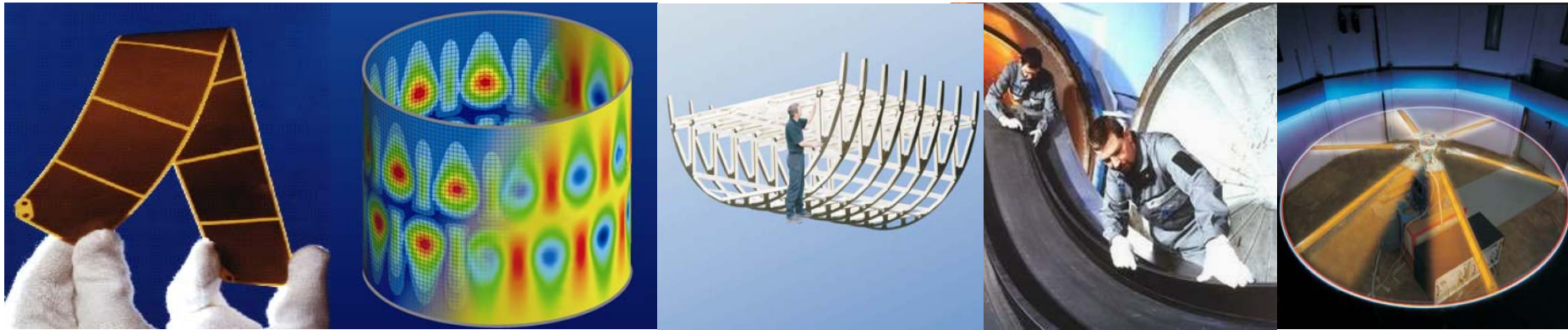


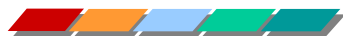


Fertigungstechnologien für den Fahrzeugbau

M. Kleineberg
T. Wurl

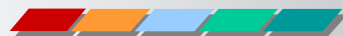
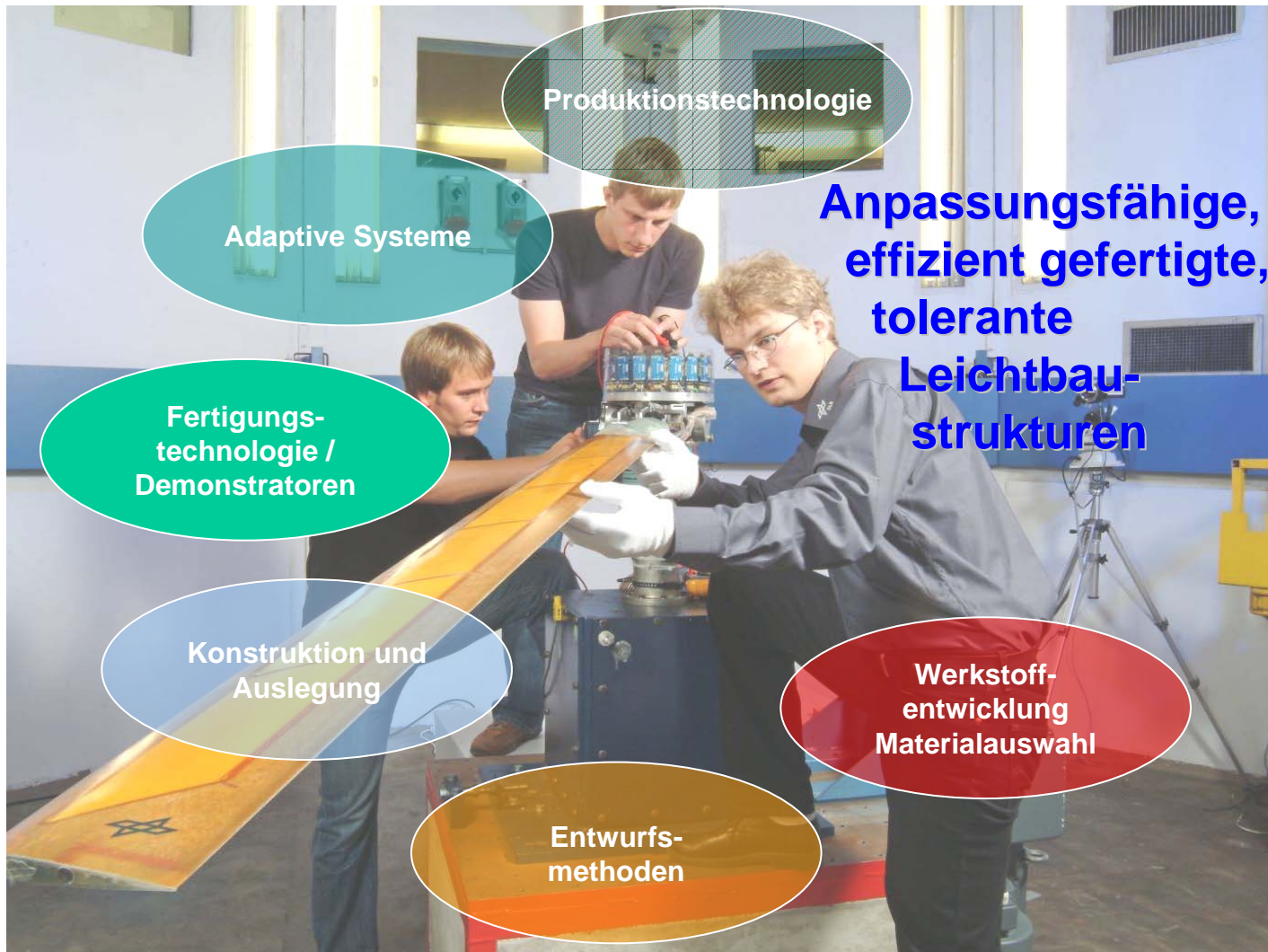


Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft



Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik

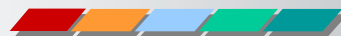
Die Prozesskette des Hochleistungsleichtbaus



Allgemeine Einordnung von Produktionsrandbedingungen

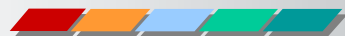
Typische Anwendungsszenarien

Demonstrator	(1-2 Teile)
Prototyp	(1-10 Teile)
Kleinstserien	(ab 100 Teile pro Jahr)
Kleinserien	(ab 1000 Teile pro Jahr)
Mittlere Serien	(ab 10.000 Teile pro Jahr)
Großserien	(ab 100.000 Teile pro Jahr)



Inhalt:

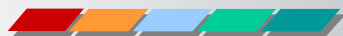
- **Halbzeuge**
Faser
Matrix
- **Fertigungstechnologien**
Open Mould Konzepte
Closed Mould Konzepte
- **Aktuelle Entwicklungen im DLR**
Automatisierung
Qualitätssicherung
Multifunktionalität
- **Zusammenfassung**





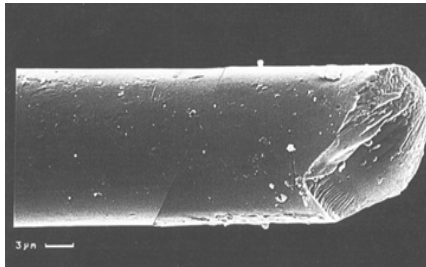
Halbzeuge

- Faserhalbzeuge
- Matrixhalbzeuge

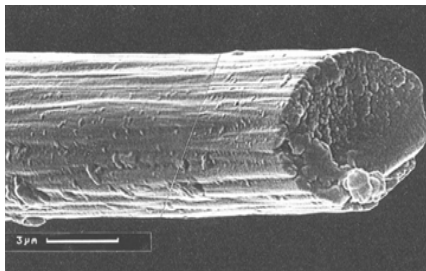


Materialkombinationsbeispiele für Hochleistungsanwendungen

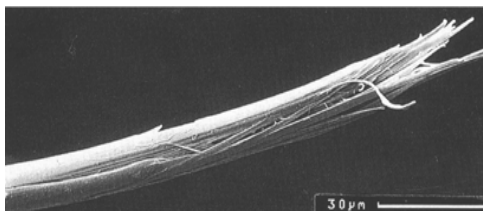
GFK = **G**lasfaser verstärkter **K**unststoff



