Flüssigimprägnierverfahren

Von der Simulation zur Herstellung von komplexen und hoch-belastbaren Bauteilen aus Faser-Kunststoff-Verbundwerkstoffen

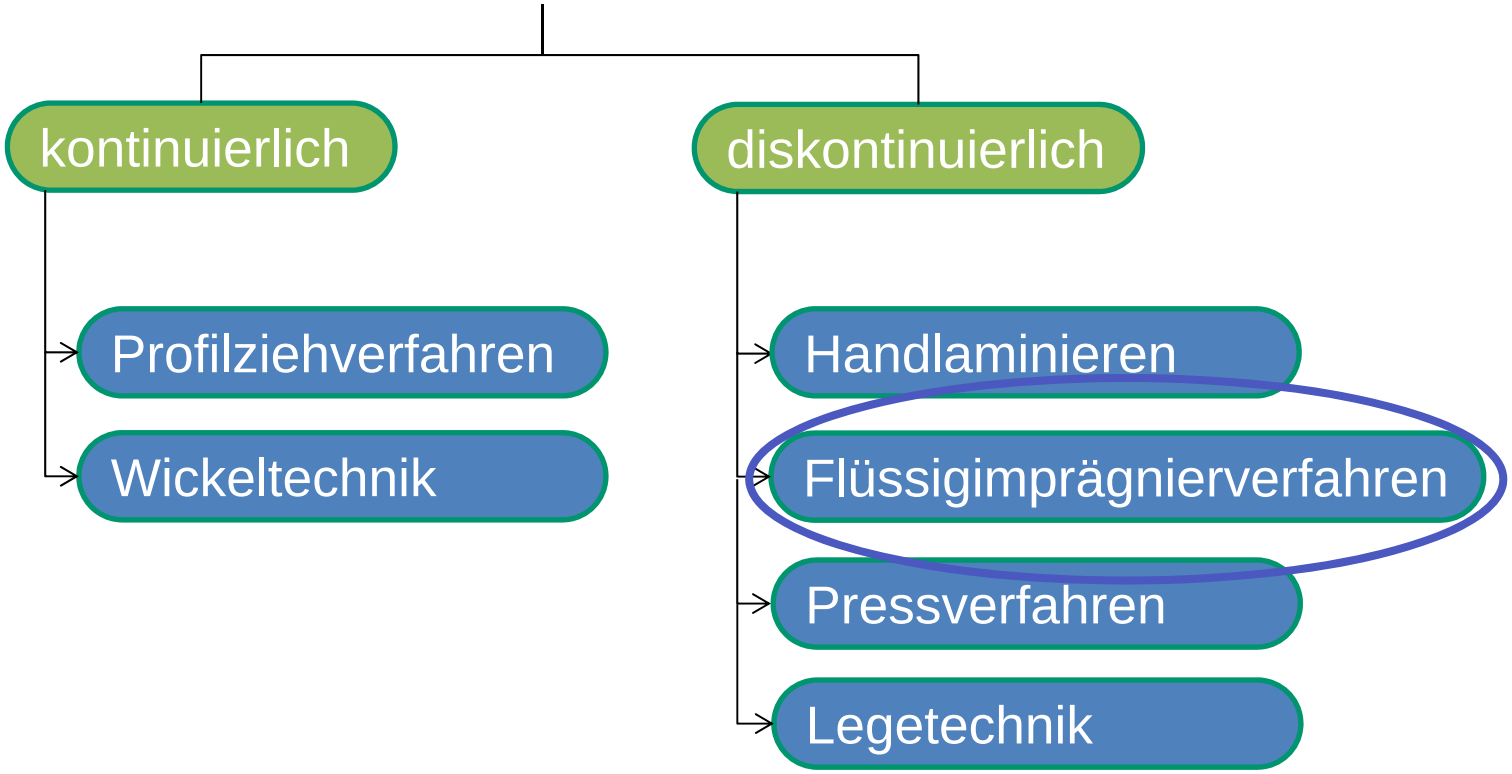
Dipl.-Ing. Dr. mont. Ewald FAUSTER
Lehrstuhl für Verarbeitung von Verbundwerkstoffen
Montanuniversität Leoben
Otto Glöckel-Straße 2
A-8700 Leoben

Tel.: +43 (0)3842 402 2708
E-Mail: ewald.fauster@unileoben.ac.at
Web: www.kunststofftechnik.at

Inhalt

- Einleitung
  - Flüssigimprägnierverfahren
  - Vakuuminfusionstechnik
- Füllsimulation
  - Motivation
  - Vorgehensweise
- Permeabilität
  - Bestimmung der Permeabilität
  - Optisches Permeameter
- CULT-Unterbodenteil
- Zusammenfassung

FKV-Verarbeitungsverfahren



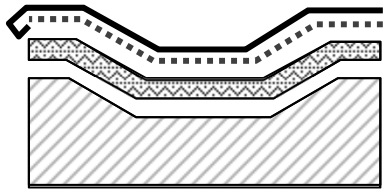
Flüssigimprägnierverfahren

- Druckinjektion
  - Resin Transfer Moulding (RTM)
  - Advanced RTM (ARTM)
  - Thermal Expansion RTM (TERTM)
  - Differential Pressure RTM (DPRTM)
  - Schlauchblas-RTM
- Vakuuminfusion
  - Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI)
  - Resin Film Infusion
  - Seaman Composites Resin Infusion Moulding Process (SCRIMP)

