

# Schlagzähe Composites für den Flugzeugbau

4. Rapperswiler Kunststoff-Forum  
03. September 2009

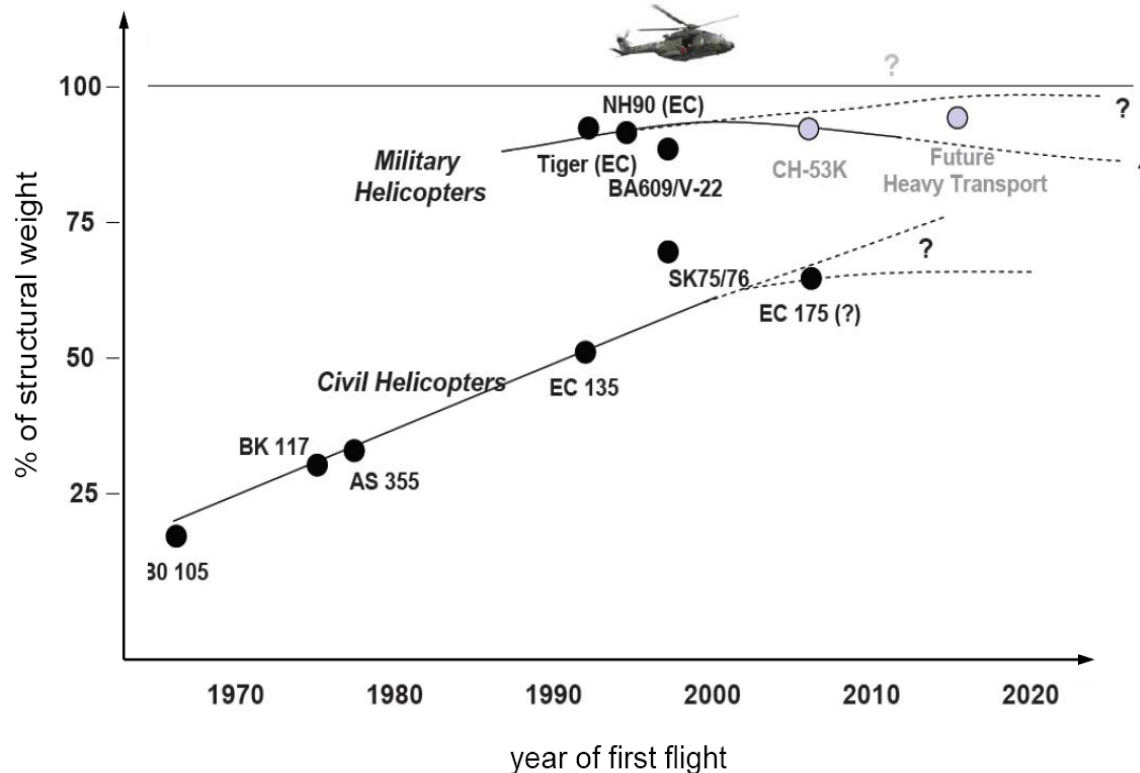
Prof. Dr. M. Henne, Dipl. Ing. FH M. Müller, HSR  
Dipl. Ing. ETH S. Sutter und Dr. K. Bender, EMS-CHEMIE AG  
Dr. Ing. Ch. Weimer, Dipl. Ing. FH H. Spanner, Eurocopter Group

# Inhalt der Präsentation

1. Einleitung
2. Fertigungsprozesse
3. Anforderungen an hochbeanspruchte Faserverbundstrukturen
4. Einfluss von Phenoxy auf die Schlagzähigkeit von Composites
5. Fallstudie Helikopter Fitting
6. Schlussfolgerungen
7. Ausgewählte Projekte

# 1.1. Einleitung

- Zunehmender Einsatz von Faserverbundwerkstoffen in der Luftfahrt
- Faserverbundtechnologie ermöglicht die Fertigung von strukturellen, geometrisch komplexen und hoch funktionsintegrierten Bauteilen