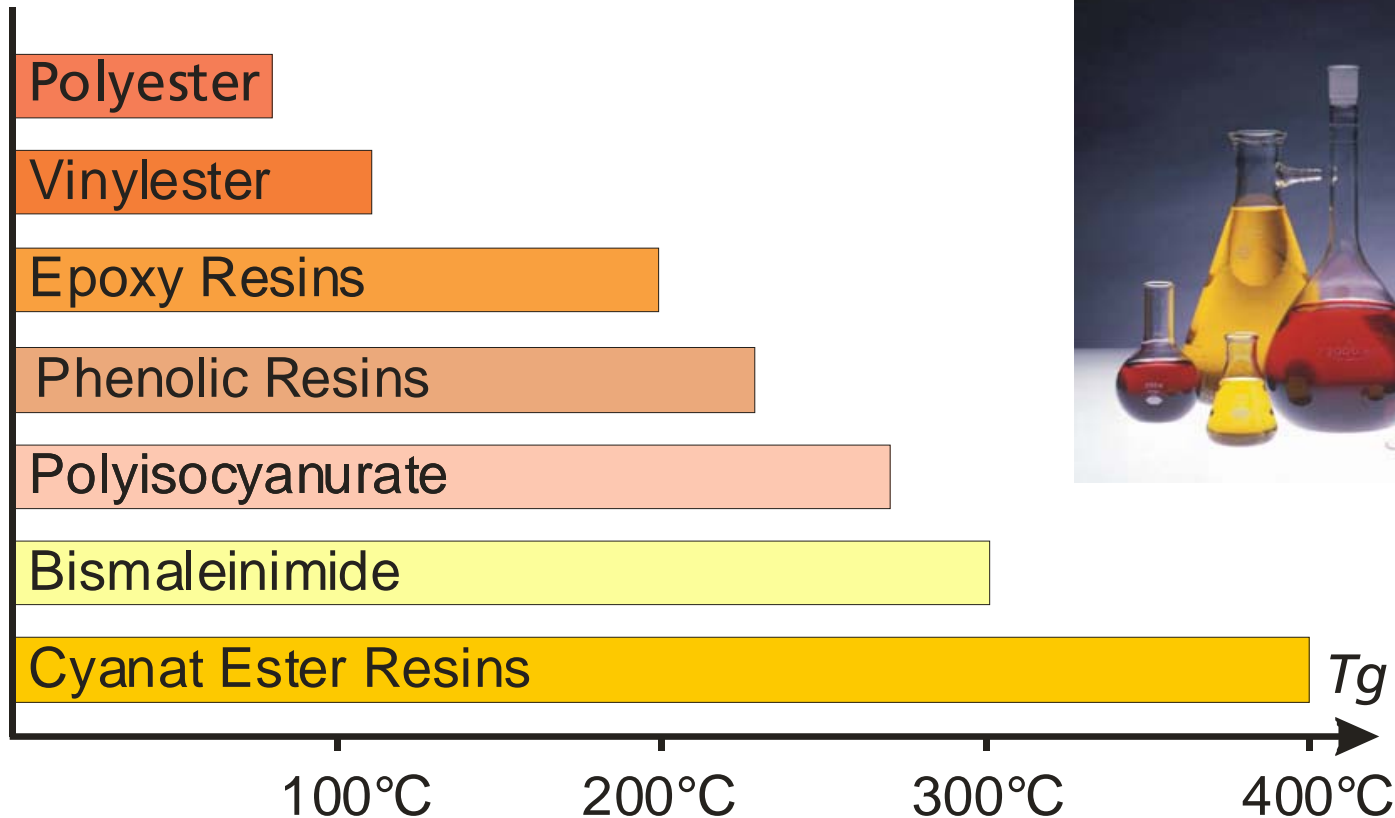
CFK = Kohlenstofffaser (**C**arbon-**F**aser) verstärkter **K**unststoff



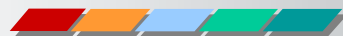
AFK = **A**ramidfaser verstärkter **K**unststoff



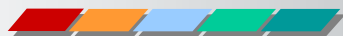
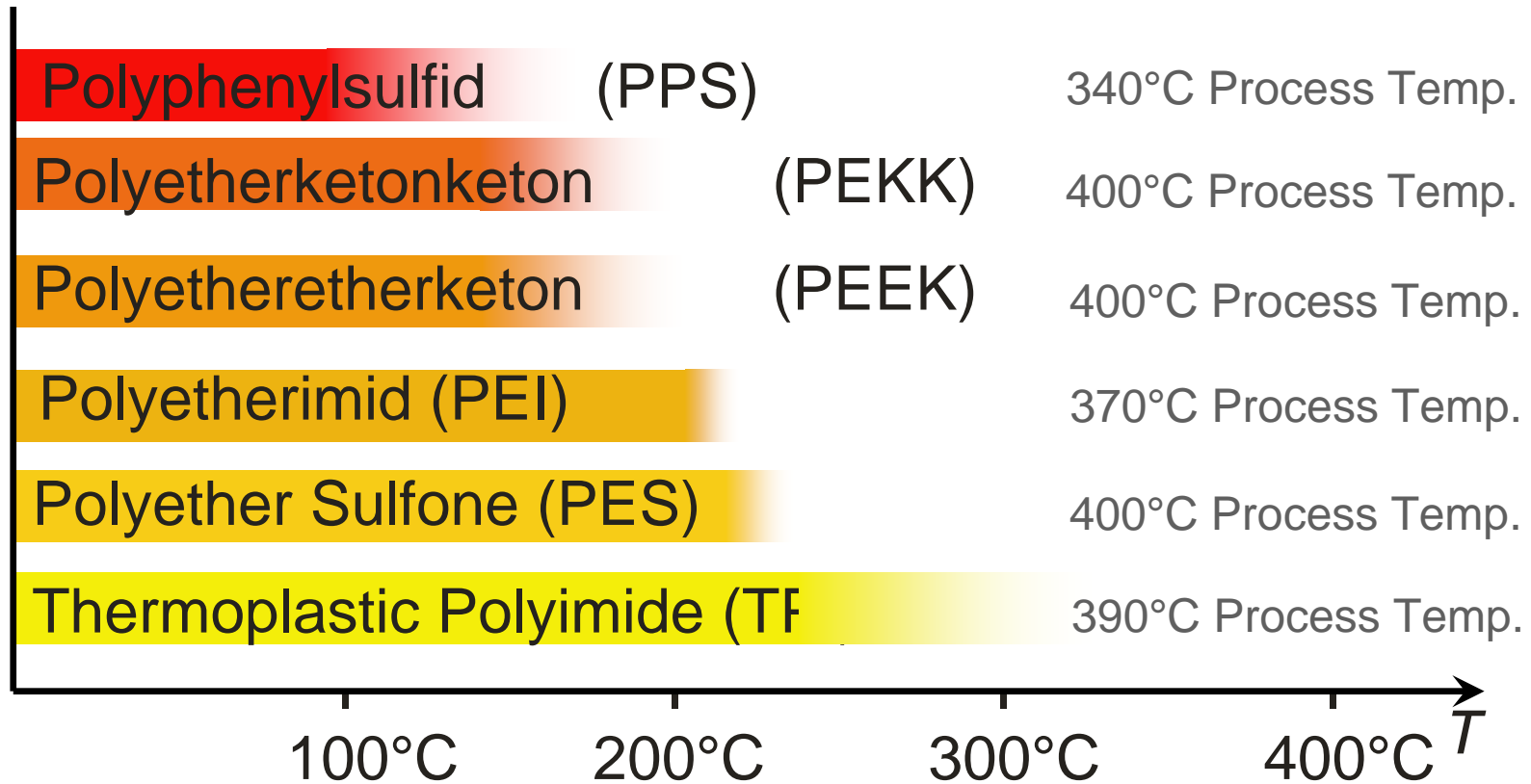
Duromere Harzsysteme für strukturelle Faserverbundkomponenten