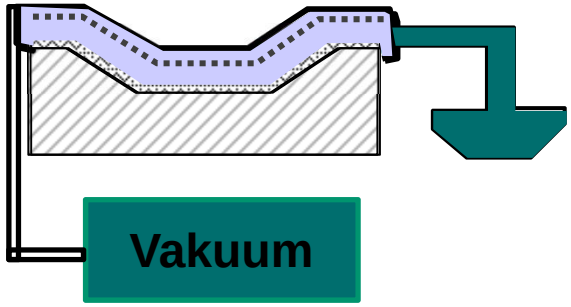
Verfahrensablauf Vakuuminfusionstechnik

- Herstellen der Preform aus trockenen textilen Verstärkungsmaterialien

- Einlegen der Preform ins Werkzeug, Anbringen von Hilfsmaterialien
  - Trennfolie
  - Abreißgewebe
  - Fließhilfe
  - Vakuumfolie
  - Dichtband



- Tränken der Preform durch Einziehen des Harzsystems per Vakuum



- Aushärten des FKV-Bauteils

Vakuuminfusionstechnik

- Vorteile:
  - Einfache Anlagentechnik
  - Geringe Investitionskosten
  - Gute Integrierbarkeit von Inserts, funktionellen Elementen
  - Realisierung von (einseitig) hoher Oberflächengüte
  - Eignung auch für komplexe Bauteilgeometrien

- Nachteile:
  - Einschränkungen bei der max. Fließweglänge
  - Kaum Möglichkeiten zur Automatisierung
  - Hoher manueller Arbeitsaufwand
  - Hohe Zykluszeiten -> Geringe Stückzahlen

Zielsetzungen Vakuuminfusionstechnik

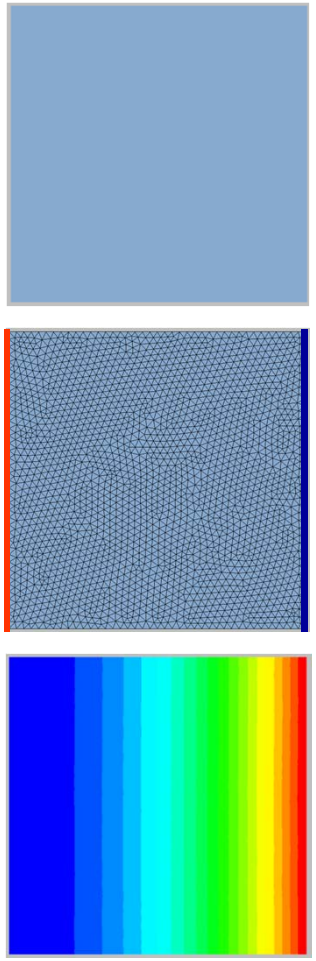
- „Optimale“ Füllstrategie finden
  - Anzahl, Art und Position der Injektionsstellen
  - Anzahl, Art und Position der Entlüftungsstellen
  - Vollständige Füllung der Form gewährleisten

- Fehlversuche vermeiden/minimieren
  - Kosten- und Arbeitsaufwand
  - „Try-and-Error“- Strategie vermeiden

