4a Technologietag 2019 in Schladming

STEIGERUNG DER SCHLAGZÄHIGKEIT VON COMPOSITES DURCH DEN EINSATZ VON POLYURETHAN ALS MATRIXWERKSTOFF

iwk INSTITUT FÜR WERKSTOFFTECHNIK UND KUNSTSTOFFVERARBEITUNG

Prof. Dr. Gion A. Barandun, Dipl. Ing. (FH) Dominik Stapf

Faserverbundtechnik und Leichtbau

26./27. Februar 2019

HSR HOCHSCHULE FÜR TECHNIK RAPPERSWIL

FHO Fachhochschule Ostschweiz

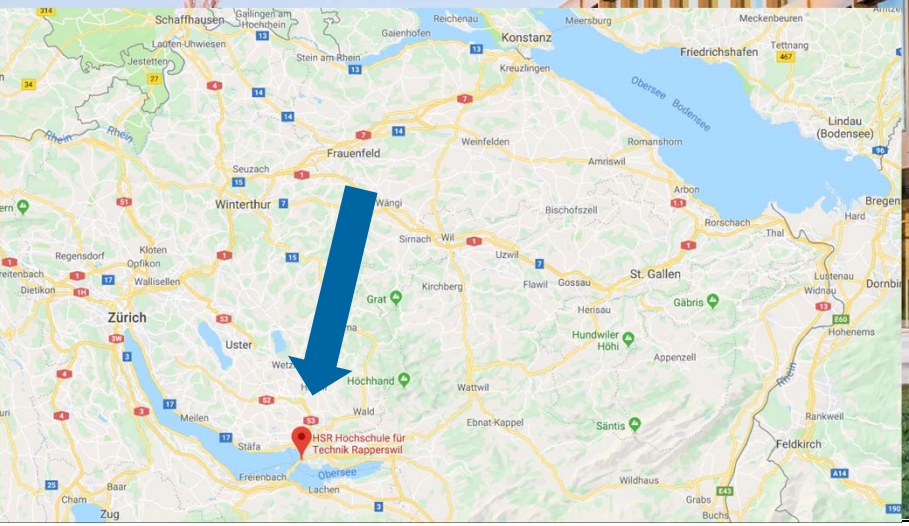
Inhalte

- **Vorstellung HSR / IWK**
- **Überblick Forschungsprojekt „PRISCA“**
- **Polyurethan statt Epoxy?**
- **Anwendung**
- **Prozessentwicklung**
- **Materialcharakterisierung**
- **Impact-Eigenschaften**
- **Schlussfolgerungen und Ausblick**

HSR: die Fachhochschule direkt am See...

- **8 Bachelor / 1 Master**
- **1600 Studierende**
- **70 Professoren / 200 Dozierende**
- **640 Mitarbeitende**

- **16 Institute**
- **Gründung 1972**
- **Trägerkantone St. Gallen, Schwyz, Glarus**



IWK: Bearbeitung von Innovationsfeldern in sechs Fachbereichen

Prof. M. Henne:
Fachbereich
Mechanik/Kinematik
(2005)

Prof. G. Barandun:
Fachbereich
Composites/Leichtbau
(2015)

Prof. F. Ehrig
Fachbereich
Spritzgiessen/PUR
(2005)

Prof. P. Jousset
Fachbereich
Verbindungstechnik (2015)

Innovationsfelder

Leichtbau/FVK

Simulation

Hybridtechnik

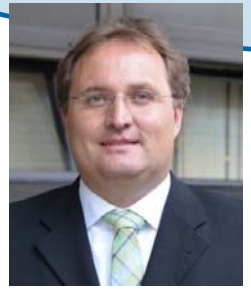
Funktions- und
Prozessintegration

3D-Printing

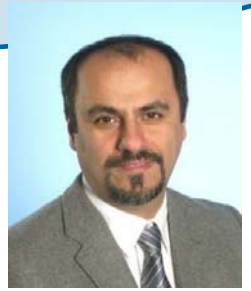
Grenz- und Oberflächen

Polymerengineering

Biobasierte
Kunststoffe



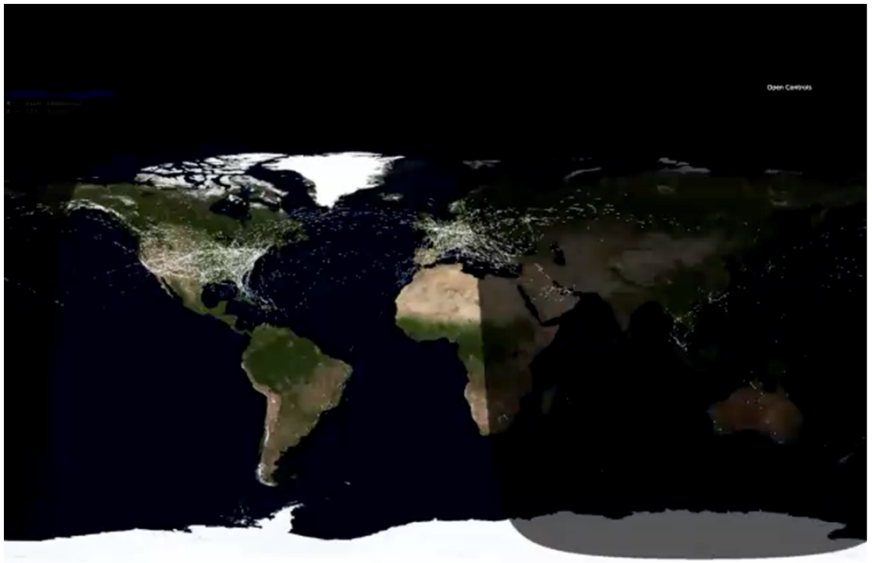
Prof. D. Schwendemann
Fachbereich Extrusion/
Compoundieren (2010)



Prof. M. Rabiey
Fachbereich Fertigungstechnik
Metall (2016)

Einführung: Composites in der Luftfahrt

- **Dank der spezifischen Materialeigenschaften sind Composites „Standard“ in der Luftfahrt**
- **Anforderungen an Effizienz, Kosten und Ressourcenschonung vor dem Hintergrund zunehmender Flugbewegungen stellen immer neue Herausforderungen**
- **Trend zu grösseren (effizienteren) Triebwerken:**
  - Leichtbau noch wichtiger (Kompensation Masse der verstärkten Flügel, somit weniger Treibstoff)
  - Höhere Material- und Prozesskosten durch grössere Komponenten
- **Neue Materialien (z.B. Thermoplaste, PU, ...) können Lösungen liefern**
- **Neue Materialien müssen den Nachweis erbringen, dass sie allen Anforderungen genügen**