T_g = Glasübergangstemperatur = max. Temperaturbelastbarkeit



Thermoplastische Matrixsysteme für strukturelle Faserverbundkomponenten

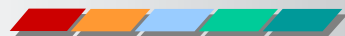




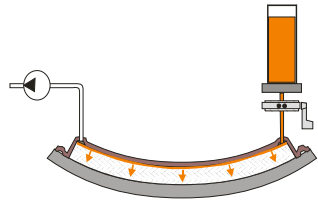
Fertigungstechnologie

→ „Open Mould Konzepte“

→ „Closed Mould Konzepte“



Prozess Ansatz



Allgemeine Aspekte

Infusionsansatz
Werkzeugansatz
Membran
Fließhilfe
Angusskonzept
Druck
Harzfalle
Autoklav

„Open Mould“ Konzepte

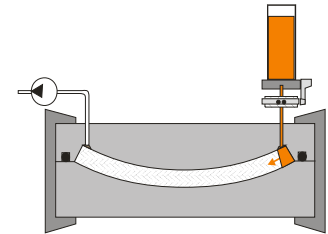
Verfahren

[Manuelles Laminieren](#)
[Wickeltechnik](#)
[Prepreg Prozess](#)
[RFI Prozess](#)
[DP-RTM Prozess](#)
[Pressklavtechnik](#)
[SLI Prozess](#)
Quick Step Prozess
VARI Prozess
SCRIMP Prozess
MVI Prozess
[VAP Prozess](#)

„Closed Mould“ Konzepte

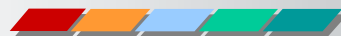
Verfahren

[RTM](#)
[Pressen RTM](#)
[Pulltrusion](#)



Allgemeine Aspekte

Massive Mould
Druck
Harzfalle



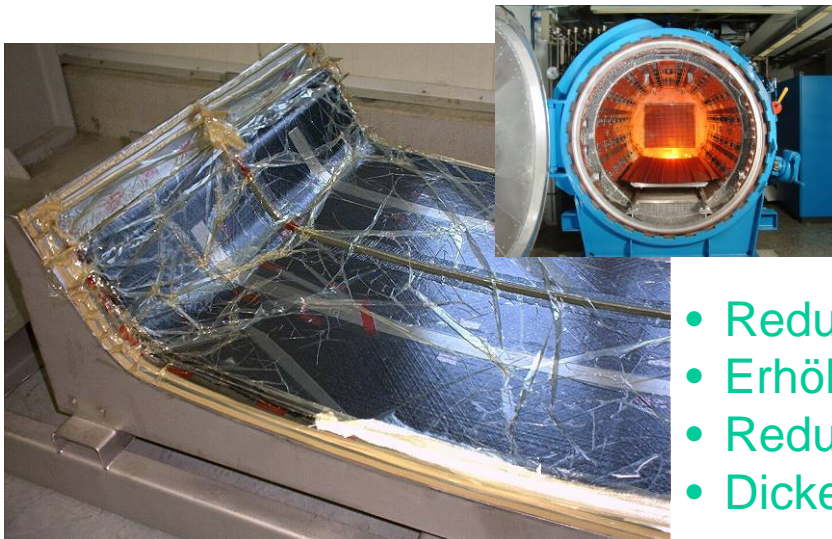
Open Mould und Closed Mould Ansätze



Typische „Closed Mould“ Prozesse:

- RTM mit Schließmechanismus (Presse)
- RTM in verschraubten Formwerkzeugen
- (Pulltrusion)

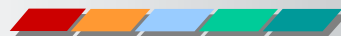
- Definierte, reproduzierbare Geometrie
- Reproduzierbare, hohe Oberflächengüte
- Verringerte Gefahr von Vakuumleckagen
- Minimaler prozessbedingter Abfall



Typische „Open Mould“ Prozesse:

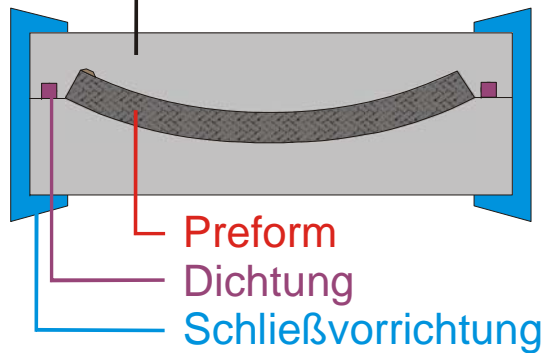
- Prepregverarbeitung im Autoklaven
- Harzinfusion im Ofen
- Handlaminieren

- Reduzierte Formwerkzeuginvestition
- Erhöhte Flexibilität bei Geometrieänderungen
- Reduzierte Gefahr des Harzvoreilens
- Dickenanpassung über Prozessparametervariation



Open Mould und Closed Mould Ansätze

“Closed Mould”



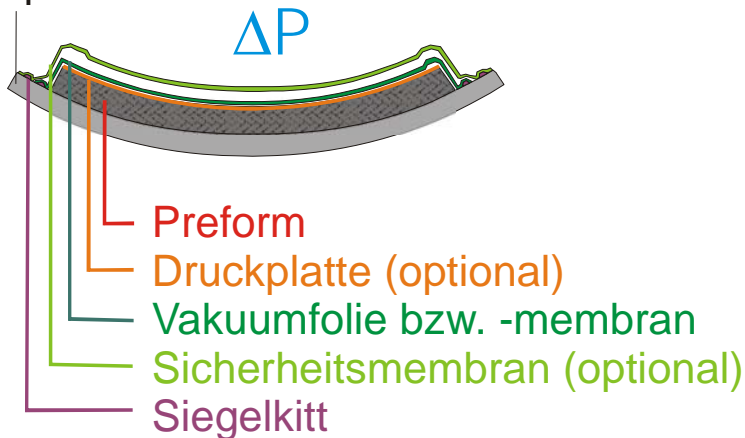
→ **Priorität „Closed Mould“:**

→ Reproduzierbare Laminatdicke

Typische Risiken:

- Hohe Investitionskosten
- Unkontrolliert voreilendes Harz (Poren)
- Kritische Eigenspannungen
- Unterschätzter Reinigungsaufwand

“Open Mould”

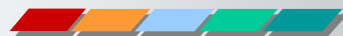


→ **Priorität „Open Mould“:**

→ Reproduzierbarer Faservolumengehalt

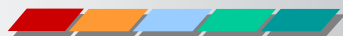
Typische Risiken:

- Streuung der Laminatdicke
- Membranseitige Undichtigkeiten
- Oberflächenunregelmäßigkeiten
- Abfallentsorgung