Quelle: Eurocopter Deutschland

# 1.2. Beispiel Airbus A380



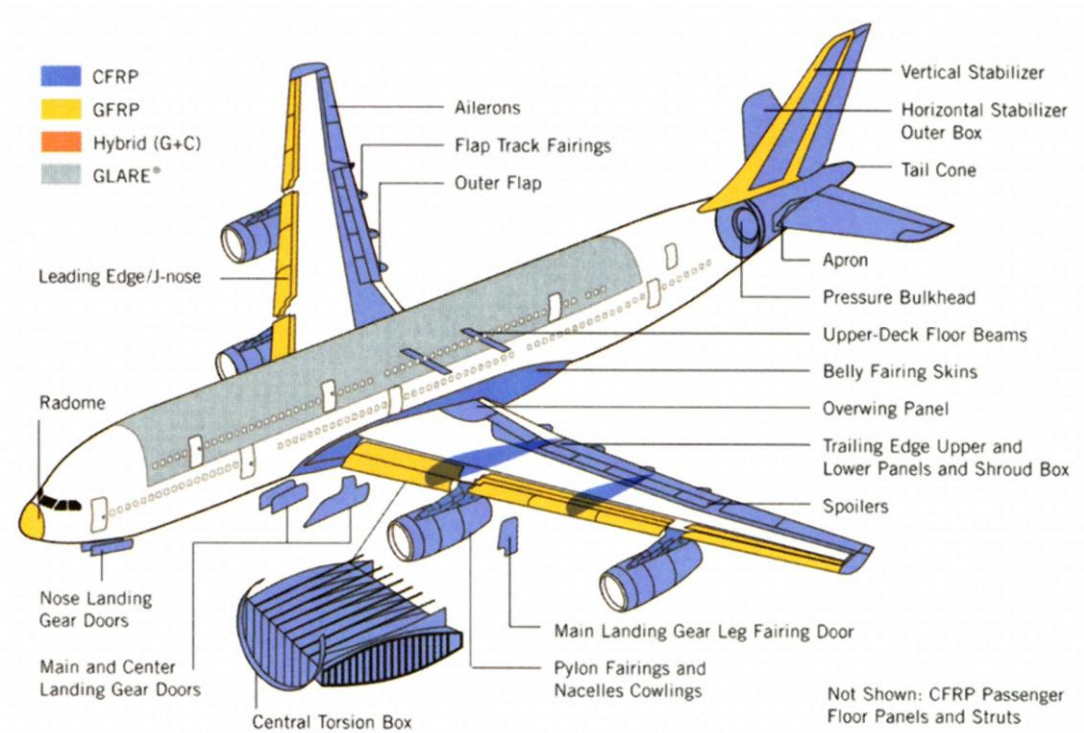
Spannweite = 79,8

Länge = 73 m

Höhe = 24,1 m

Compositeanteil ca. 22%

CFK → 5,3 to.



