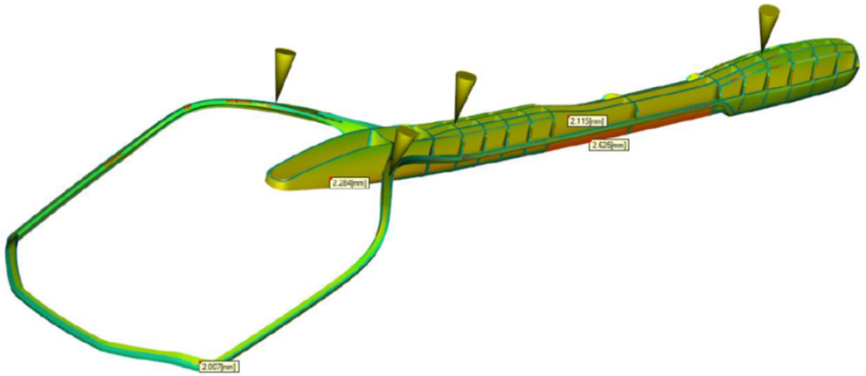
Institute of Polymer Injection Moulding and Process Automation

JOHANNES KEPLER UNIVERSITÄT LINZ

Leichtbauschaufel – K2016

Bauteilentwicklung Simulation





Moldflow Analyse für den Spritzgieß-Prozess

