TCKT
Transfercenter für Kunststofftechnik GmbH

Materialcharakterisierungsmethoden für die virtuelle Produktentwicklung von Leichtbauteilen aus faserverstärktem Kunststoff

Michael Thor

4a Technologietag 2015
06.03.2015

© TCKT 2015

TCKT
Transfercenter für Kunststofftechnik GmbH

Aktuelle Daten

- **Eigentümerverhältnisse**
  - 74 % Upper Austrian Research GmbH
  - 13 % Johannes Kepler Universität Linz
  - 13 % Fachhochschule Oberösterreich

- **Tätigkeiten 2014:**
  - 402 Aufträge
  - 30 Forschungsprojekte
  - 35 Publikationen

UAR Upper Austrian Research GmbH

JKU JOHANNES KEPLER UNIVERSITÄT LINZ

FH OBERÖSTERREICH

Forschungs LAND OBERÖSTERREICH

TCKT
Transfercenter für Kunststofftechnik GmbH

TCKT Struktur

Schwerpunkte

Material-entwicklung	Werkstoff-charakterisierung	Simulation	Prozess-technik

Forschungsthemen

- Naturfaserverstärkte Polymere und Biopolymere
- Additive und Füllstoffe
- Composite und Leichtbau
- Recycling
- Interface in polymeren Werkstoffverbunden

TCKT
Transfercenter für Kunststofftechnik GmbH

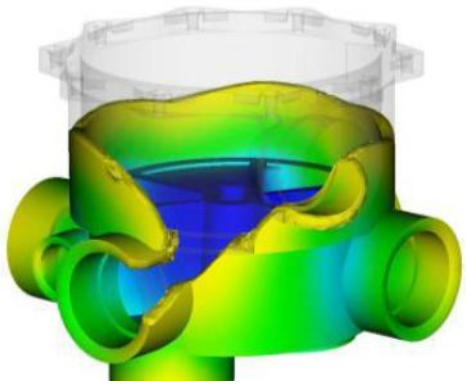
Composite/Leichtbau

- **Verfahren**
  - RTM, VARI, Autoklav, …
- **Anlagentechnik**
  - RTM Injektionseinheit
  - Kombinierte 2K-Infusions- und Injektionseinheit
  - Heizpresse 680kN
  - Industrieofen
  - Autoklav AK130/300
- **Prüfmethoden**
  - Zug- und Druckprüfung, ILSS, 3- und 4-Punkt Biegeprüfung nach ISO und ASTM Normen
  - Zyklische Ermüdungsversuche MTS
  - Phased Array Ultraschall Prüfung

TCKT
Transfercenter für Kunststofftechnik GmbH

Simulation/CAE

- **Simulationsbereiche**
  - Spritzgießprozesse
  - Thermische Auslegung von Werkzeugen
  - Strukturmechanische Berechnungen
  - LCM-Prozesssimulation
- **Berechnungsprogramme**
  - Autodesk Moldflow
  - MSC AFEA (Patran, Marc)
  - PAM-RTM / PAM-QUICKFORM
  - Solid Works Simulation



Projektübersicht

 © M. Thor

TCKT
Transfercenter für Kunststofftechnik GmbH

Material parameter determination for LCM process simulations

- Permeability of reinforcements
  - Experimental measurement
  - Numerical simulation
    - Textile modelling
      - Specialized software (WiseTex, TexGen)
      - CAD modelling
      - CT Computer tomography
- Resin viscosity
  - Rotation viscometer
  - Ford viscosity cup
  - Rheometer
- Locking angle of woven fabrics
  - Picture frame test
  - Bias extension test
- Resin cure kinetics
  - DSC Differential scanning calorimetry
  - DEA Dielectric analysis

LCM Liquid Composite Moulding Prozesssimulation

Drapiersimulation

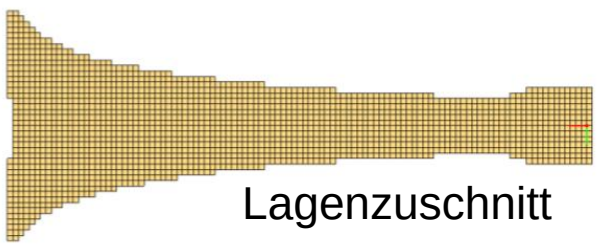
- Ist es möglich das verwendete Gewebe in die Form meines Bauteils zu bringen? Wird der maximale Scherwinkel überschritten?
- Welchen Einfluss hat eine Scherung des Materials auf die mechanischen und rheologischen Eigenschaften?
- Welche Form haben meine Lagenzuschnitte?