CFK-Flugzeuge in Entwicklung: Boeing 787, Airbus A350, Airbus 400M

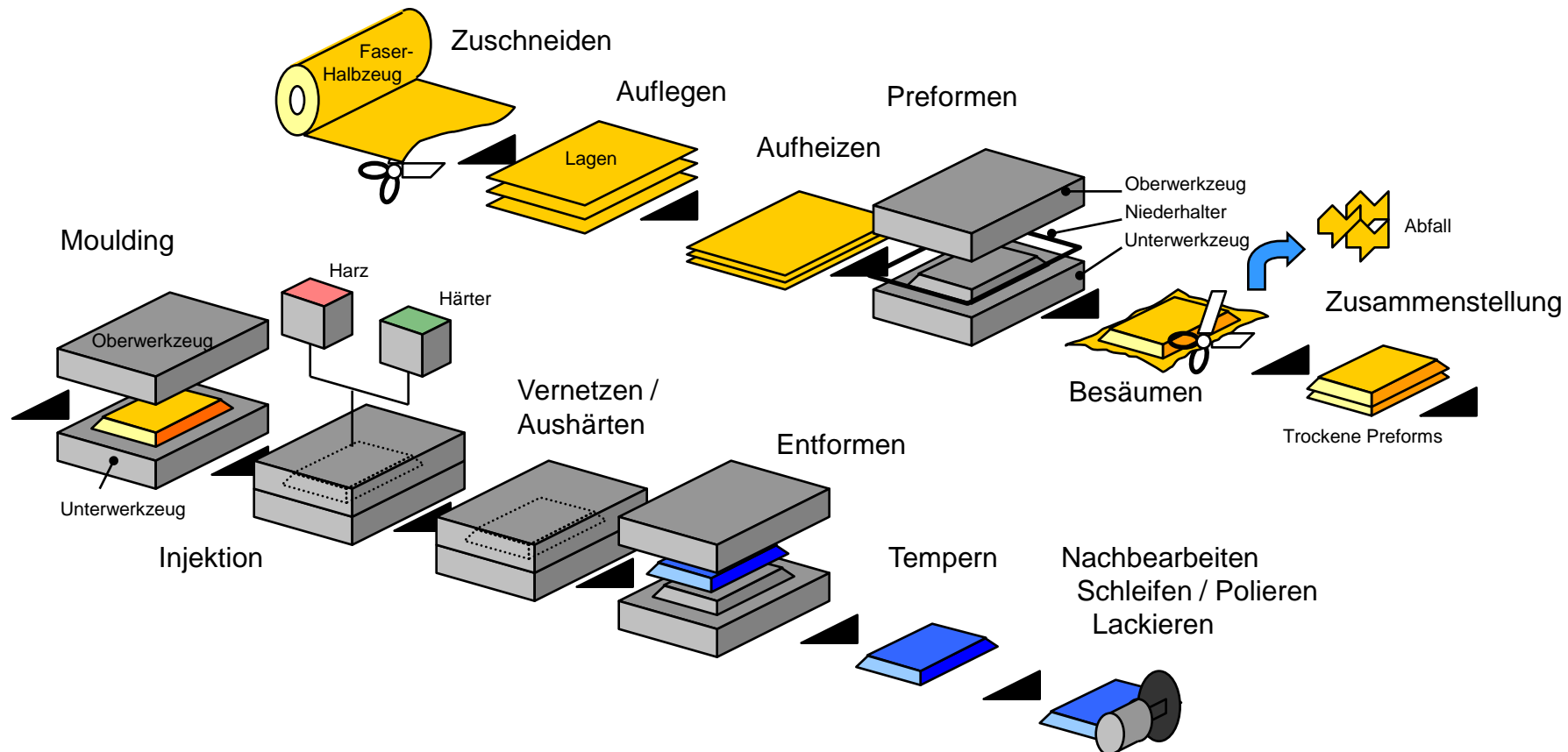
## 2.1. Fertigungsprozesse

- State of the Art: Prepreg-Autoklav Verfahren
- Beispiel: Fertigung Boeing 787 (Quelle: Boeing)



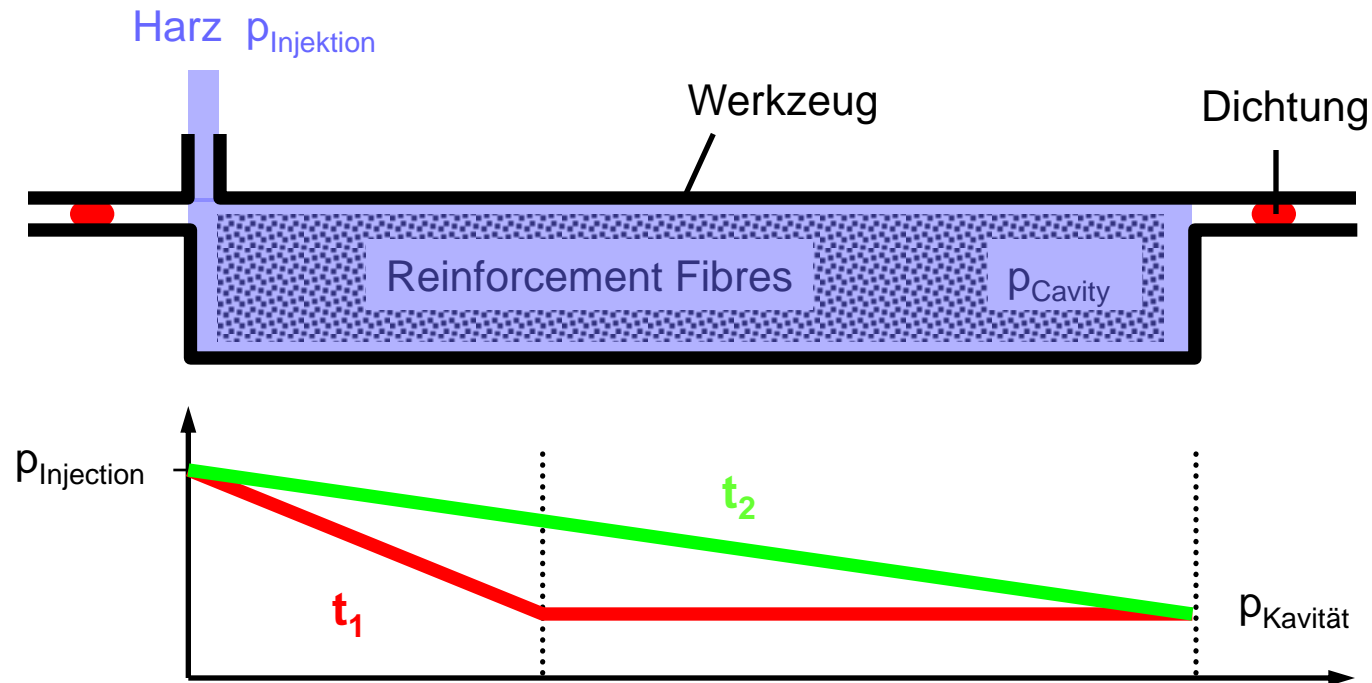
## 2.2. Resin Transfer Moulding RTM

- Tränkung eines trockenen Preforms mit reaktivem Harz-Härtergemisch im geschlossenen Werkzeug (1K oder 2K)
- Aushärtung unter Druck und Temperatur



## 2.3. Resin Transfer Moulding

- Harz fließt durch vorher eingelegte Fasern in einer geschlossenen Kavität – starres Ober- und Unterwerkzeug
- Fließgeschwindigkeit ist proportional zum Druckgradienten