Institute of Polymer Injection Moulding and Process Automation

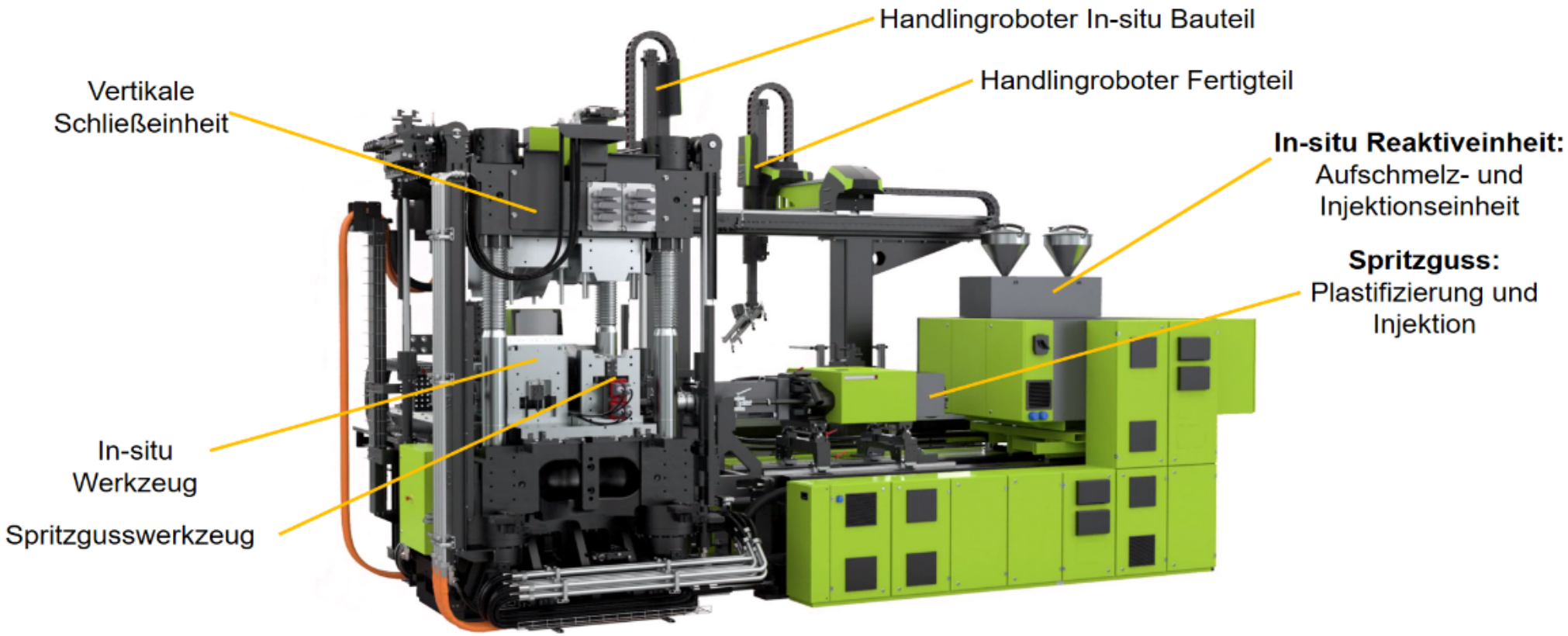
JOHANNES KEPLER UNIVERSITÄT LINZ

LANXESS

ENGEL

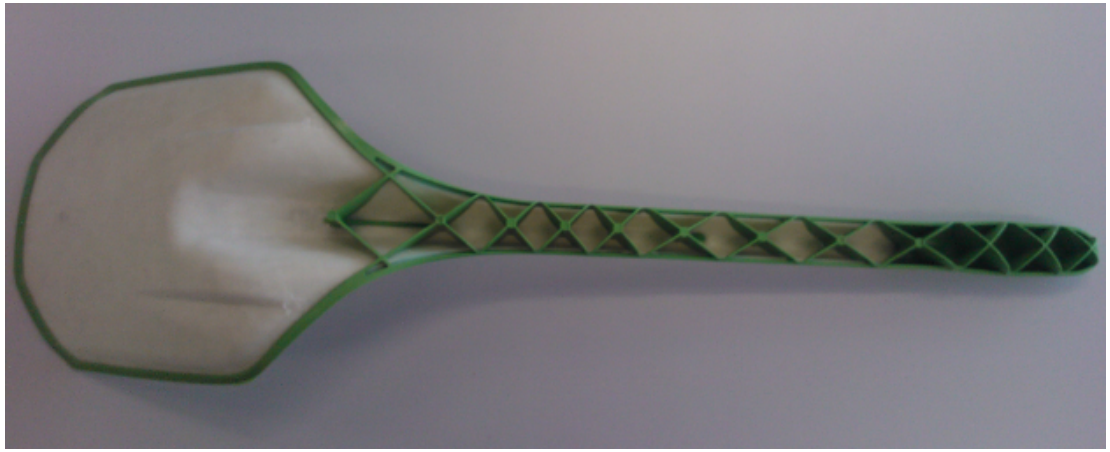
Produktionszelle für die In-situ Fertigung