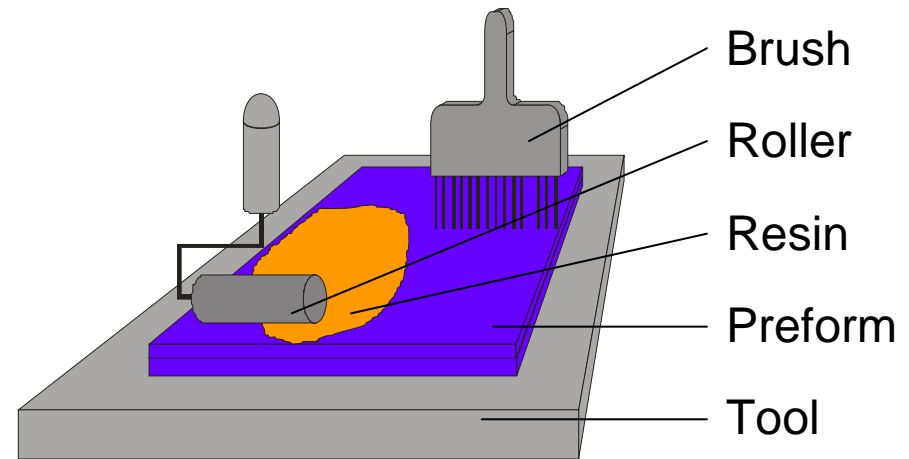




“Open Mould” Konzepte



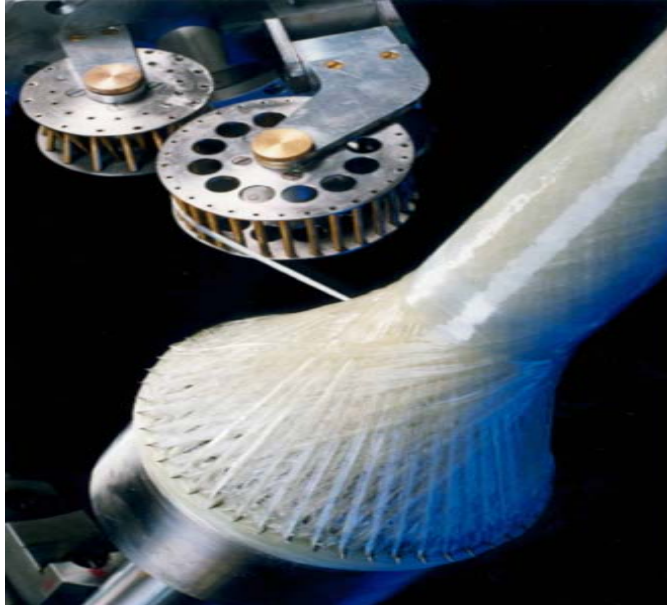
Manuelles Laminieren



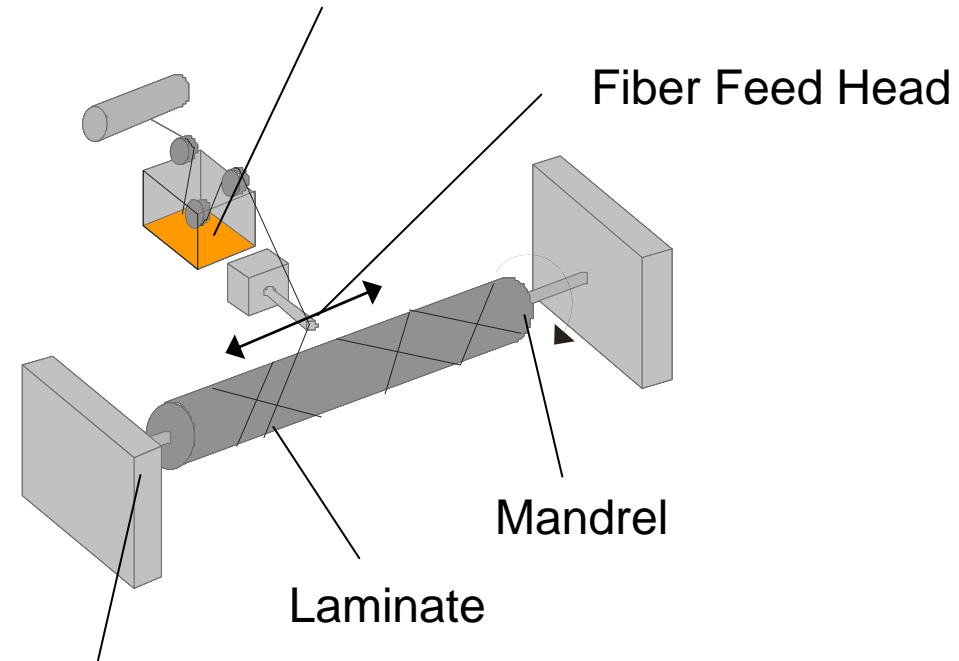
Reproduzierbare Bauteilqualität:	☹️
Automatisierungspotenzial:	☹️
Non Recurring Costs (Investment):	😊
Recurring Costs (Arbeitskraft):	☹️
Recurring Costs (Material):	😊
Realisierbare Komplexität:	😊

**Mögliche Anwendung
im Automobilbau:
Prototypen / Demonstratoren**

Nass Wickeltechnik



Carriage with heated resin bath

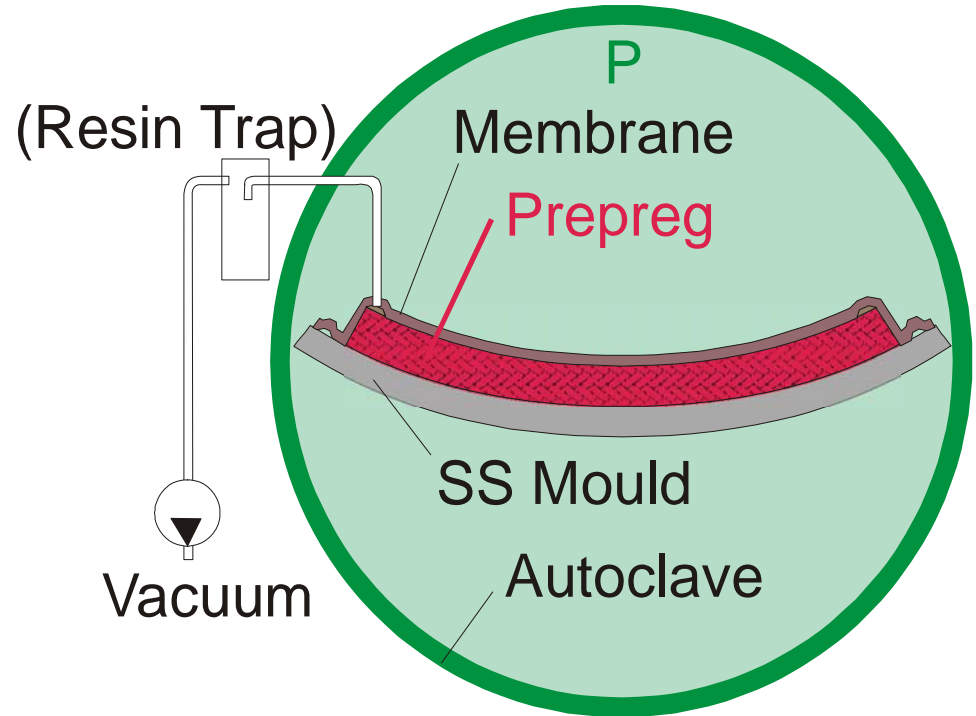


Reproduzierbare Bauteilqualität:	😊
Automatisierungspotenzial:	😊
Non Recurring Costs (Investment):	😞
Recurring Costs (Arbeitskraft):	😊
Recurring Costs (Material):	😊
Realisierbare Komplexität:	😞😞