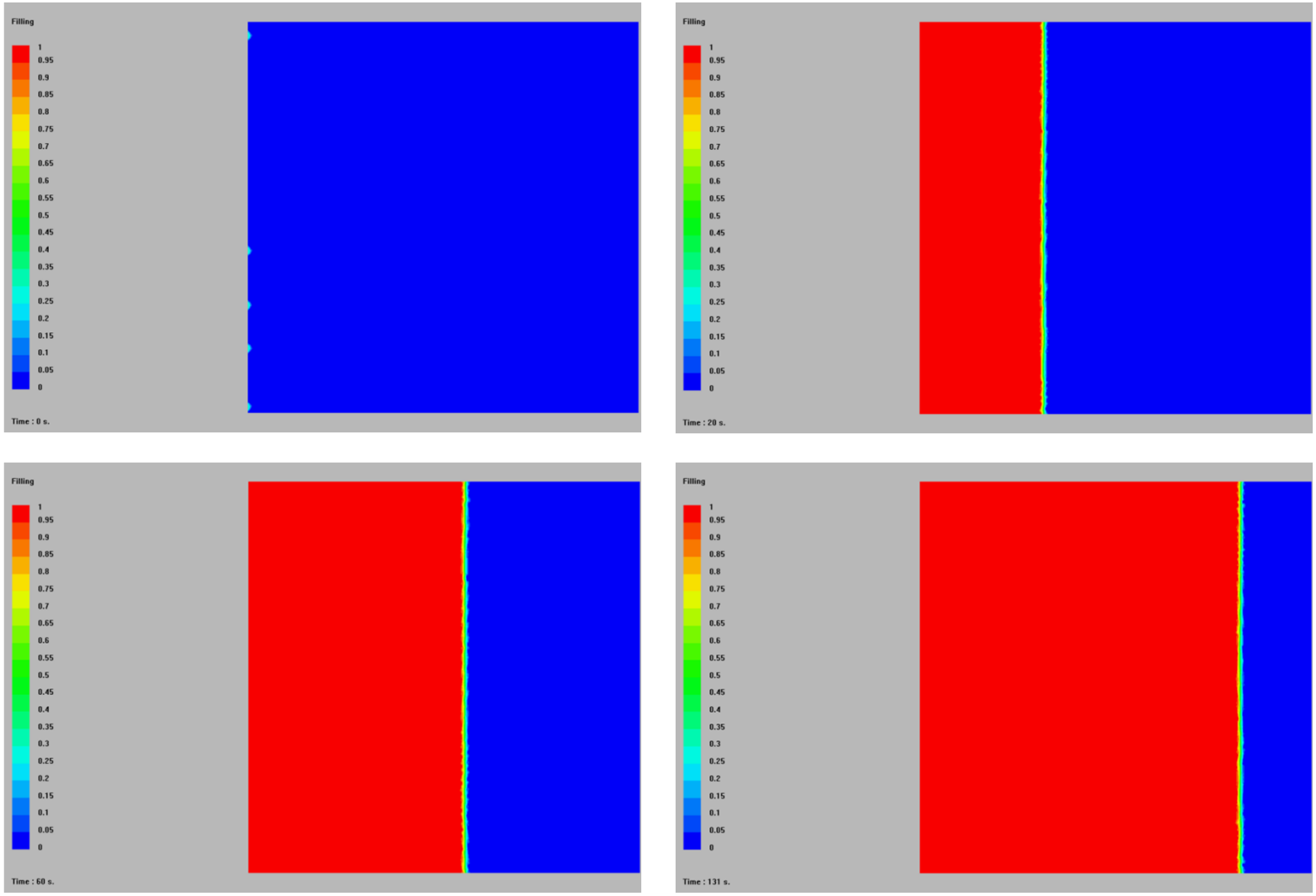
=> Füllsimulation!

Vorgehensweise Füllsimulationen

- Ausgangsbasis: CAD-Daten des FKV-Bauteils
- Vernetzung der Geometrie
- Vorgabe Werkstoffparameter
  - Definition der Verstärkungsmaterialien (Dichte, Flächengewicht, Kompaktierungskurve, Permeabilität, …)
  - Definition des Matrixwerkstoffs (Dichte, Viskosität-Temperatur-Kurve, …)
  - Zuweisung von Zoneneigenschaften
- Vorgabe Prozessparameter
  - Festlegen Infusionsstellen, Ansaugpunkte, …
  - Definition der Füllstrategie (Druckverhältnisse, Entlüftungen, …)
- Durchführen der Füllsimulation (z.B. PAM-RTM®)



Füllsimulation an einer einfachen Platte



Vorgehensweise Füllsimulationen

- Ausgangsbasis: CAD-Daten des FKV-Bauteils
- Vernetzung der Geometrie
- Vorgabe Werkstoffparameter
  - Definition der Verstärkungsmaterialien (Dichte, Flächengewicht, Kompaktierungskurve, Permeabilität, …)
  - Definition des Matrixwerkstoffs (Dichte, Viskosität-Temperatur-Kurve, …)
  - Zuweisung von Zoneneigenschaften
- Vorgabe Prozessparameter
  - Festlegen Infusionsstellen, Ansaugpunkte, …
  - Definition der Füllstrategie (Druckverhältnisse, Entlüftungen, …)
- Durchführen der Füllsimulation (z.B. PAM-RTM®)

Permeabilität

- Mit dem Begriff **Permeabilität** wird die **Durchlässigkeit** von **porösen Medien** für die Tränkung mit Fluiden bezeichnet

- Ursprünglich geologische Untersuchungen von **Henry Darcy** zum Fließvorgang von Wasser in porösen Sandschichten

- **Gesetz von Darcy** (1-dimensional):

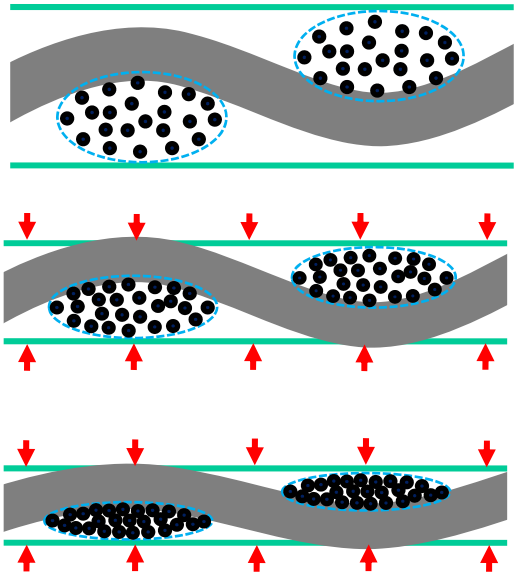
$$v_x = -\frac{k_x}{\eta}\frac{\Delta p}{\Delta x}$$