## 2.4 Bewertung von RTM

### Vorteile:

- Hohe Form- und Funktionsintegration in den Bauteilen. Geeignet für **kleine, komplexe und dickwandige Bauteile** in Multimaterialbauweise (verschiedene Fasern, metallische Inserts, Sandwichbauweise)
- Sehr hohe Bauteilqualität („Class A-Oberfläche“, reproduzierbar, Faservolumengehalt bis 55%)
- Geeignet für Klein- bis Mittelserien (1'000 – 10'000) – Luftfahrt
- Einfache Materialbewirtschaftung (Harz / Faser getrennt gelagert)
- Relativ geringer Investitionsbedarf in Fertigungsanlagen
- Einfache und teilweise automatisierbare Verarbeitungsschritte

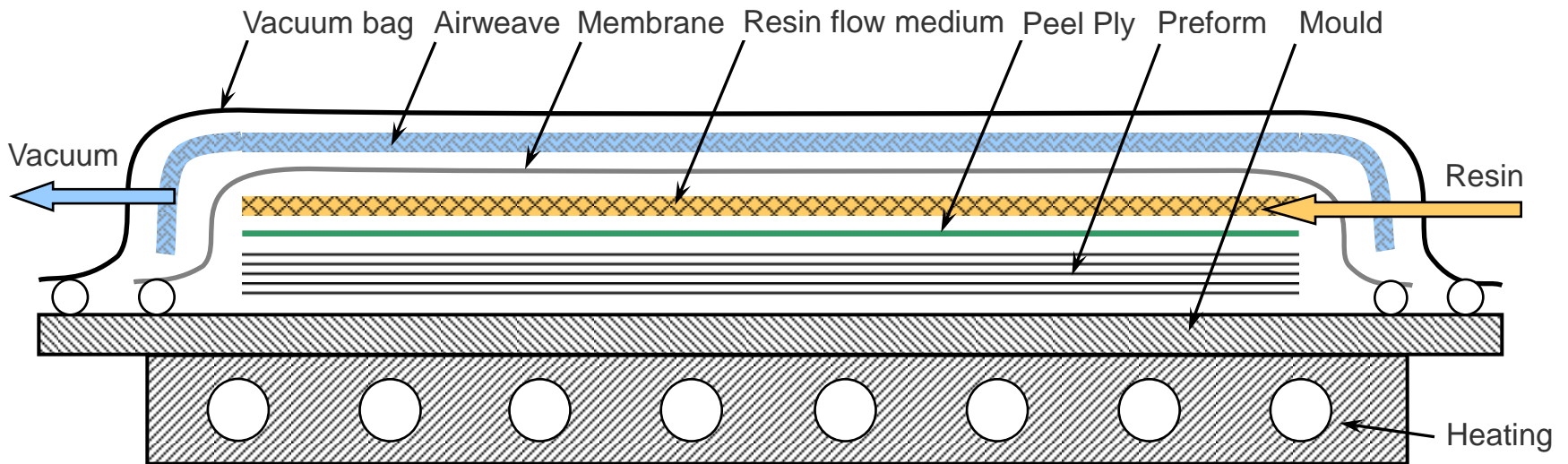
### Nachteile:

- Hohe Produktionskosten (Zykluszeit)
- Geschlossener Prozess: Prozess teilweise nicht robust



## 2.5. Harzinfusionsprozesse

- Mit Hilfe von Vakuum wird das Harz in die Kavität gefördert und der Preform in Dickenrichtung imprägniert. Z.B. Vacuum Assisted Process, patentiert von EADS MAS Augsburg.
- Verwendung einer starren Werkzeughälfte (unten)
- Fertigung von grossflächigen Bauteilen wie Flügelbeplankungen möglich!



# 3.1. Anforderungen an Composites

- Hohe Festigkeit und Steifigkeit
- Resistent gegen Umwelteinflüsse und Betriebsmittel
- FST: Fire, Smoke, Toxicity
- Reparierbarkeit
  
- Hohe Schlagzähigkeit
  - Hagelschlag
  - Vogelschlag
  - „Tool Dropping“
  - Steinschlag (Naturpisten)
  - Lightning strike