Drive System

**Mögliche Anwendung
im Automobilbau:
Bis zur Großserie**

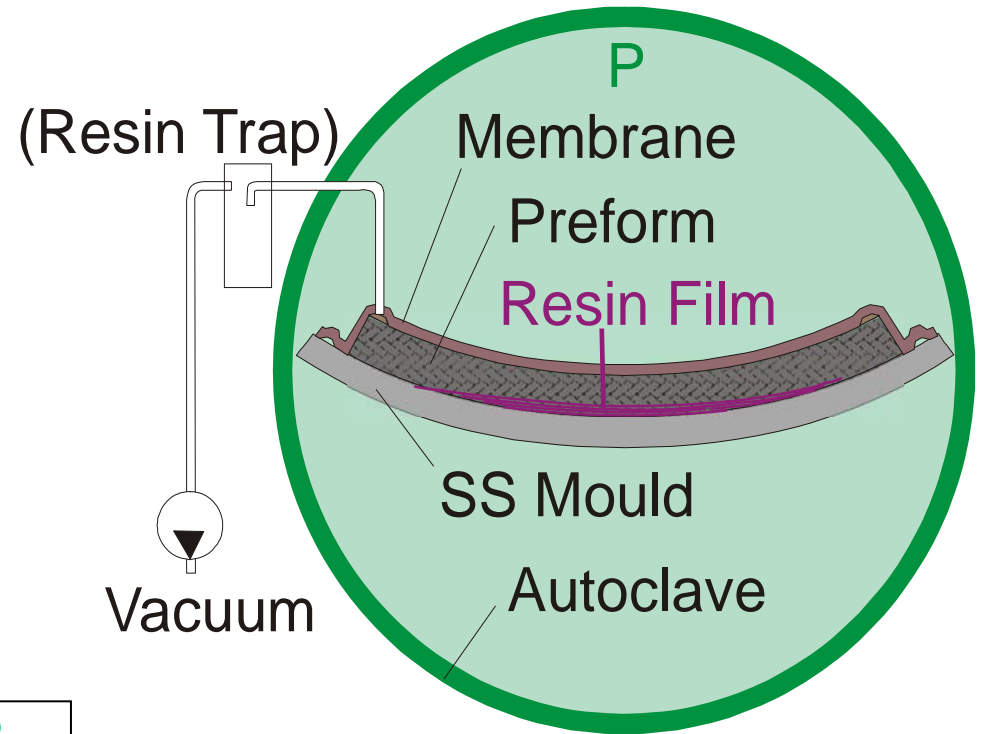
Prepreg Autoklav Prozess



Reproduzierbare Bauteilqualität:	😊 😊
Automatisierungspotenzial:	😞
Non Recurring Costs (Investment):	😞
Recurring Costs (Arbeitskraft):	😊 😞
Recurring Costs (Material):	😞
Realisierbare Komplexität:	😊

**Mögliche Anwendung
im Automobilbau:
Kleinst- und Kleinserien
Sonderfahrzeugbau, Rennsport**

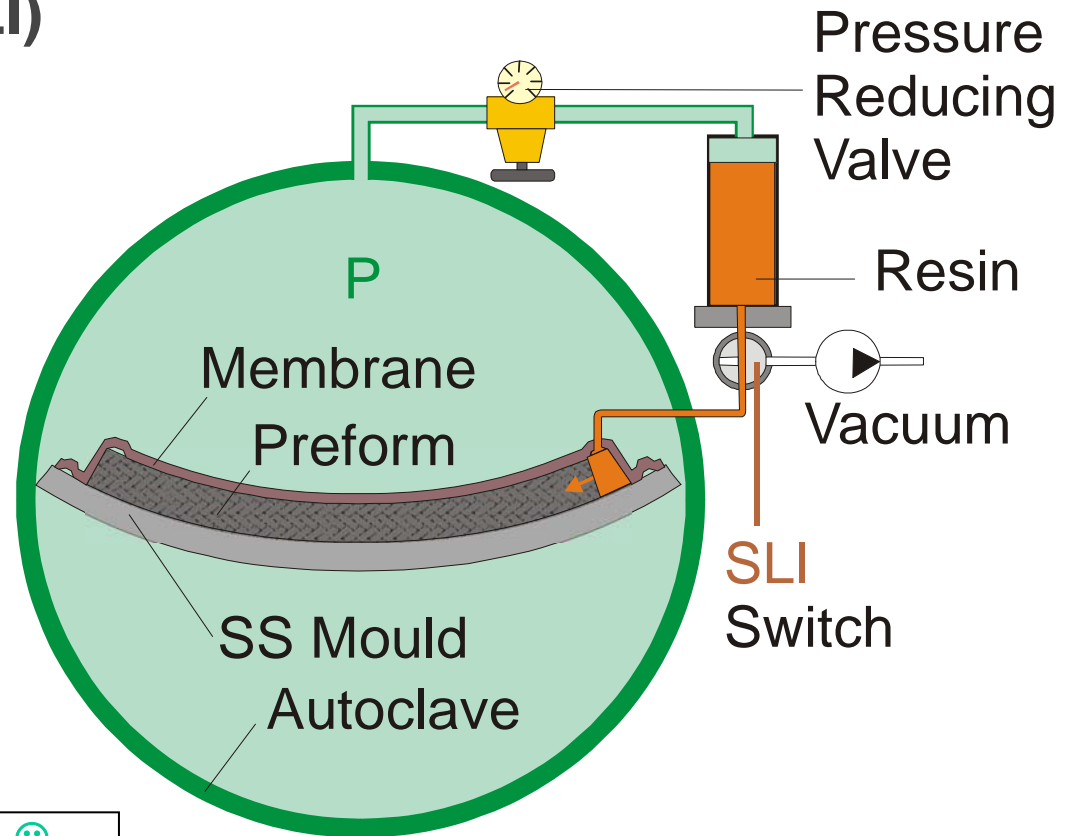
Resin Film Infusion Autoklav Prozess (RFI)



Reproduzierbare Bauteilqualität:	😊
Automatisierungspotenzial:	😞
Non Recurring Costs (Investment):	😞
Recurring Costs (Arbeitskraft):	😞😊
Recurring Costs (Material):	😞😊
Realisierbare Komplexität:	😞😊