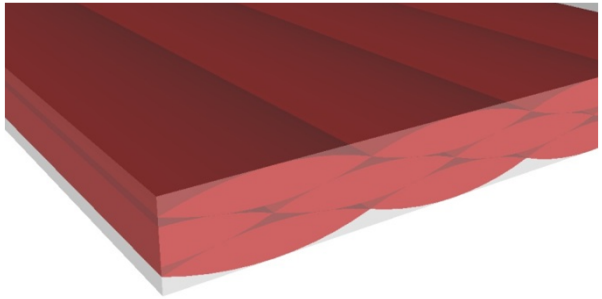
v_x	Fließgeschwindigkeit [m/s]
k_x	Permeabilität [m²]
η	Viskosität [Pa s]
Δp	Druckdifferenz [Pa]
Δx	Fließweglänge [m]

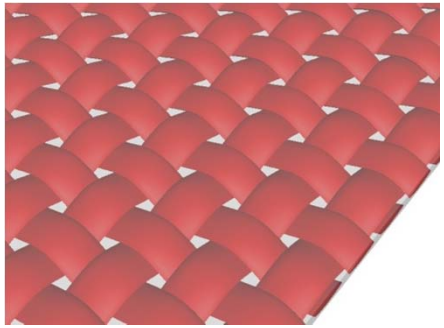
Permeabilität

- **Permeabilität** in der FKV-Verarbeitung:
  - Durchlässigkeit von **textilen Verstärkungsstrukturen** für die **Imprägnierung** mit dem Matrixwerkstoff

- Maßgebliche Einflussgrößen:
  - Faservolumengehalt
  - Kompaktierung
  - Architektur der Verstärkungsstruktur



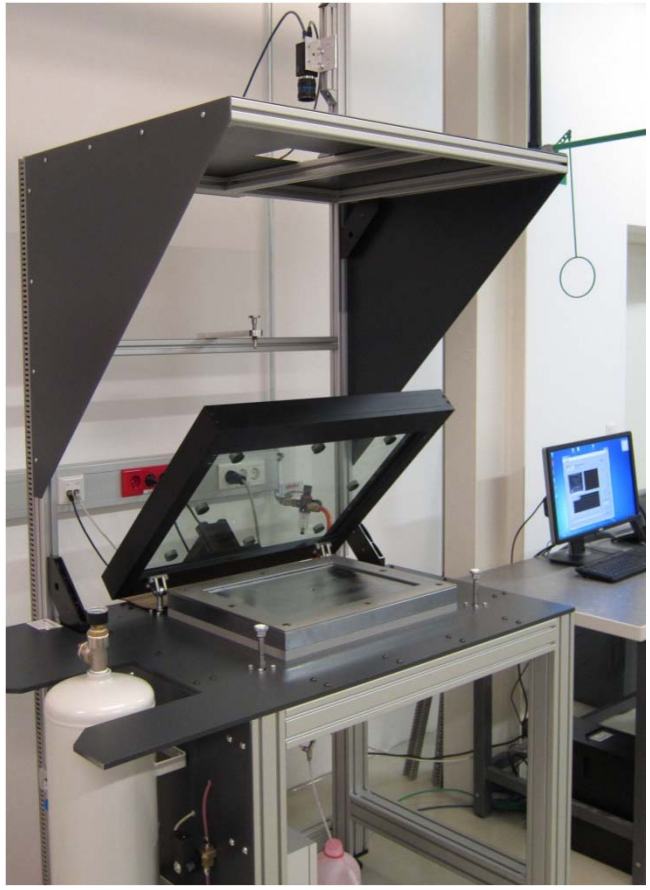




2-dimensionale Permeabilitätsbestimmung

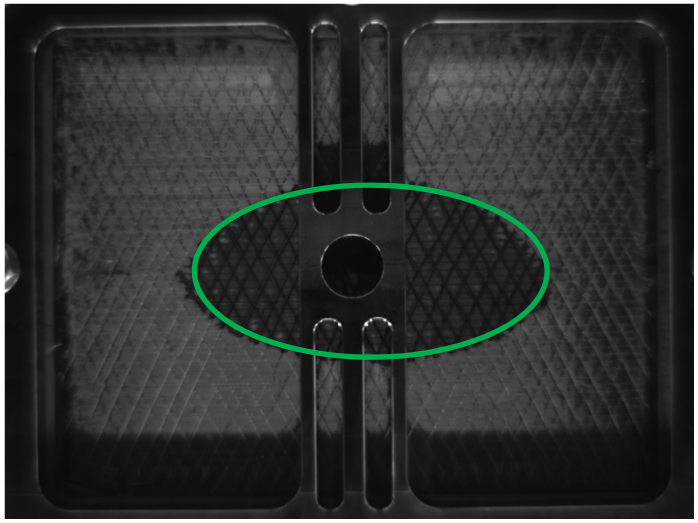
- Grundsätzlicher Ablauf:
  - Experimentelle Bestimmung des zeitlichen Fließfrontfortschritts
  - Mathematische Berechnung der 2-dimensionalen Permeabilitätswerte