Quellen: ZHAW & A. Offringa, Fokker

Boeing 737 und 777

Einführung: Projektkontext

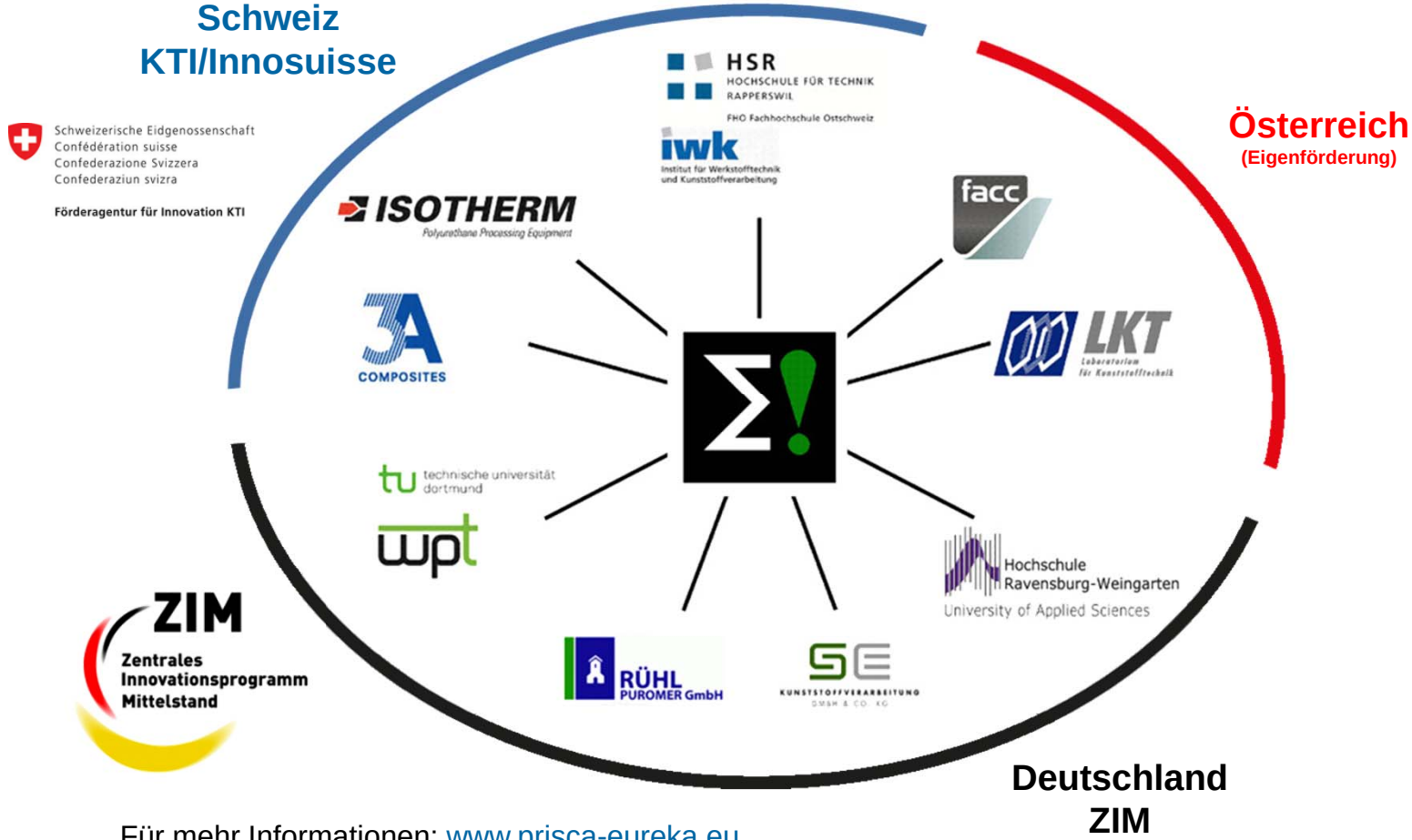
PRISCA-Projekt

- PRISCA: Polyurethane Resin Injection for Structural Composite Applications
- EUREKA-Projekt mit Partnern aus D, A, CH
- Entwicklung von Technologien zur Herstellung von faserverstärkten Komponenten mit Polyurethan als Matrix
- Monolithische Bauweisen oder Sandwich-Komponenten
- Vorteile bei Abrasion, Impact, Verarbeitung, Zykluszeit, Kosten

Nose cone

- Nose cone: Vorderste Verkleidung der Nabe bei Flugzeugtriebwerken
- Hauptsächlich abrasive Beanspruchung, ggf. Impact
- Rotierendes Bauteil → Leichtbau
- Aktuell sehr teuer in der Herstellung (PrePreg-Autoklav, Zykluszeiten)