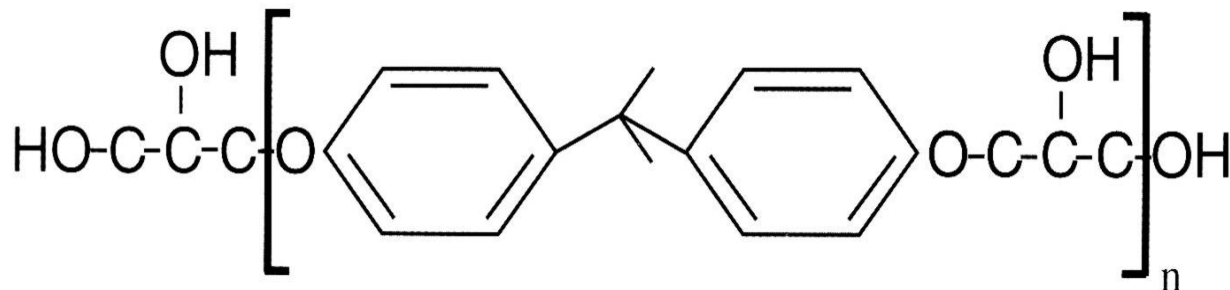
## 3.2. Steigerung Schlagzähigkeit

Bei der Harzformulierung:

- Weiche Nano-Füllstoffe
- Nanotubes als verstärkende Phase im Harz
- Harte Füllstoffe: Nanosilica

Neuer Ansatz EMS Chemie:

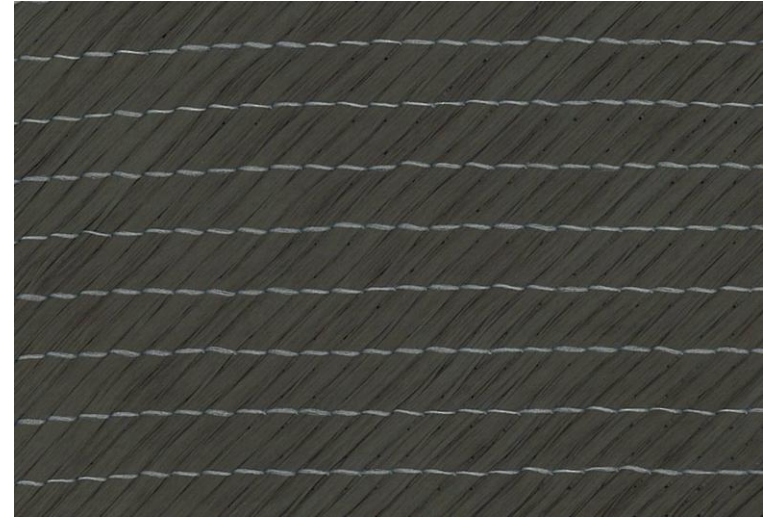
- Integration von thermoplastischen Garnen durch Web-, Flecht- oder Nähprozesse in die Faserpreforms
- Thermoplaste Phenoxylat (Handelsname Grilon MS) und/oder CoPa
- Garn löst sich nach Injektionsvorgang in Matrix auf und wechselt somit die Phase.