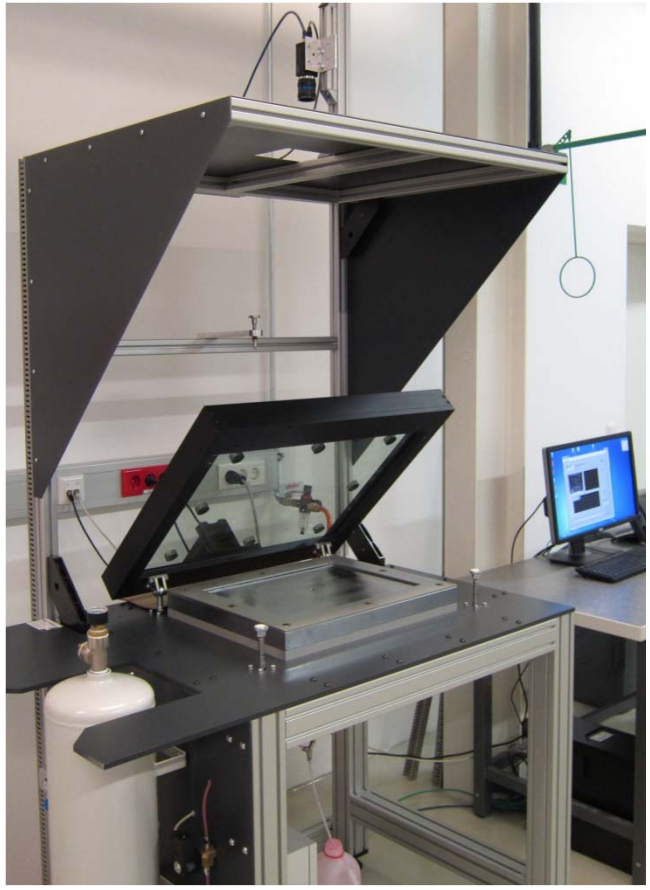
- Experimentelle Ansätze:
  - Kapazitive Messung
  - Optische Messung