Projektpartner - EUREKA



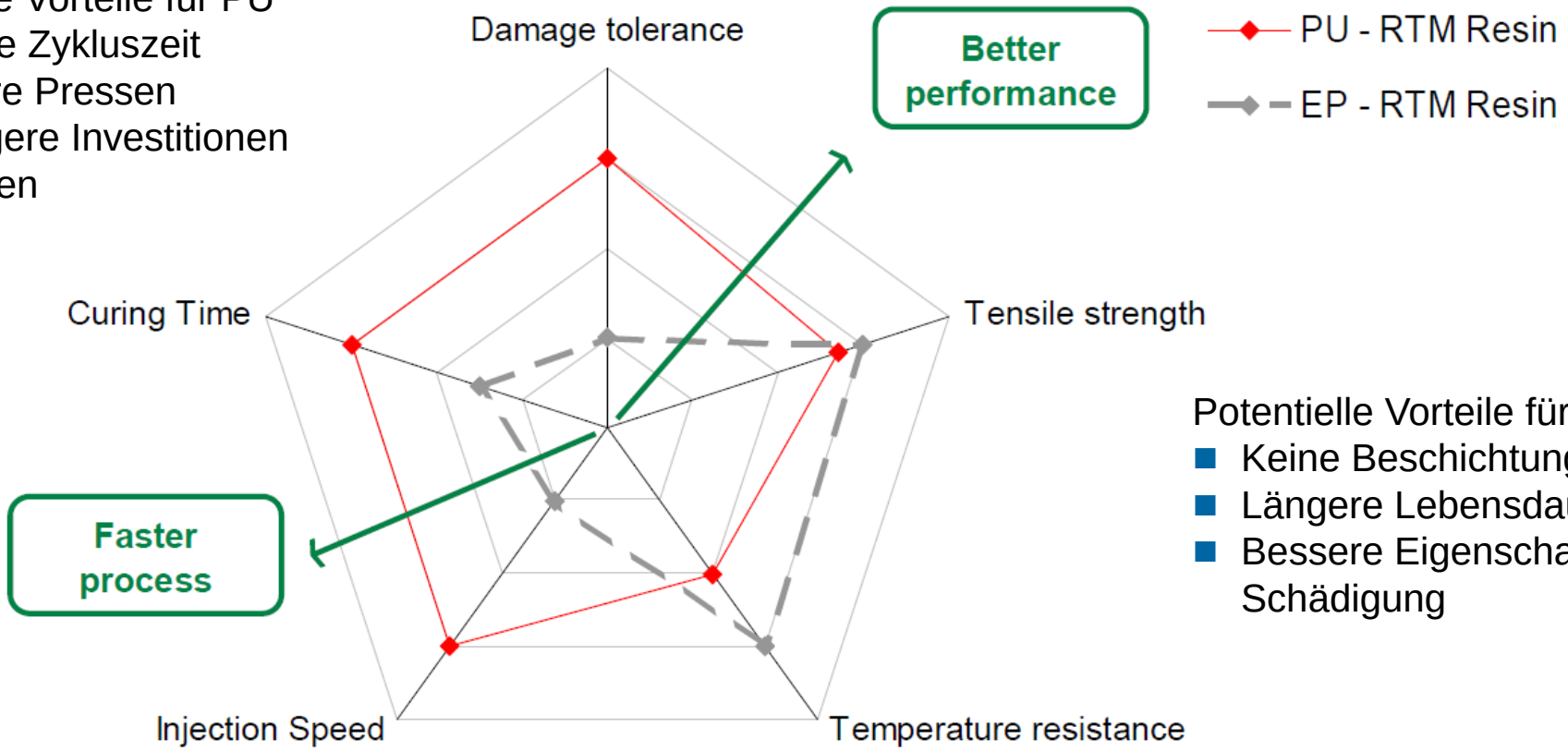
Für mehr Informationen: www.prisca-eureka.eu

Vorteile

- **Bekannte, nationale Förderprogramme kommen zum Tragen**
- **Vergleichsweise geringer administrativer Aufwand**
- **Überschaubare Projektgrössen**
- **Komplementäre Partner**
- **Kurze Wege**
- **Global denken, lokal handeln...**

Polyurethan statt Epoxy – warum?

Potentielle Vorteile für PU
- Kürzere Zykluszeit
- Kleinere Pressen
- Niedrigere Investitionen & Kosten



Potentielle Vorteile für PU
- Keine Beschichtung notwendig
- Längere Lebensdauer
- Bessere Eigenschaften nach Schädigung

Quelle: Henkel

Polyurethan statt Epoxy – warum?

Bisher → Innovation PU-RTM → **Neu**

- Produktion des nose cones im Prepreg-Autoklavenprozess
  - Bewährt, gute Bauteilqualität
  - Autoklav notwendig
  - Sehr aufwändig und teuer

Neuer Prozess →

- Produktion im HD-RTM-Verfahren
  - Gute Bauteilqualität bleibt
  - Kosteneffizient für angestrebte Stückzahlen
  - Kein Autoklav mehr notwendig

- Epoxid-basiert
  - Bekannt
  - Steif aber sehr spröd
  - Sehr teuer

Neues Material →

- Polyurethan als Matrix
  - Neu in der Luftfahrt
  - Duktiler als Epoxy
  - Einstellbar (Eigenschaften/Preis)

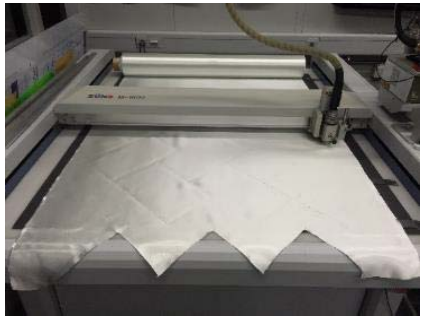
- Beschichtung notwendig
  - PU-coating/Lackierung
  - Sehr aufwändig

Integration →

- Beschichtung integrieren
  - PU ist kompatibel zu PU...
  - Neue Technologien bez. Coating