Füllsimulation

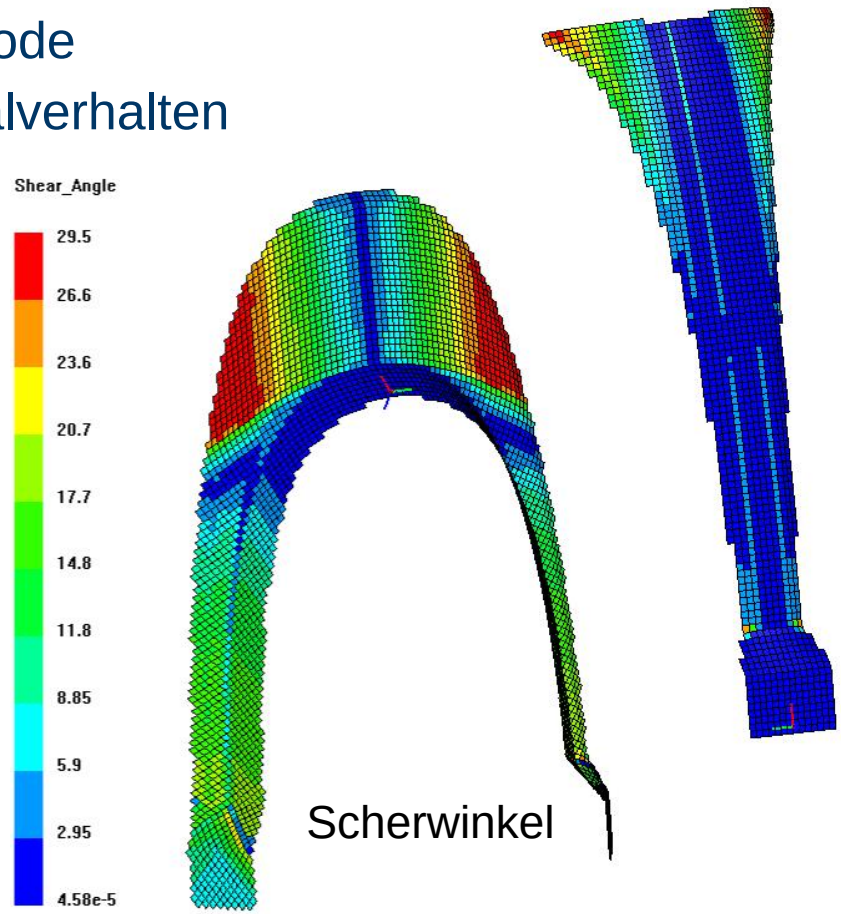
- Wie viel Zeit benötigt der Füllvorgang?
- Hat die Schwerkraft einen Einfluss auf das Füllen?
- Wo sollten Fließhilfen/Runner platziert werden?
- Wie viel Druck wird für die Füllung benötigt?
- Gibt es möglicherweise trockene, ungefüllte Stellen im Bauteil?

LCM Liquid Composite Moulding
1. Drapiersimulation

- Kinematisches Drapieren → Pin-joint Methode
- Rein geometrischer Ansatz → Kein Materialverhalten
- Generierung von Lagenzuschnitten
- Schneller und einfacher Einsatz
- In vielen Softwarepaketen implementiert
- Gute Ergebnisse für einfache Geometrien