**Mögliche Anwendung
im Automobilbau:
Kleinst- und Kleinserien
Sonderfahrzeugbau, Rennsport**

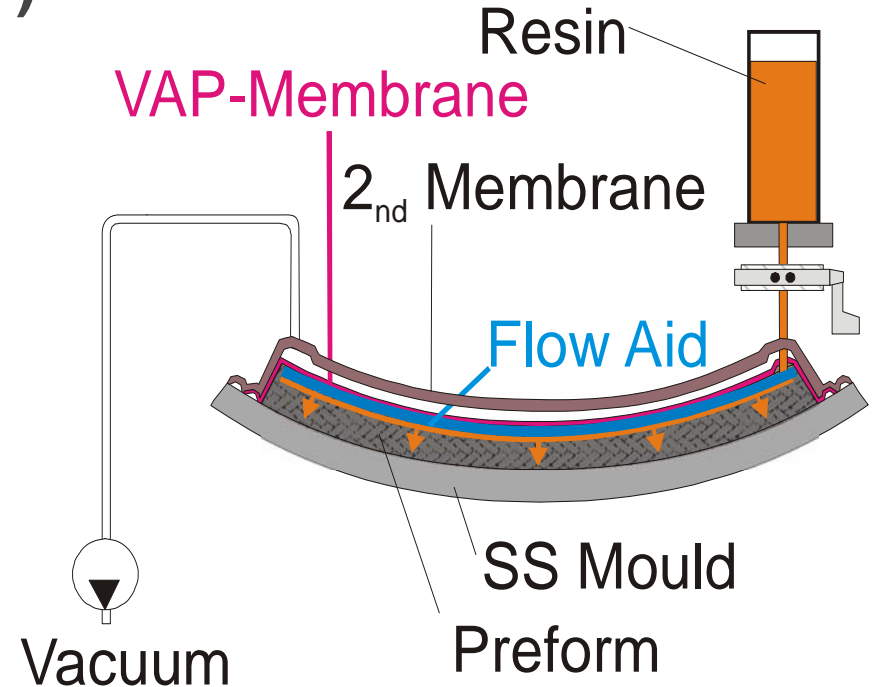
Single Line Injection (SLI)



Reproduzierbare Bauteilqualität:	😊
Automatisierungspotenzial:	😞
Non Recurring Costs (Investment):	😞
Recurring Costs (Arbeitskraft):	😞😊
Recurring Costs (Material):	😊
Realisierbare Komplexität:	😊

**Mögliche Anwendung
im Automobilbau:
Kleinst- und Kleinserien
Sonderfahrzeugbau, Rennsport**

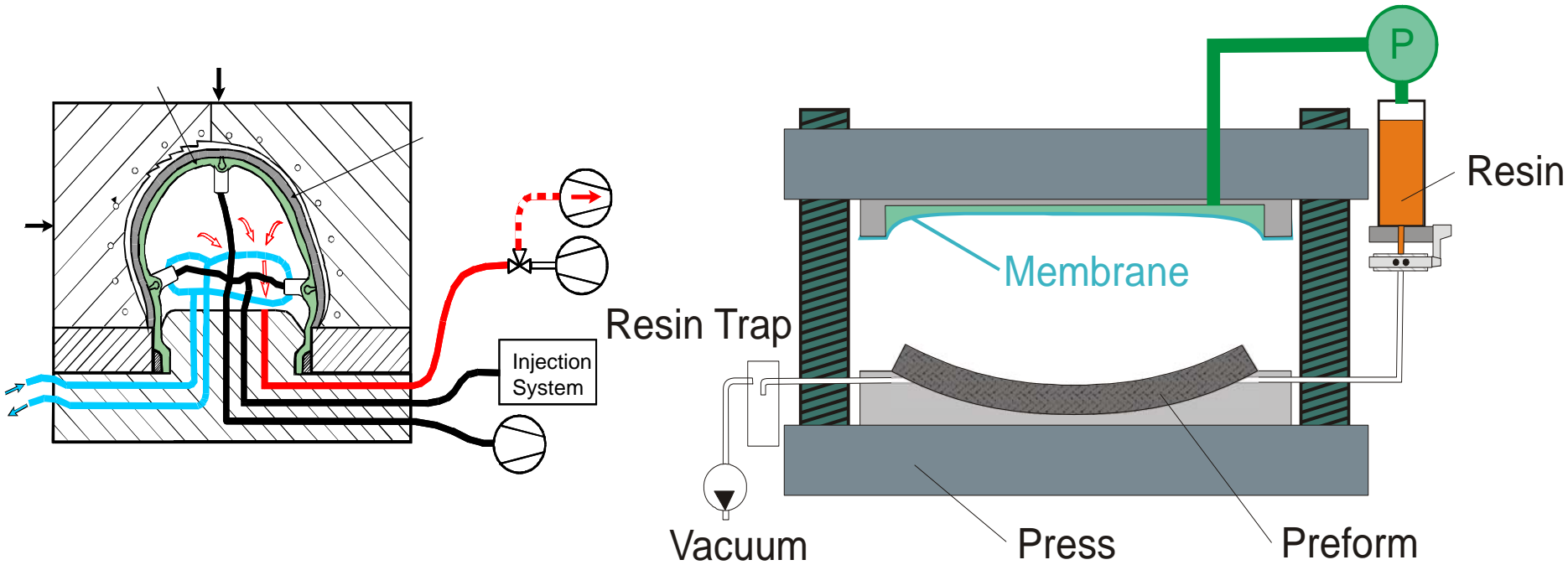
Vacuum Assisted Process (VAP)



Reproduzierbare Bauteilqualität:	😊
Automatisierungspotenzial:	😞
Non Recurring Costs (Investment):	😊
Recurring Costs (Arbeitskraft):	😞😊
Recurring Costs (Material):	😊
Realisierbare Komplexität:	😊

**Mögliche Anwendung
im Automobilbau:
Kleinst- und Kleinserien
Sonderfahrzeugbau, Rennsport**

Pressklavertechnik

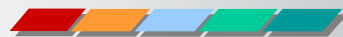


Reproduzierbare Bauteilqualität:	😊
Automatisierungspotenzial:	😊😊
Non Recurring Costs (Investment):	😞
Recurring Costs (Arbeitskraft):	😊
Recurring Costs (Material):	😊
Realisierbare Komplexität:	😞

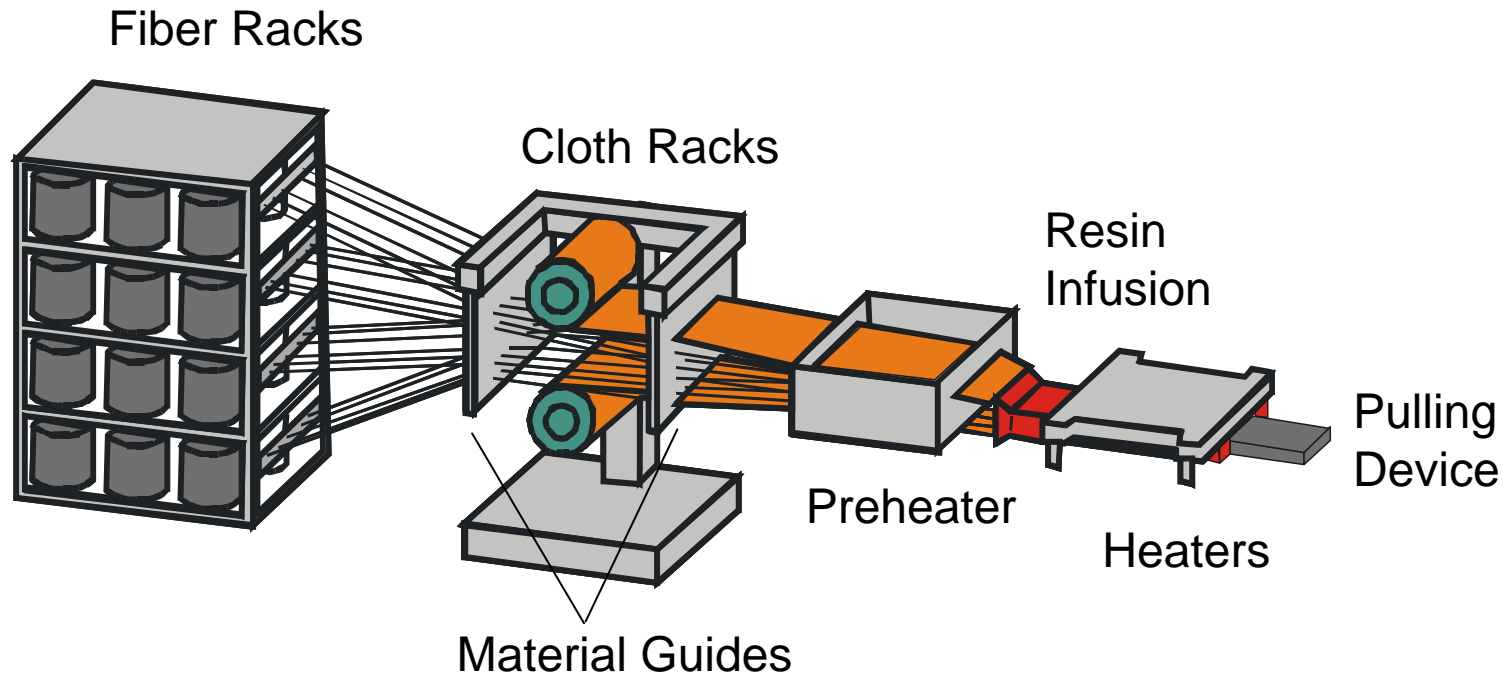
**Mögliche Anwendung
im Automobilbau:
Bis zur Großserie ?**