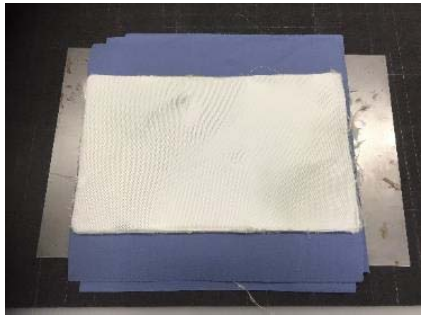
Prozessentwicklung (1): HP-RTM-Prozess

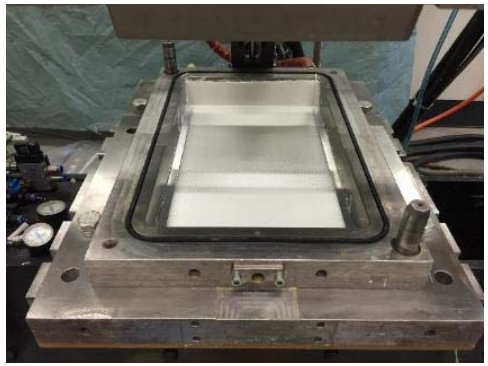
Faserzuschnitt



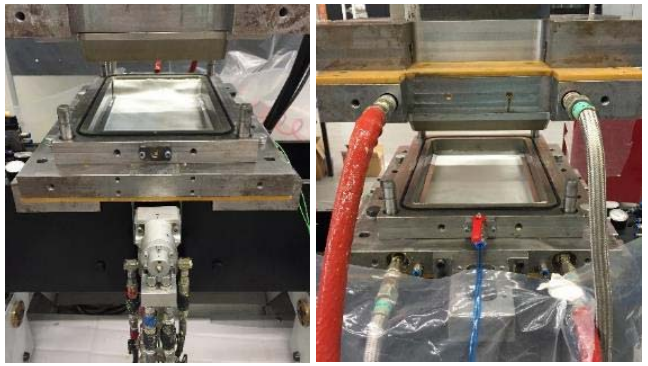
Lagenaufbau mit Klebespray oder Binder

Fertige Preform

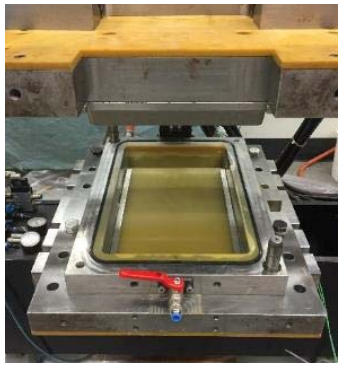




Einlegen und Klemmen



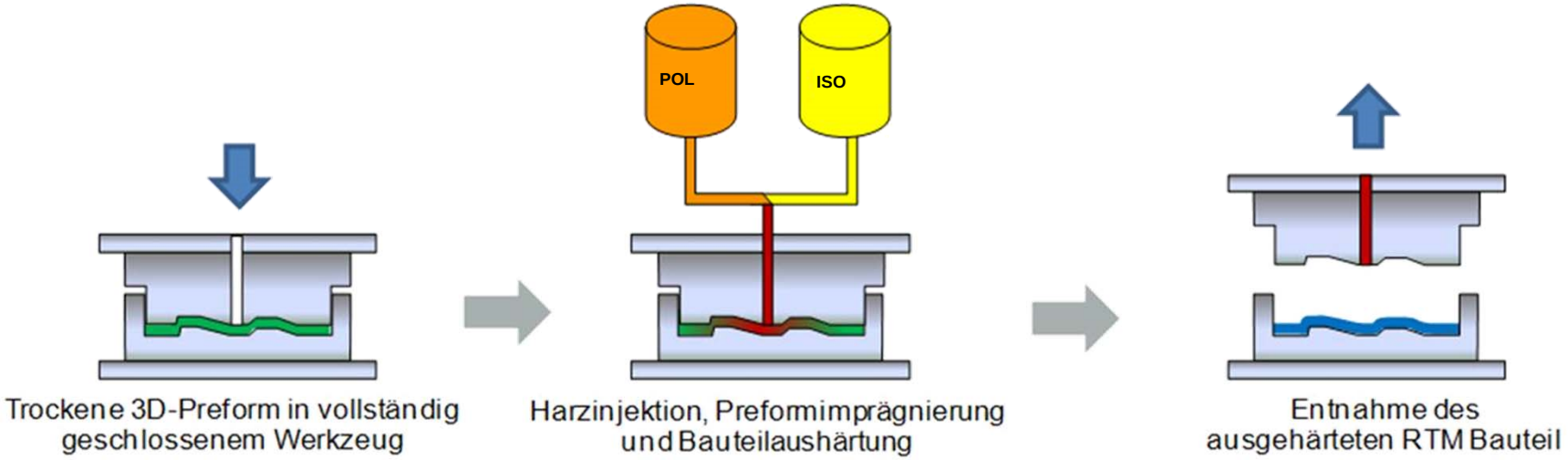
Out-of-plane Injektion mit Vakuum



Entformen

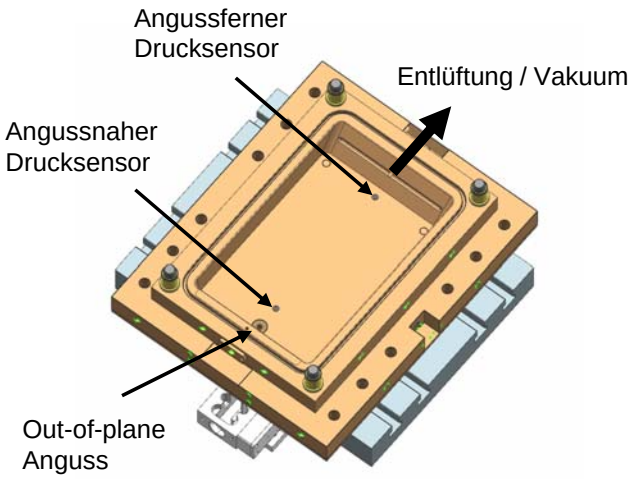
Prozessentwicklung (2): HP-RTM-Prozess

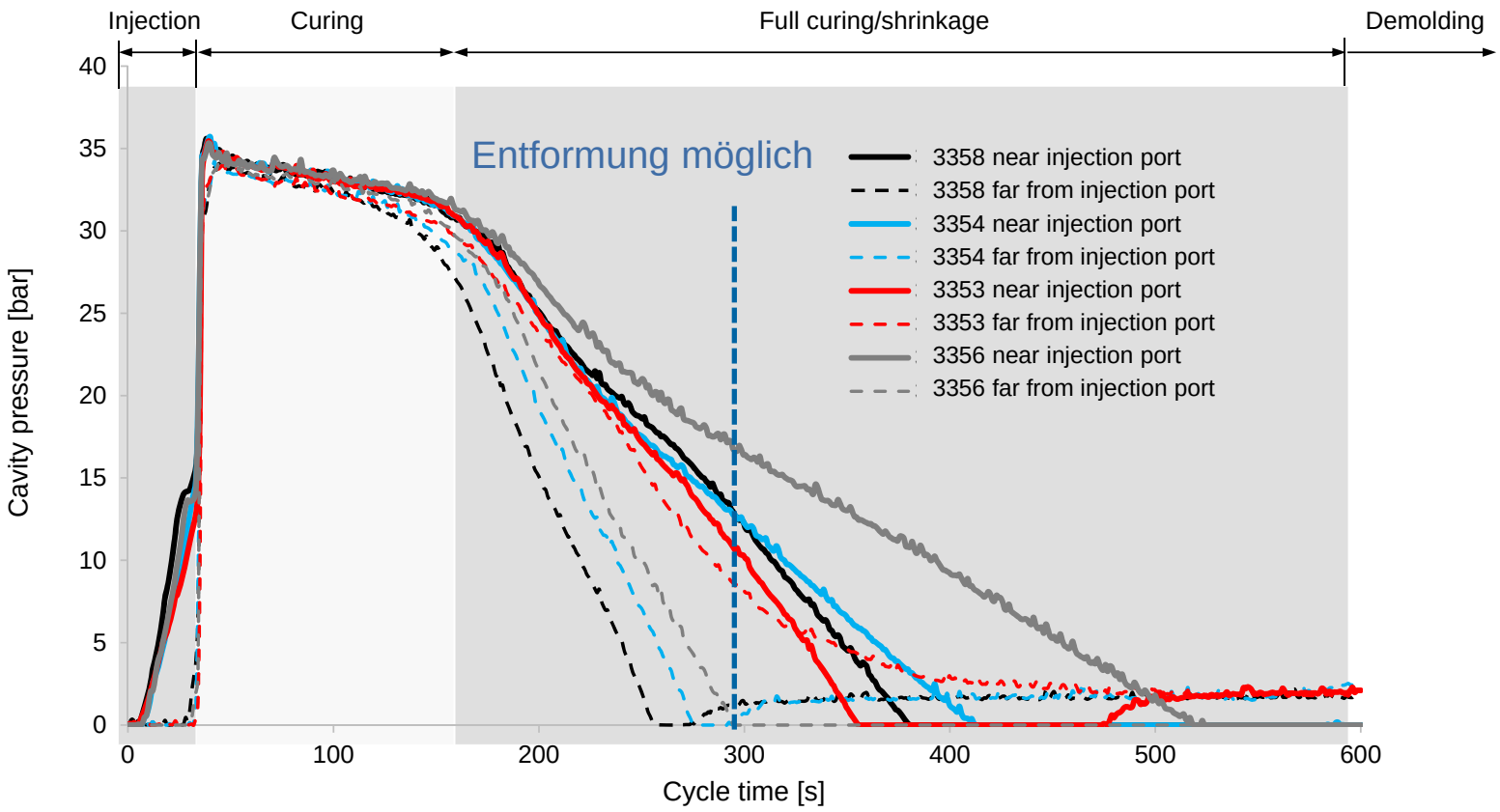
- **Das trockene Preform wird ins Unterwerkzeug platziert. Das Werkzeug wird anschliessend vollständig geschlossen. Die Kavitätshöhe entspricht der endgültigen Bauteildicke.**