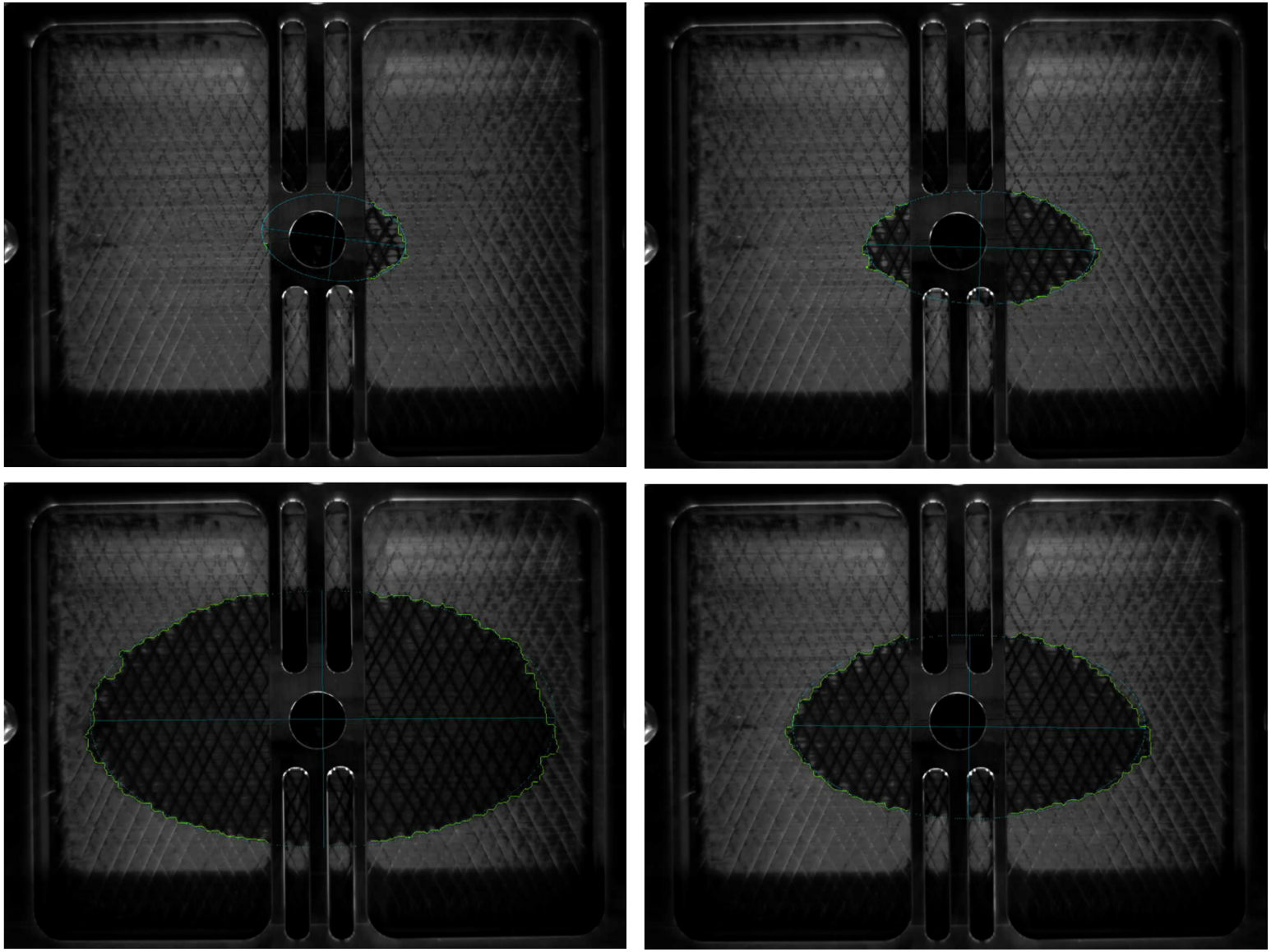
Optische Permeabilitätsbestimmung

- Grundsätzlicher Ablauf:
  - Einlegen der Preform
  - Schließen der Kavität
  - Start der Injektion mit Ersatzfluid
  - Aufnahme einer Bildsequenz der sich ausbreitenden Fließfront
  - Auswertung der Sequenzbilder per digitaler Bildverarbeitung