“Closed Mould” Konzepte



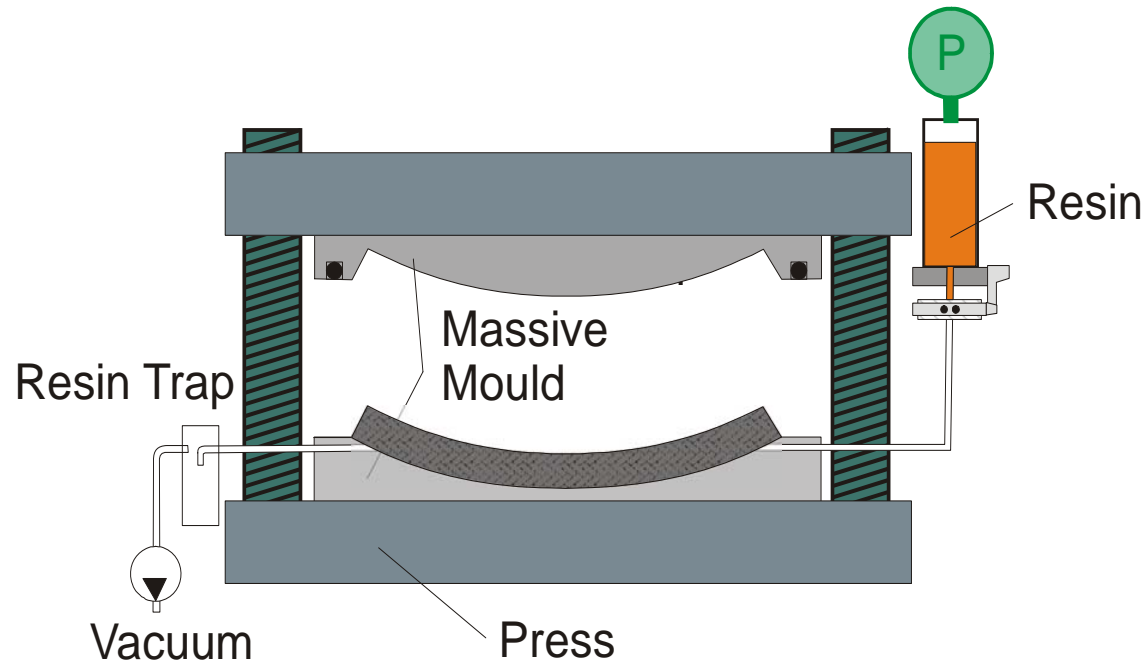
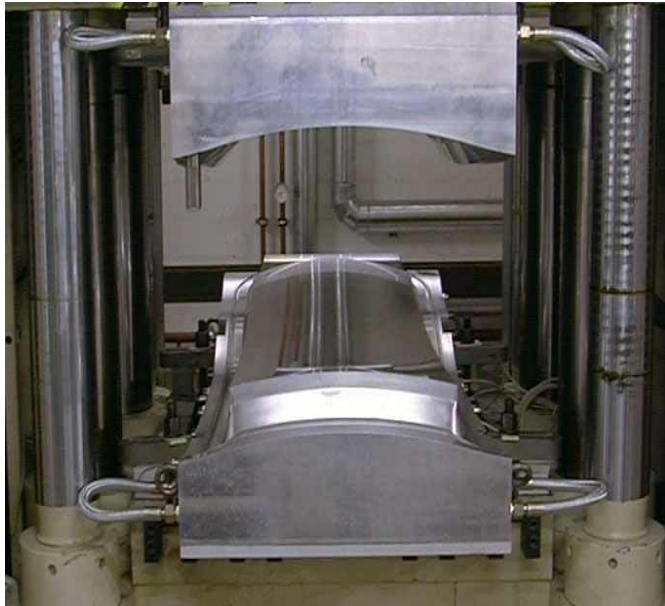
Pulltrusion



Reproduzierbare Bauteilqualität:	😊
Automatisierungspotenzial:	😊😊
Non Recurring Costs (Investment):	😞
Recurring Costs (Arbeitskraft):	😊
Recurring Costs (Material):	😊
Realisierbare Komplexität:	😞😞

**Mögliche Anwendung
im Automobilbau:
Bis zur Großserie**

Pressen RTM



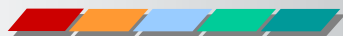
Reproduzierbare Bauteilqualität:	😊
Automatisierungspotenzial:	😊😊
Non Recurring Costs (Investment):	😞
Recurring Costs (Arbeitskraft):	😊
Recurring Costs (Material):	😊
Realisierbare Komplexität:	😞

**Mögliche Anwendung
im Automobilbau:
Bis zur Großserie ?**



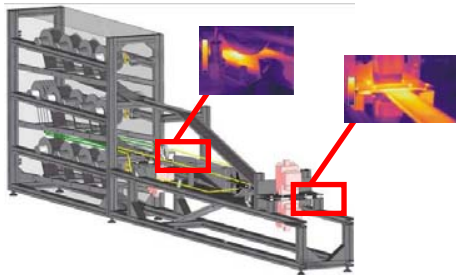
Aktuelle Entwicklungen im DLR

- Automatisierungskonzepte
- Qualitätssicherungskonzepte
- Multifunktionalität



Automatisierungskonzepte

Kontinuierliches Preforming
Variable Doppel-T u. H-Profile



Trockenfaserablage



Preformkonturbearbeitung



Mikrowellentechnik



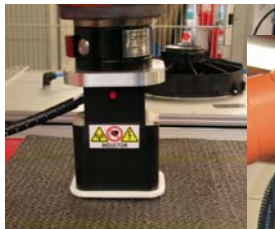
Wickeltechnik



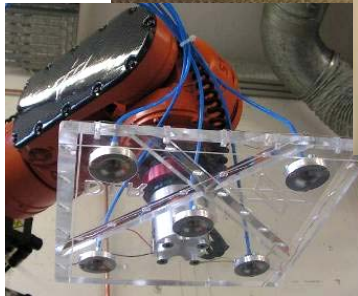
Parallelisierung
von AFP
Ablegeeinheiten