- **POL- und ISO Komponenten werden im Hochdruck-Mischkopf gemischt. Dieser ist direkt mit dem Anguss verbunden (Mischdruck 100-200bar).**
- **Der Kavitätsdruck (30-80bar) steigt kontinuierlich aufgrund der Benetzung des Halbzeugs mit Harz.**



Quelle: ICT Frauenhofer

Prozessentwicklung (3): Prozessverlauf



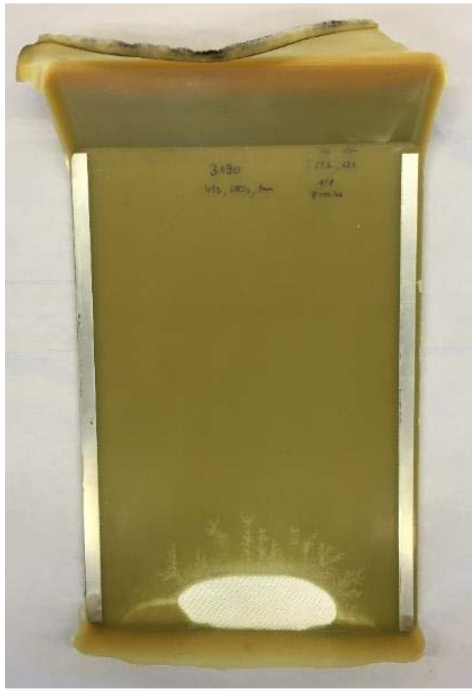


Prozessentwicklung (4): Optimierung

In-plane HP-RTM

- Faserklemmung mit Elastomer
- In-plane Injektion

In-plane HP-RTM



- Faserklemmung mit metallischen Inserts
- In-plane Injektion

VA-HP-RTM

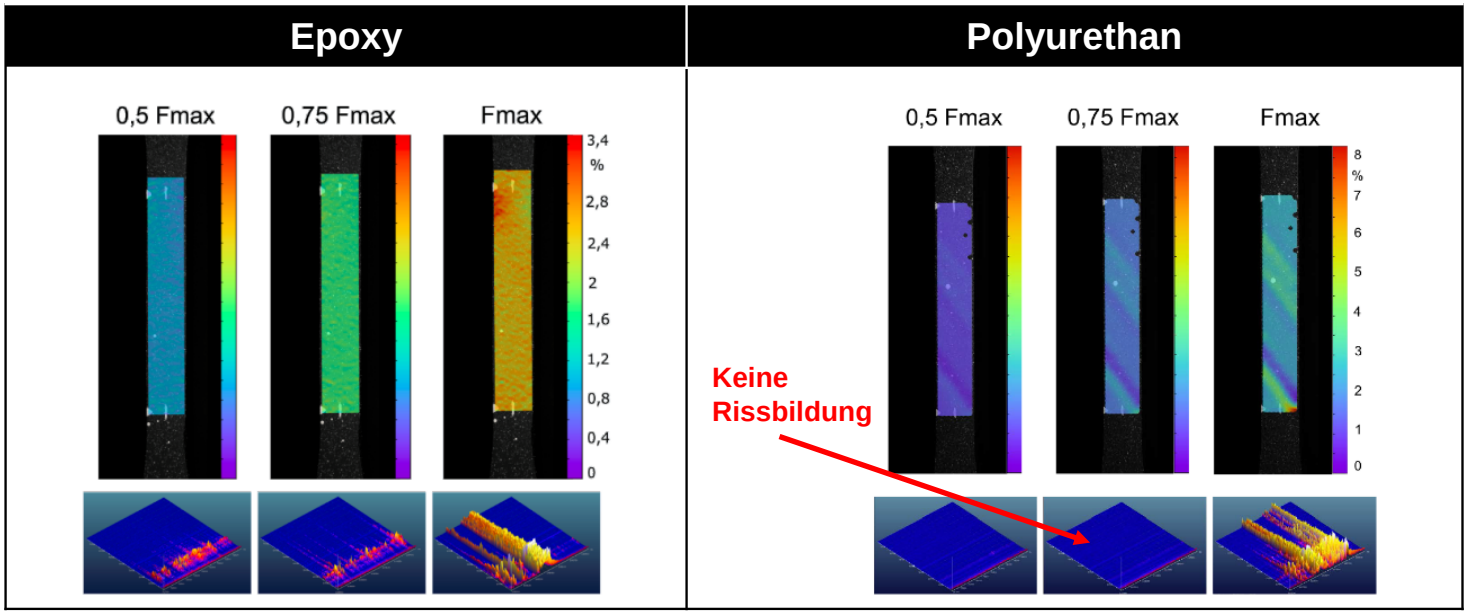
- Out-of-plane Injektion
- Vakuumunterstützung