Zwei Werkzeuge in einer Schließeinheit



Leichtbauschaufel – K2016

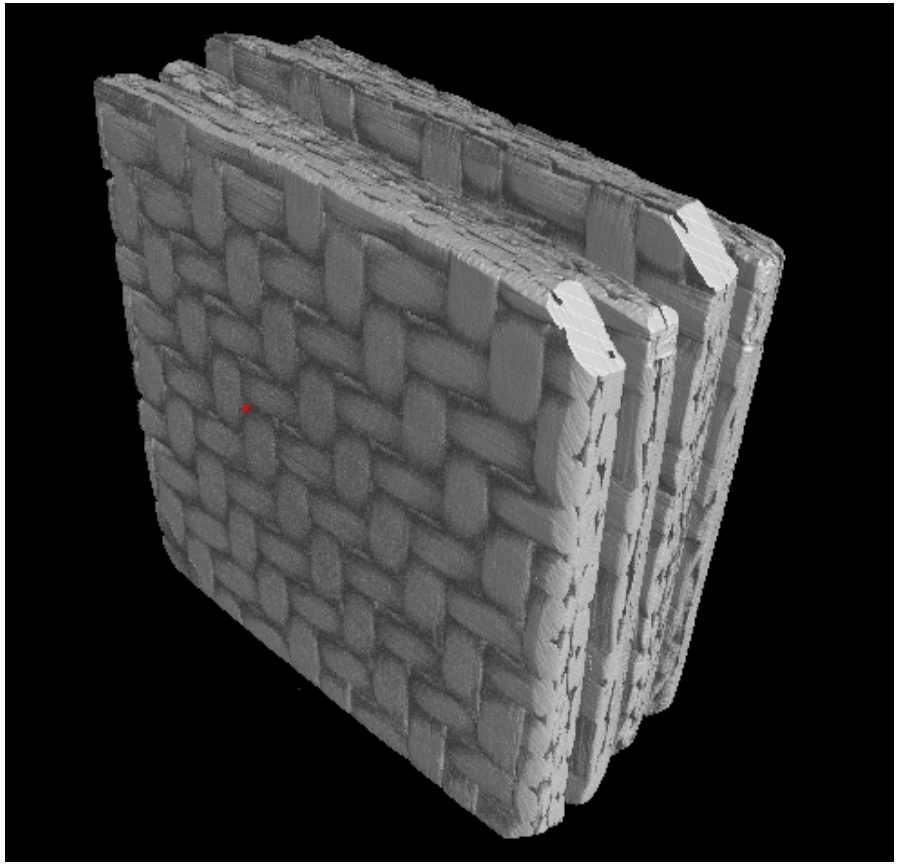
Thermoplastische Faserverbundbauteile



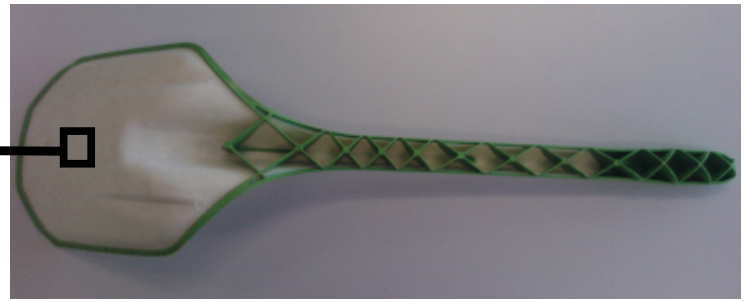
Welche Vorteile bietet der Einsatz der In-situ Polymerisation?