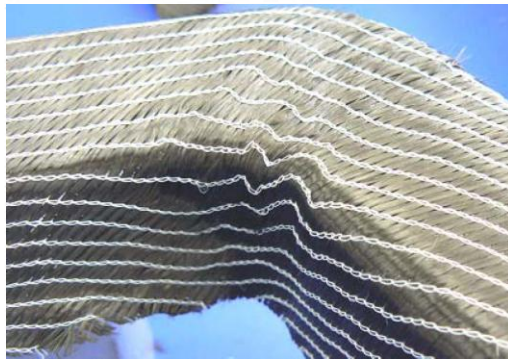
# 3.3. Anwendung von Grilon MS



**GRILON®**  
**EMS**



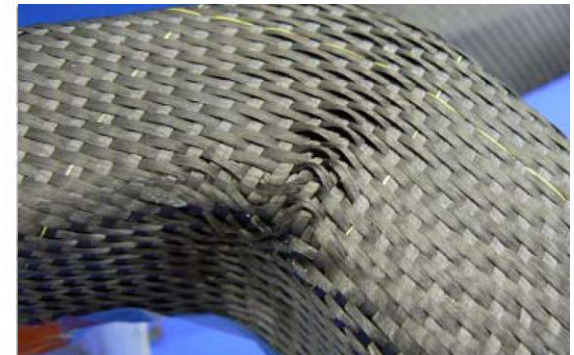
Saertex NCF  
with Grilon MS



ECS 6090 3107

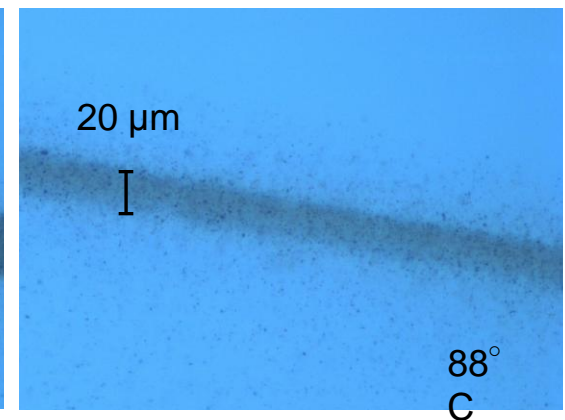
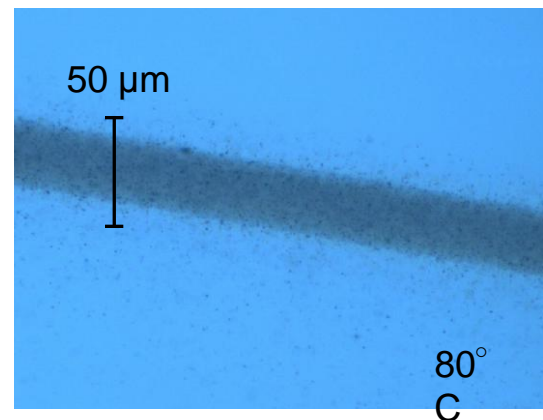
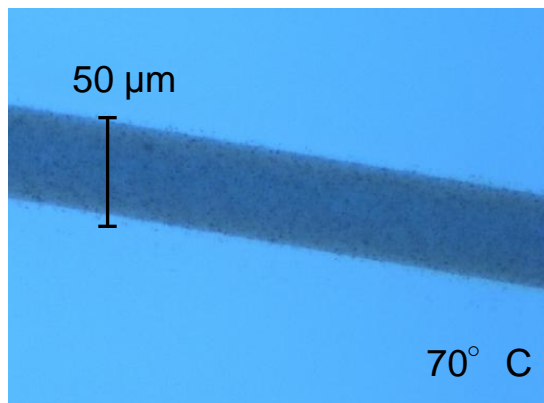
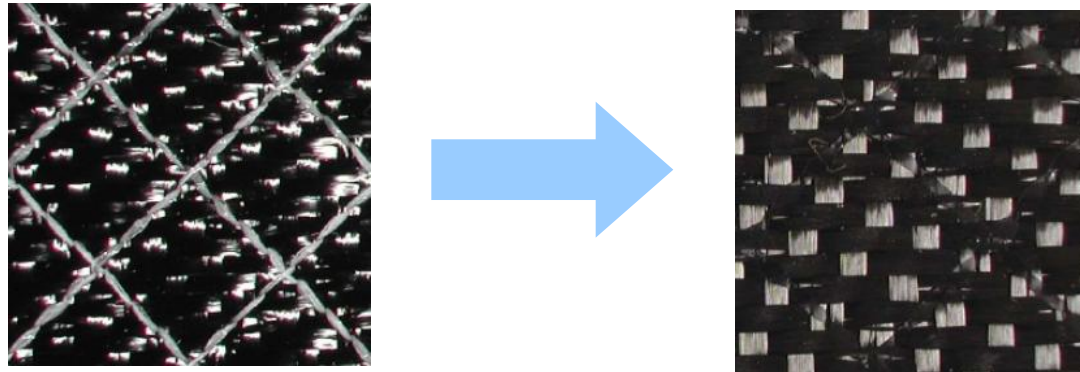


G 0926

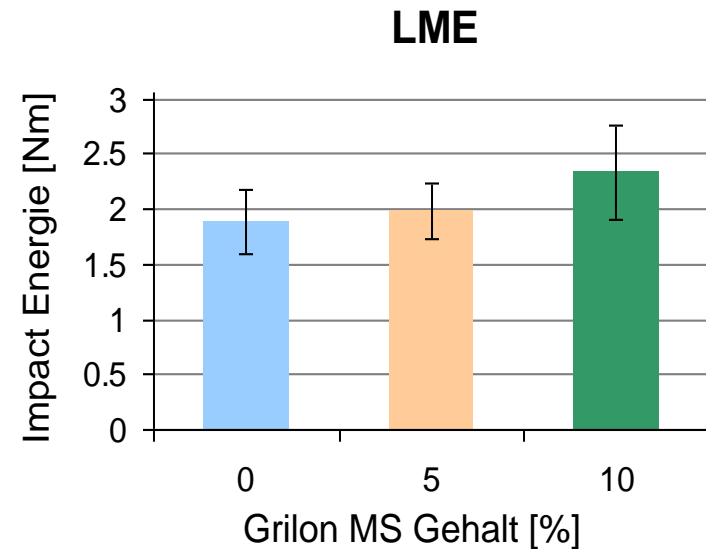
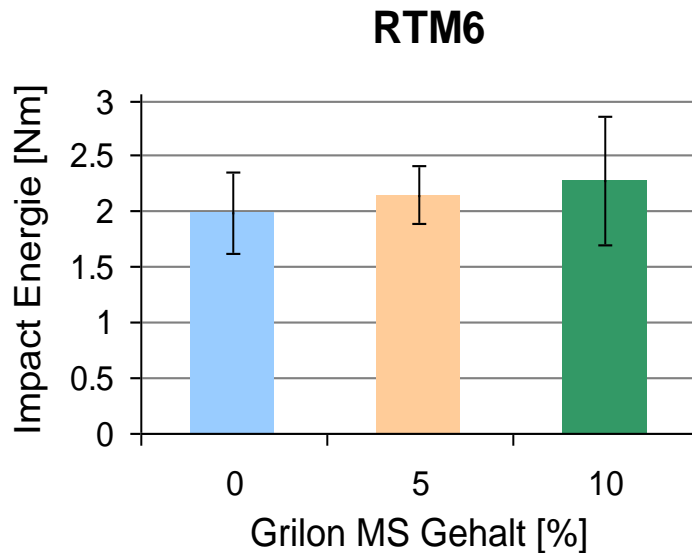