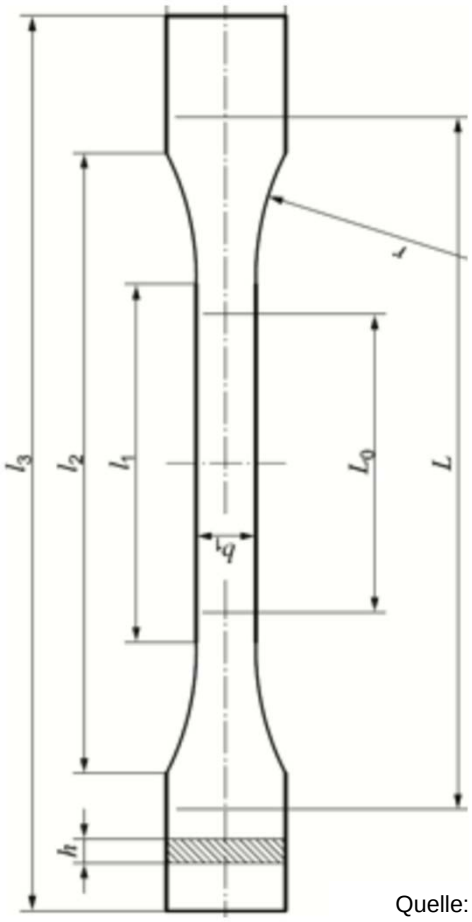
- **Die Out-of-plane Injektion reduziert den fiber washing Effekt erheblich**
- **Der Einsatz eines Binders für höhere Faservolumengehalte verhindert fiber washing zusätzlich**
- **Vakuum verbessert den Benetzungsvorgang der Faserverstärkung**

Charakterisierung (1): Basiswerte

Material	Zugfestigkeit [MPa]	Zug E-Modul [MPa]	Dehngrenze [%]
Polyurethan	62.8	3097	9.12
GF-Epoxy	329.6 (100%)	19’890 (100%)	2.55 (100%)
GF-PU	357.6 (108%)	17’747 (89%)	2.70 (106%)

High-frequency impulse measurement





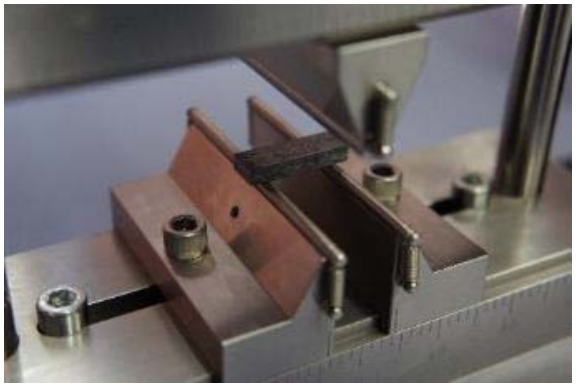
Quelle: MTS

Charakterisierung (2): Interlaminare Scherfestigkeit

- **Interlaminare Scherfestigkeit nach DIN 14130-1, gleicher Lagenaufbau wie bei Zugprüfung**
- **Untersuchung bei -30°C, Raumtemperatur und +70°C**
- **Prüfung von getemperten und bebinderten Probekörpern (wie für Demonstrator vorgesehen)**

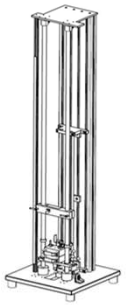
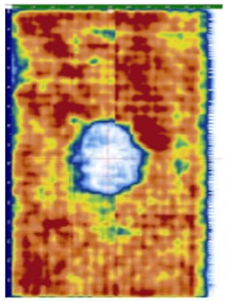
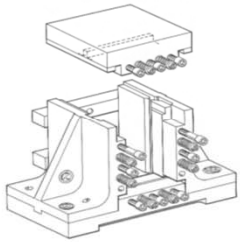
Material	ILSS [MPa], -30°C	ILSS [MPa], RT	ILSS [MPa], +70°C
EP Referenz	67.8	63.4	58.6
PU PRISCA	67.9	53.4	36.8

- **Bei höheren Temperaturen beim PU aufgrund des niedrigeren T_g geringere Festigkeitswerte**