Leichtbauschaufel – K2016

Thermoplastische Faserverbundbauteile



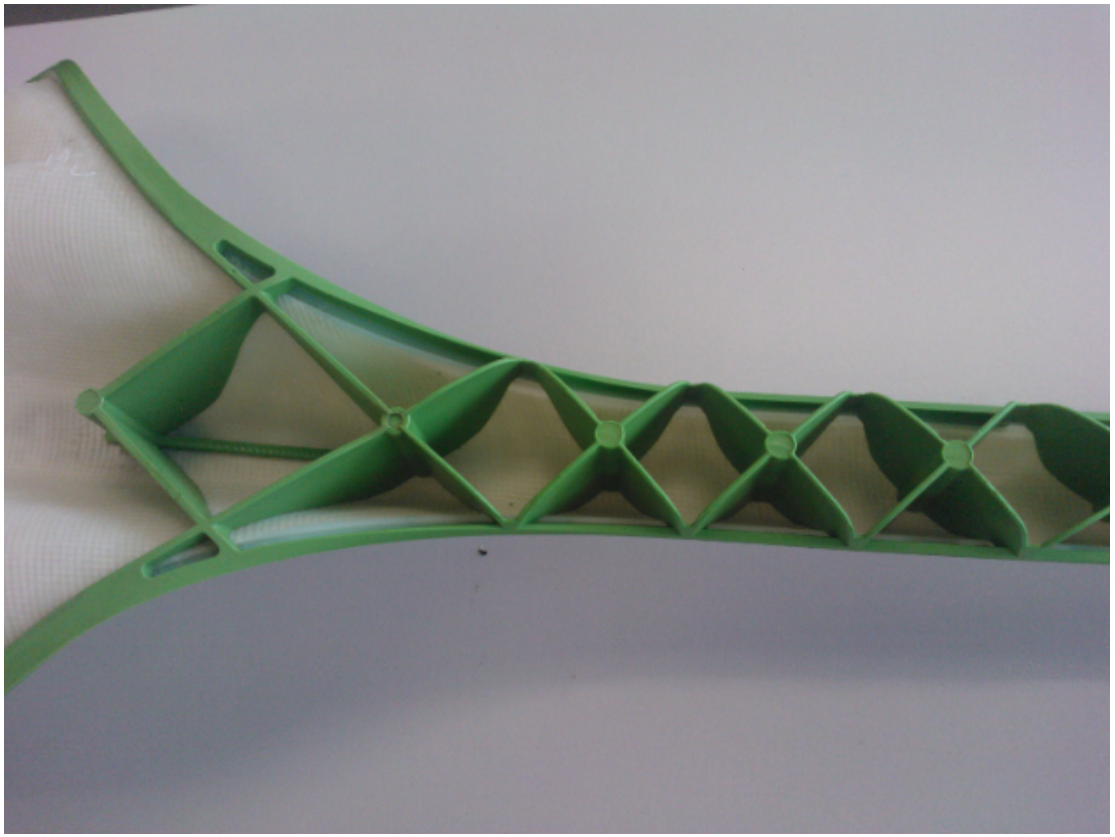
100 µm

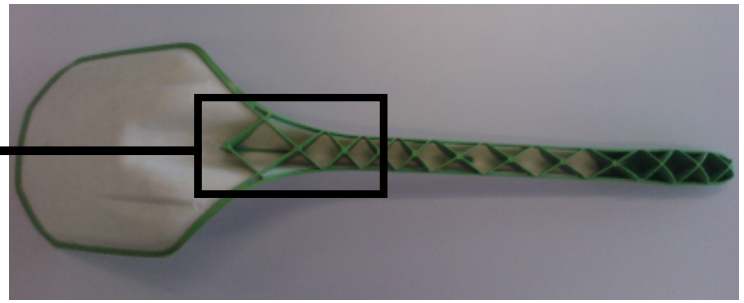


porenfrei

Leichtbauschaufel – K2016

Thermoplastische Faserverbundbauteile

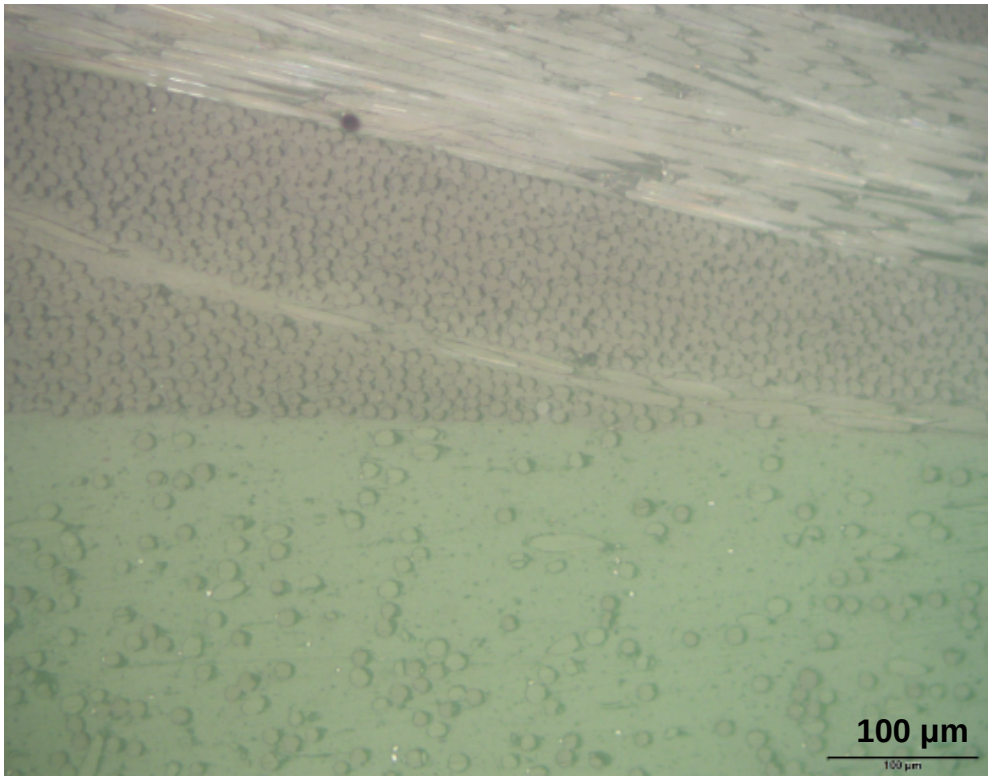




Funktionalisierung

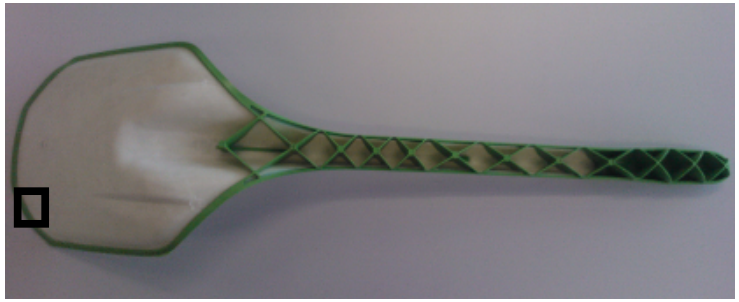
Leichtbauschaufel – K2016

Thermoplastische Faserverbundbauteile



Reaktivteil

Spritzguss



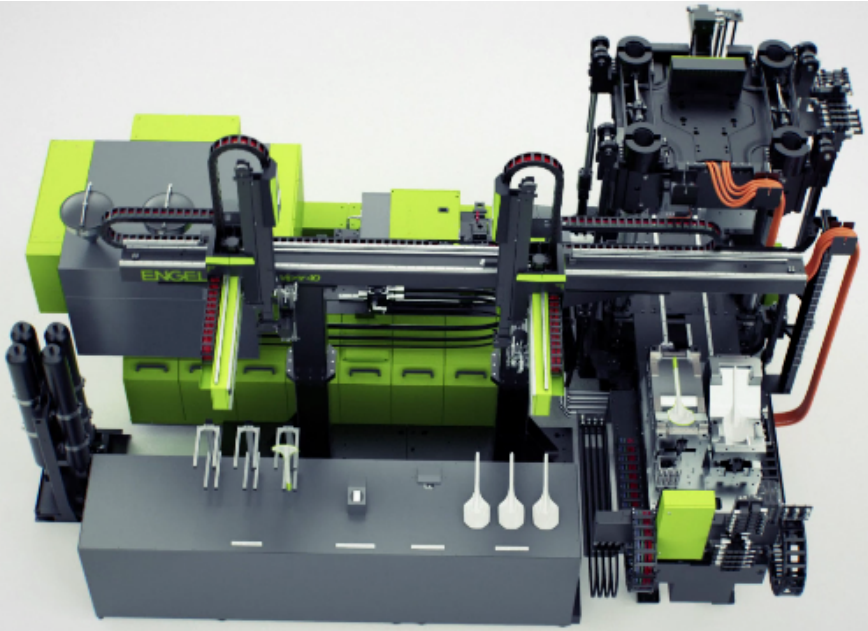
Haftverbund

In-situ Technologie

Verfahrenstechnik für die Herstellung thermoplastischer Faserverbundbauteile

Zusammenfassung

- Anionische Polymerisation von Caprolactam
- In-situ Verarbeitung
  - Anlagen- und Prozesstechnik
  - Werkzeugtechnik
- Serienreifer 2K-Prozess und nachbearbeitungsfreies Bauteil wurden realisiert
- Weiterentwicklung
  - Vergussmassen, Dünnwandtechnik,...



Laboratory Equipment

Center for Lightweight Composite Technologies

Laboratory machine, ENGEL v-duo 3550/1700

in situ reactive unit
processing machine for caprolactam

ENGEL v-duo 3550/1700
Clamping force 17,000 kN
max. clamping surface 1,750 x 2,170 mm
incl. injection unit
incl. articulated-arm robot (7 axes)

ENGEL v-duo 1560/700
Clamping force 7,000 kN
max. clamping surface 1,000 x 1,440 mm
incl. injection unit
incl. articulated-arm robot (6 axes)

Danke für Ihre Aufmerksamkeit

ENGEL AUSTRIA GmbH
Center for Lightweight Composite Technologies

Dr. Lorenz Reith

Tel. +43 50 620 4685
Lorenz.Reith@engel.at