## 3.4. Löslichkeit von Phenoxy

- Glasübergangstemperatur  $T_g$  von Phenoxy ca.  $78^\circ\text{C}$
- Phenoxy löst sich in Epoxidmatrix auf



# 4.1. Schlagzähigkeit



Prüfkörper:

- Gelege ECS 6090-3107 CF  $[0^\circ, 90^\circ, 0^\circ, 90^\circ, 0^\circ]_s$
- Anreicherung der Epoxidmatrix mit 0, 5% and 10% Phenoxy

Resultate:

- Phenoxy kann die Schlagzähigkeit von Carbonbauteilen um 10-25% verbessern

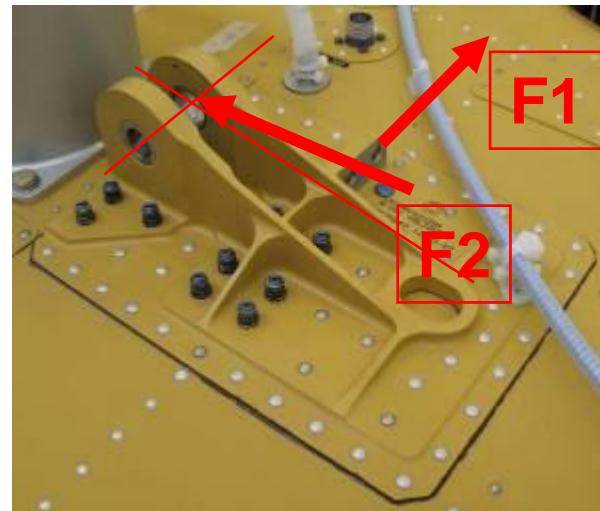
# 5.1. Demonstrator

- Helikopter XY-Fitting
- Heutige Technologie: Aluminium CNC gefräst
- Teile pro Helikopter: 2
- Aktuelles Gewicht: 842g