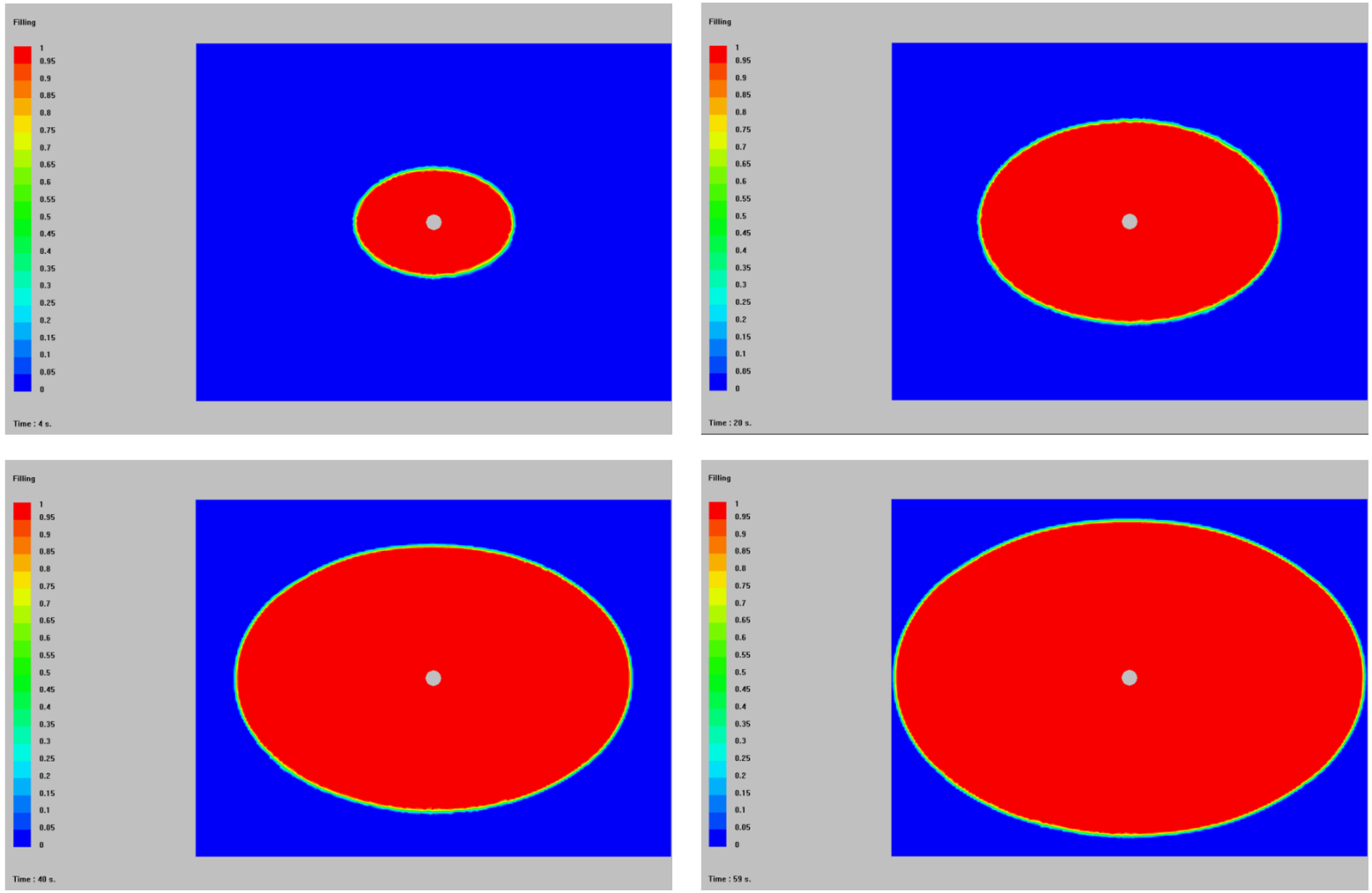




Optische Permeabilitätsbestimmung

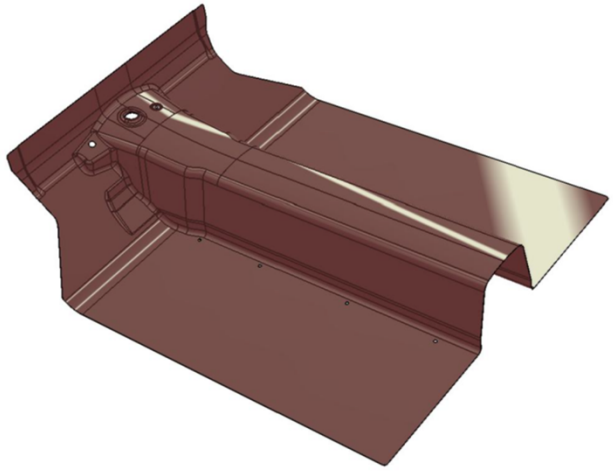


Füllsimulation Permeabilitätsversuch

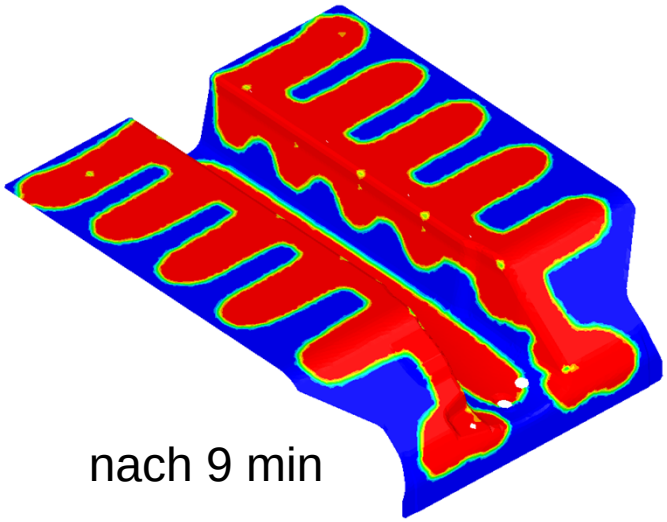


CULT-Unterbodenteil

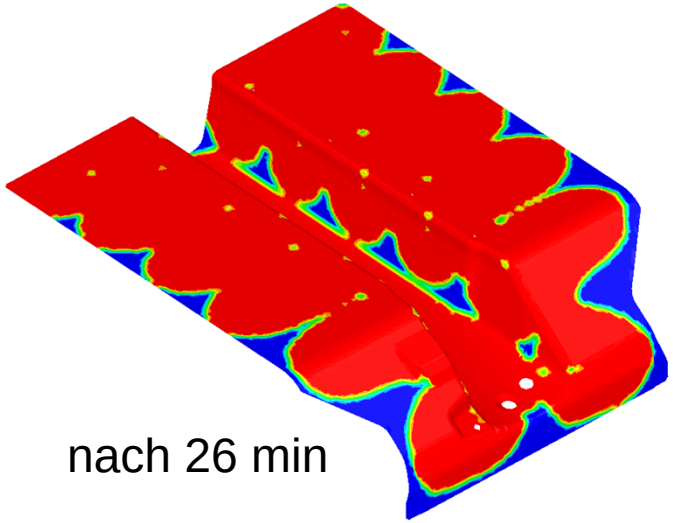
- Kenndaten:
  - Hauptabmessungen:
    1400 x 1400 x 300 mm³
  - Sandwich-Aufbau über Decklagen und Schaumkerne
  - Inserts zur Montage an den Rahmenträgern sowie zur Aufnahme der Sitzanbindungen