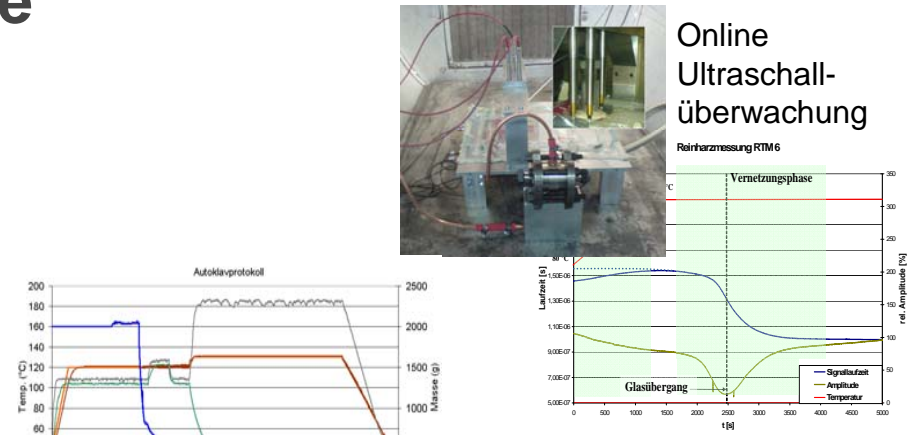
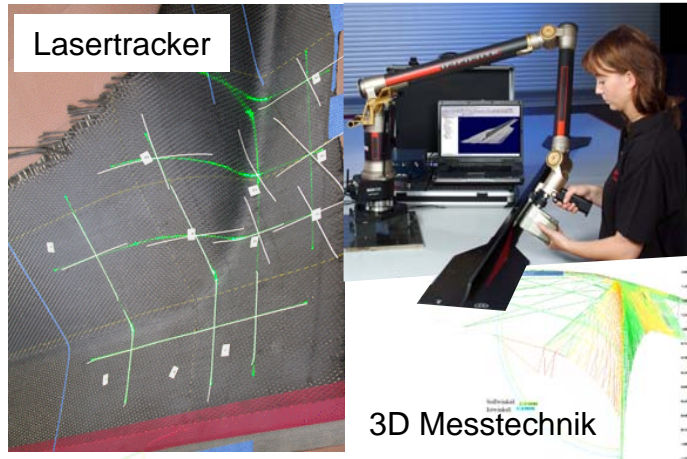
Infusionsanlagen



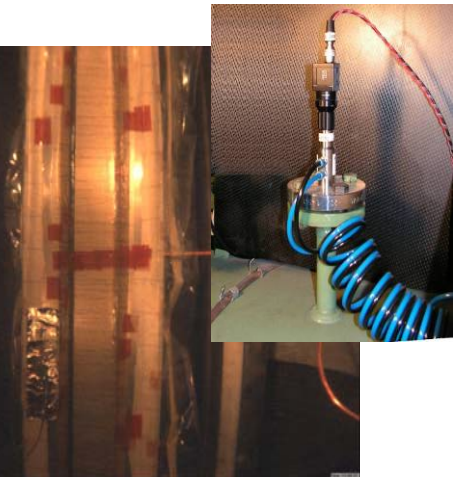
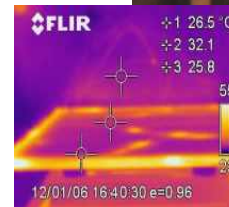
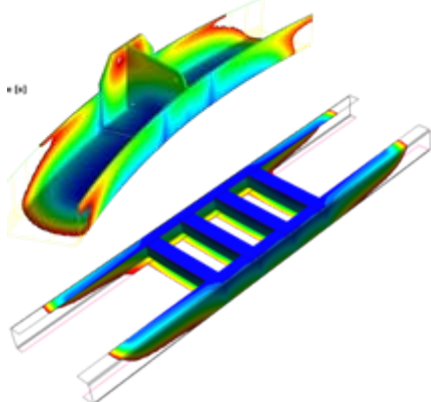
Roboter-
End-
effektoren



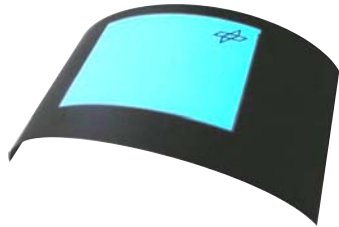
Qualitätssicherungskonzepte



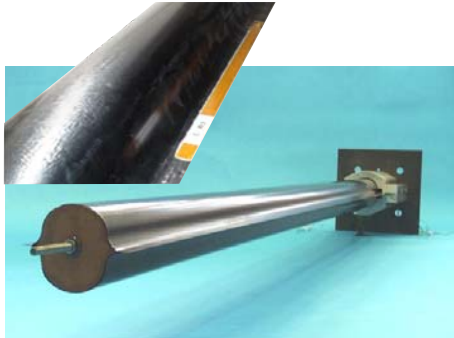
Prozessprotokoll mit Harzfluss



Multifunktionalität



Integr. Beleuchtung



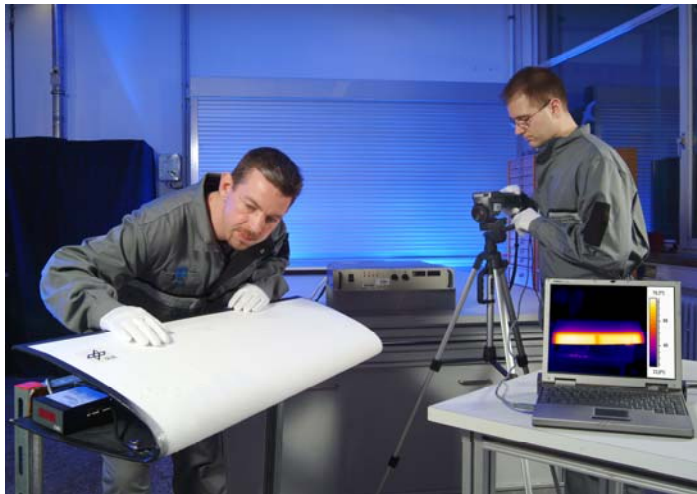
Integrierte Aktuatorik (Piezo)



Integrierte Sensorik (SHM)



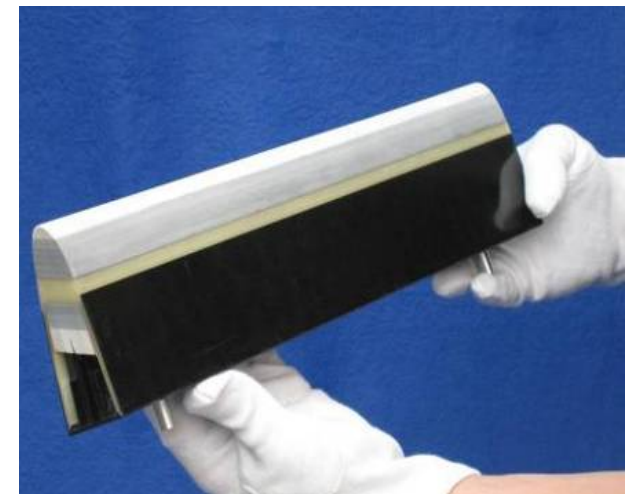
Integrierte Bedieneinheiten



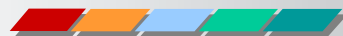
Integrierte elektrische Enteisung



Integrierte Antenne



Integrierte Radarabsorption (Stealth)



Zusammenfassung:

- **Bestehende Fertigungstechnologien für faserverstärkte Kunststoffe können im Automobilbau genutzt werden**
- **Automatisierungsansätze zur Erhöhung der Fertigungseffizienz sind derzeit im Fokus der Entwicklung**
- **Maßnahmen zur prozessintegrierten Qualitätssicherung werden gezielt entwickelt und erprobt**
- **Kostennachteile bei den Rohmaterialien können zum Teil durch Wertsteigerungsmaßnahmen kompensiert werden**