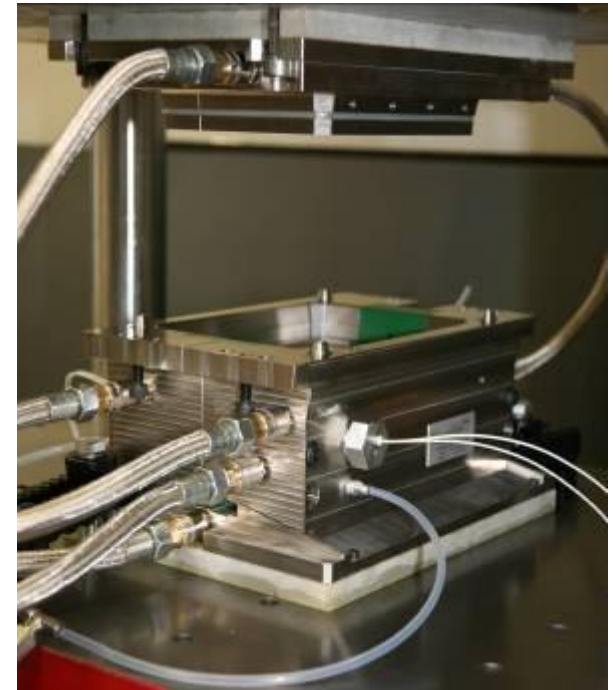
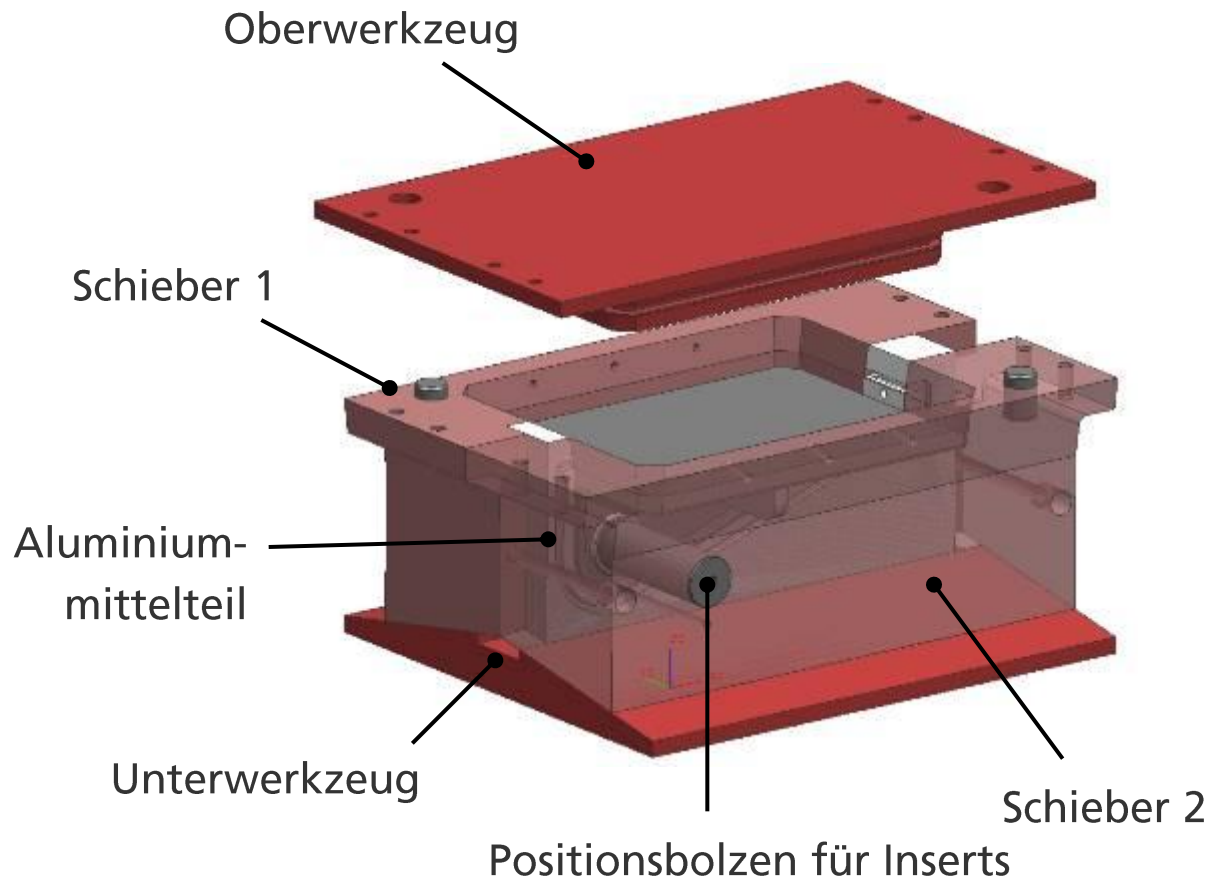
## Belastungen

- F1: 2000 N, in y-Richtung, in der Ebene
- F2: 20'000 N, in x-Richtung, 5° schräg



## 5.2. RTM Werkzeug

- Materials INVAR (1.3912 Ni36) / Alu
- Aluminiumkern Teflonbeschichtet: Geometrisch exakt bei 180° C





## 5.3. Fertiges Bauteil



Preform

Fertiges Bauteil

## 6. Schlussfolgerung

- Niedrige Harzviskosität (kein Toughener)
- Kein zusätzlicher Thermobinder
- Keine störenden Binderfäden für Sichtbauteile
- Verbesserte Oberflächenqualität für Bauteile mit Class-A Oberfläche
- Keine Störung (Ondulation) der lasttragenden Fasern im Compositebauteil durch die Bindeäden
- Keine Gefahr von Microcracks in harzreichen Stellen um die Durchstichpunkte der Binderfäden
- Erhöhung der Schlagzähigkeit der Epoxidmatrix durch die Anreicherung durch das thermoplastische Phenoxy

## 7.1. Elektroleichtfahrzeug e'mo



Mr. Ratan Tata: Chairman of Tata Group

## 7.2. Tragflügelboot

Bezeichnung:

- Elektrogetriebenes – Einmann – Tragflügelboot

Technische Daten

- Antrieb : Elektromotor
- Tragflügel : Dreieck in Bootsmitte, drehbares Leitwerk am Heck.
- Geschwindigkeit : ca. 25 km/h
- Länge : ca. 3.5 m, Breite : ca. 1.7 m, Tiefgang : ca. 0.45 m
- Gewicht : ca. 36 Kg
- Motorleistung: 1 kW (max.)
- Betriebsspannung : 36 V
- Akku : Li-Polymer; 10 Ah





## 7.3. Software myRTM

- Simulationssoftware für den Resin Transfer Moulding RTM Prozess
- Mit wenigen Klicks den Injektionsprozess auslegen!
- Freeware auch für den kommerziellen Einsatz
  
- Betriebssysteme: Windows und Mac OS X
- <http://www.myrtm.ch>