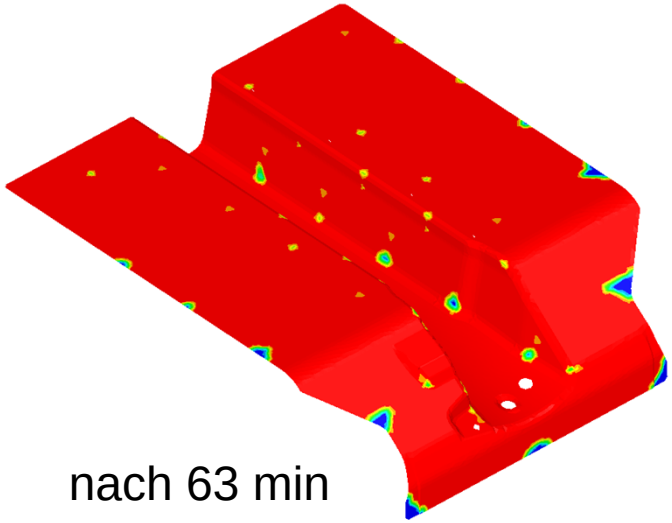
Füllsimulation CULT-Unterbodenteil



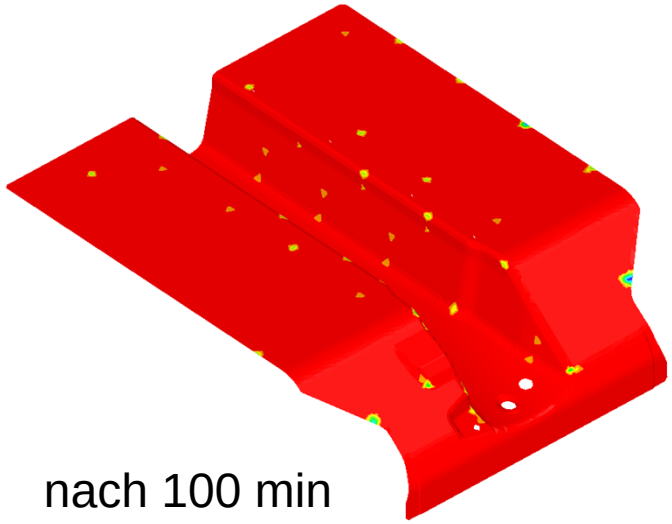
nach 9 min



nach 26 min



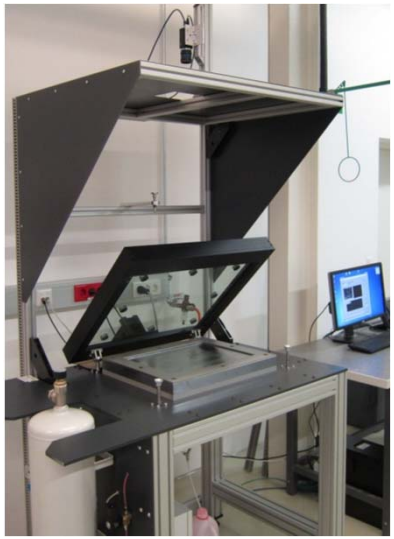
nach 63 min

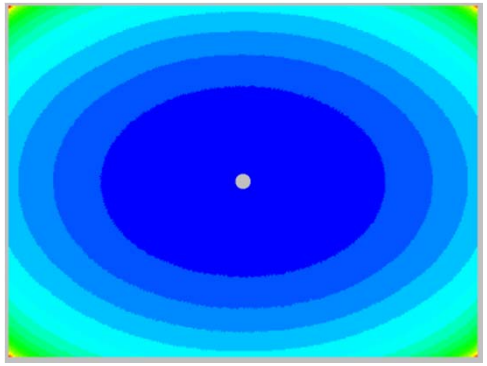


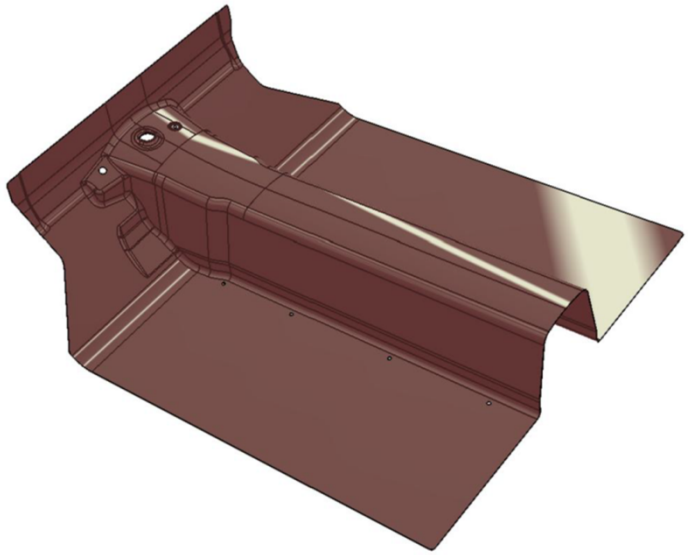
nach 100 min

Zusammenfassung

- Durchgängigkeit:
  - von der Kennwertermittlung (Permeameter)
  - über Simulationstechnik (Füllsimulation mit PAM-RTM®)
  - zum Prozess („optimale“ Infusionsstrategie)
  - und zur Herstellung des finalen FKV-Bauteils







Danksagung

- Die gegenständlichen Forschungsarbeiten sind im Rahmen des Projektvorhabens "Cars´ Ultra Light Technologies - CULT" entstanden.
  Dieses Projekt wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Programms „NEUE ENERGIEN 2020“ durchgeführt.

- Wir bedanken uns bei **4a technology gmbh** als auch bei der **Institut für Verbundwerkstoffe GmbH** für die Unterstützung bei der Durchführung der Füllsimulationen.

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Dipl.-Ing. Dr. mont. Ewald FAUSTER
Lehrstuhl für Verarbeitung von Verbundwerkstoffen
Montanuniversität Leoben
Otto Glöckel-Straße 2
A-8700 Leoben

Tel.: +43 (0)3842 402 2708
E-Mail: ewald.fauster@unileoben.ac.at
Web: www.kunststofftechnik.at