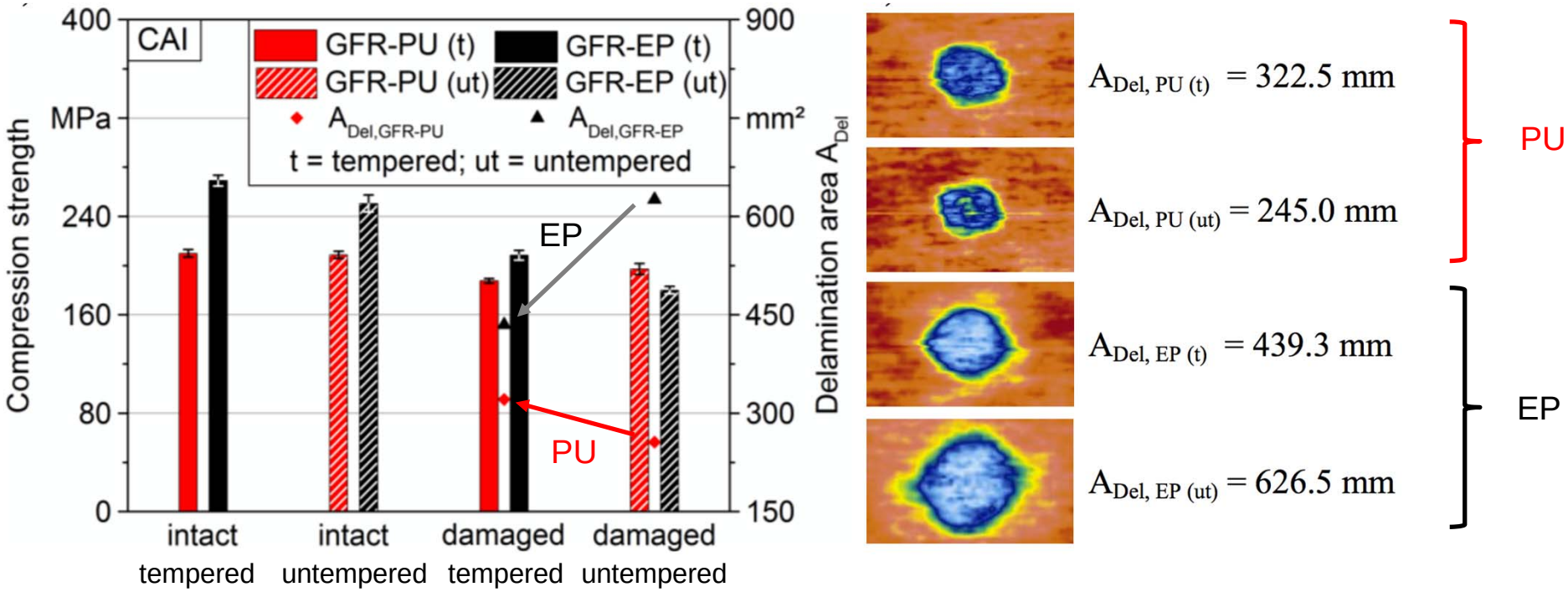


Charakterisierung - Impact (1)

- **Gleicher Lagenaufbau / Faservolumengehalt wie bei Zug/ILSS**
- **Untersuchung der Schlagzähigkeit CAI (Compression After Impact)**
- **Interessant für Anwendung im nose cone!**
- **Vergleich PU mit hochoptimiertem Epoxy-System**

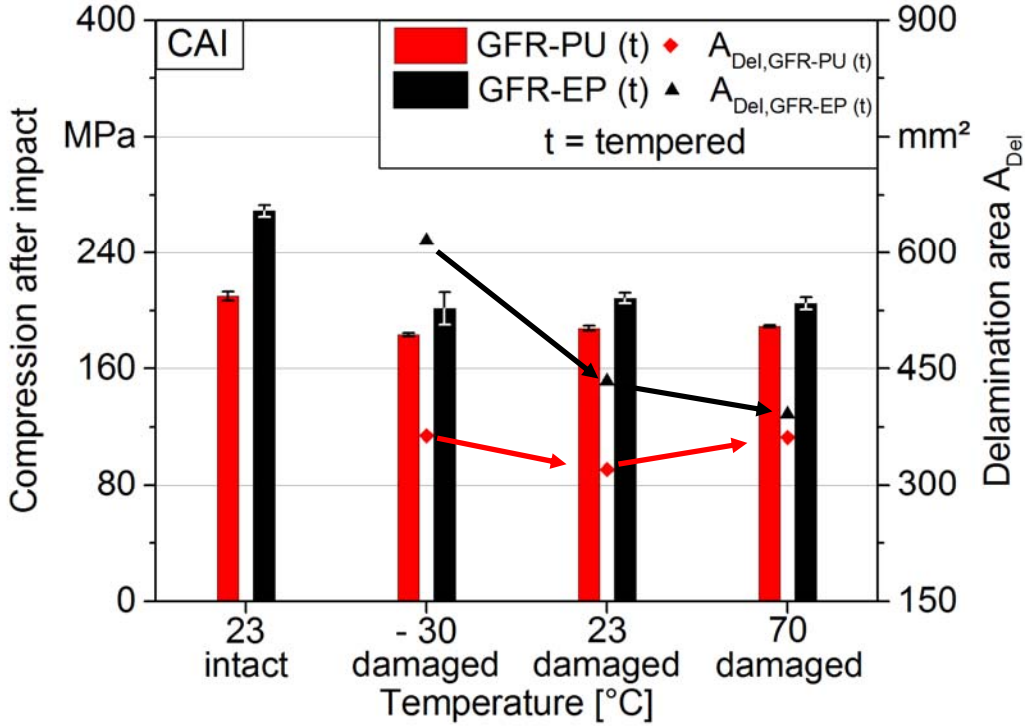
Verfahrensablauf der CAI Prüfung			
1. Ultraschallprüfung der Probekörper	2. Aufbringen einer Schlagenergie mit Fallturm	3. Ultraschallprüfung der beschädigten Probekörper	4. Druckprüfung bis zum Versagen
			
→ Fehlstellen, Vorschädigungen	→ Einschlagenergie	→ Schlagbeständigkeit	→ Restfestigkeit nach Schlagbelastung

Charakterisierung - Impact (2): Einfluss Tempern



- **Der Temperzyklus hat nahezu keinen Einfluss auf ungeschädigte PU-Proben**
- **Der Temperzyklus führt bei EP zu kleinerer Delaminationsfläche und höherer Restdruckfestigkeit, bei PU zu leicht grösserer Delaminationsfläche und leicht niedrigerer Restdruckfestigkeit**
- **Beim PU-System ist der Temperzyklus nicht notwenig → niedrigere Zykluszeit!**

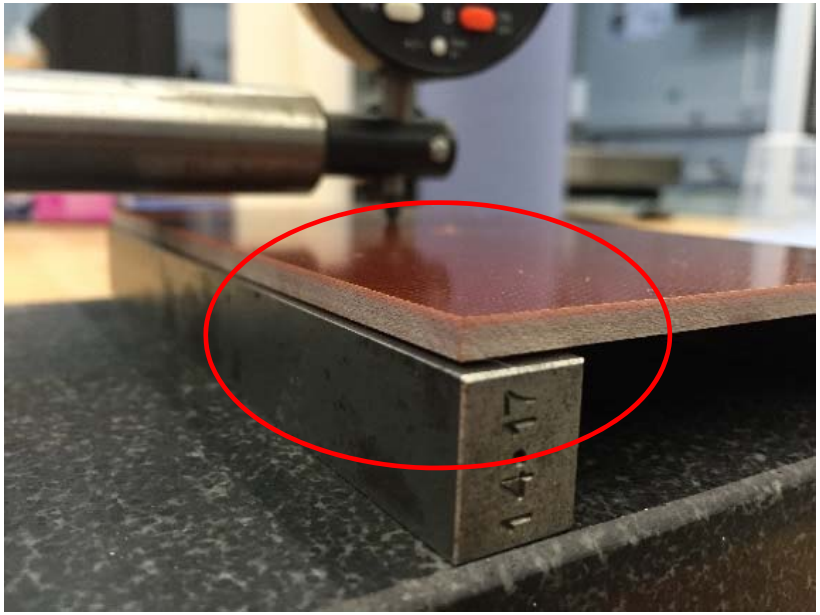
Charakterisierung - Impact (3): Einfluss Temperatur



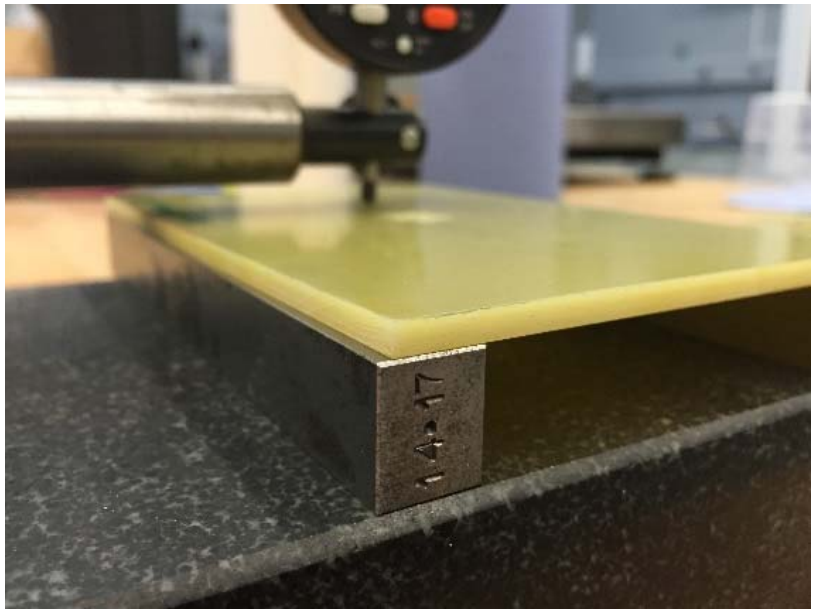
- **Das schlagzähoptimierte EP hat zwar einen höheren CAI Wert bei ungeschädigten Proben, PU ist aber nach Schädigung auf gleichem Niveau**
- **Die Delaminationsfläche für PU ist in jedem Fall kleiner**

Charakterisierung - Impact (4)

- **PU absorbiert die Schlagenergie besser als EP. Nach der Prüfung waren die EP-Probekörper sichtbar verdrillt**



EP-Probekörper nach Impact-Prüfung



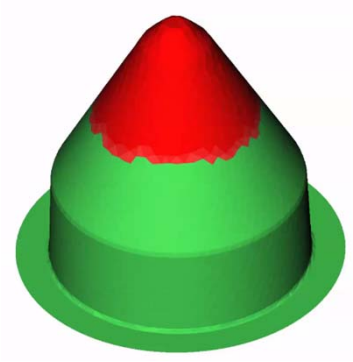
PU-Probekörper nach Impact-Prüfung

Schlussfolgerungen

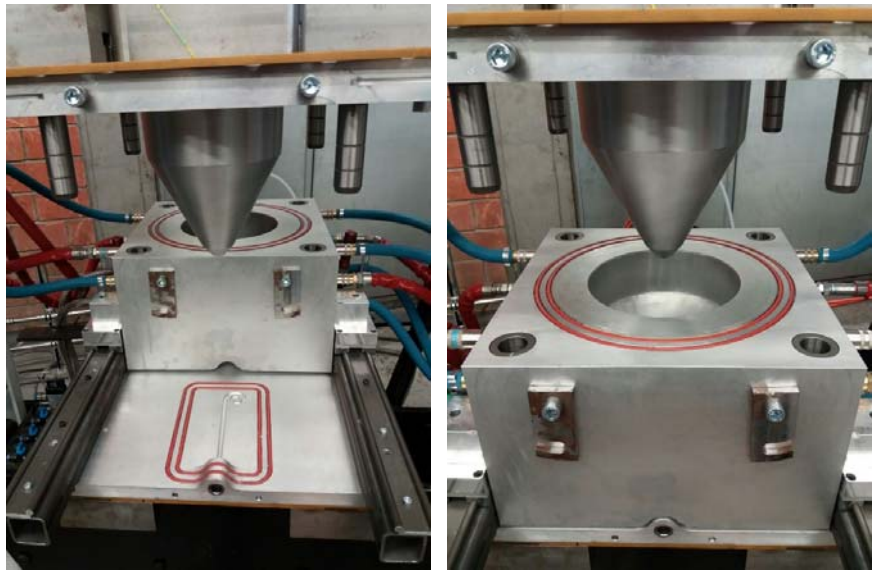
- **Polyurethan ist eine prüfenswerte Alternative zu Epoxy, v.a. aufgrund der einstellbaren Eigenschaften, der kurzen Zykluszeit, der Abrasions- und Impacteigenschaften und des Preises**
- **Die Materialeigenschaften bei Raumtemperatur und im Kurzzeitbereich sind vergleichbar mit Epoxy**
- **Im Tieftemperaturbereich ist PU eher zu bevorzugen, bei höheren Temperaturen verschlechtern sich die Eigenschaften aber aufgrund der niedrigen Glasübergangstemperatur**
- **Die Impact-Eigenschaften von PU-Glas Verbund zeigen im unoptimierten Zustand ein sehr vielversprechendes Verhalten**
- **Eine Erhöhung der Einsatzzeit (Austausch Komponente) setzt ein optimiertes Langzeitverhalten voraus → Vortrag Daniel Hülsbusch um 11:35!**

Ausblick

Nose cone (Epoxy prepreg)



RTM Füllsimulation mit dem in-house entwickelten *myRTM*



Prozessumsetzung HP-PU-RTM

Nose cone in PUR-RTM

Dank

- **Die Autoren bedanken sich bei den Fördergebern für die Unterstützung dieses Forschungsprojektes:**
  - EUREKA (9183)
  - KTI / Innosuisse (16956.1PFIW-IW)
  - AIF / ZIM (KF2198131EB4)
- **Herzlichen Dank an die Projektpartner für die hervorragende Zusammenarbeit**

- **Herzlichen Dank an Sie für die Aufmerksamkeit!**

4a Technologietag 2019 in Schladming

STEIGERUNG DER SCHLAGZÄHIGKEIT DURCH DEN EINSATZ VON POLYURETHAN ALS MATRIXWERKSTOFF

iwk INSTITUT FÜR WERKSTOFFTECHNIK UND KUNSTSTOFFVERARBEITUNG

Prof. Dr. Gion A. Barandun
Faserverbundtechnik und Leichtbau
gionandrea.barandun@hsr.ch, +41 55 222 47 79

HSR HOCHSCHULE FÜR TECHNIK RAPPERSWIL
FHO Fachhochschule Ostschweiz