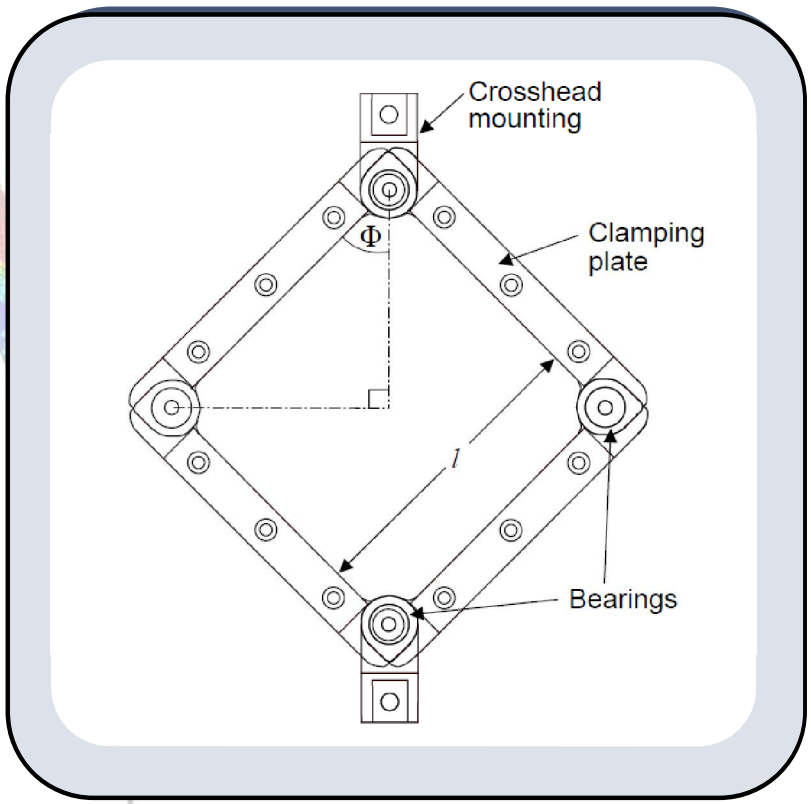


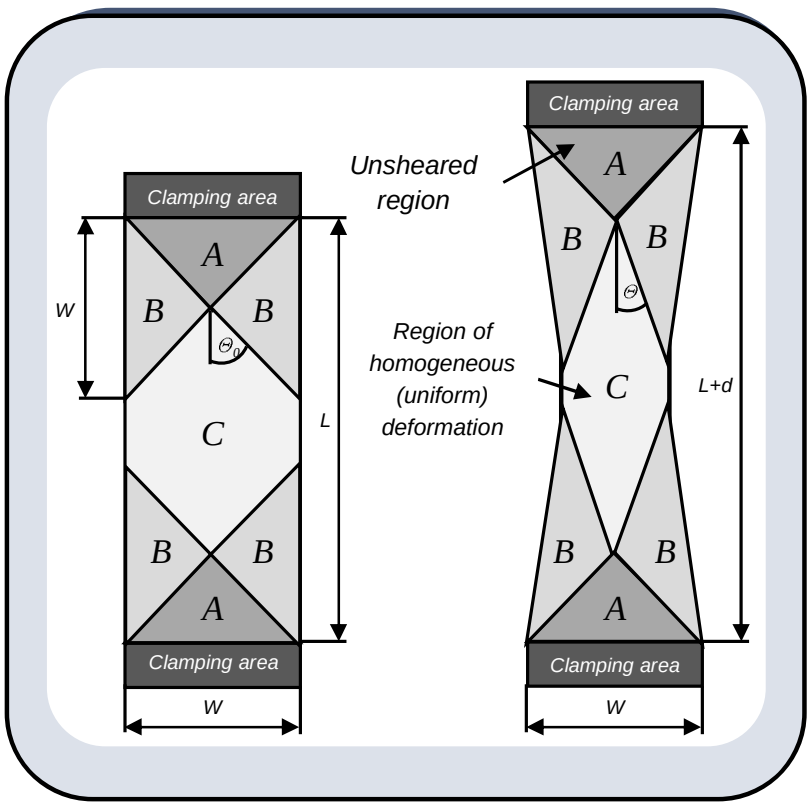
Lagenzuschnitt

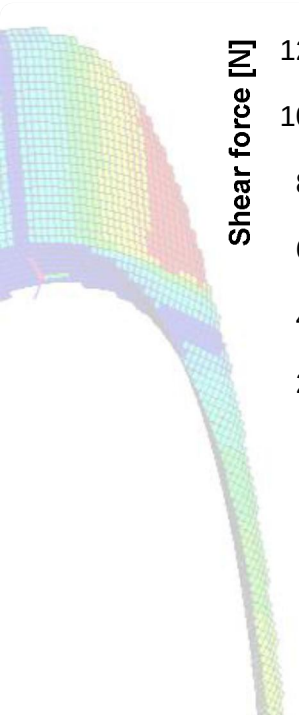


Scherwinkel

Picture Frame Test vs. Bias Extension Test

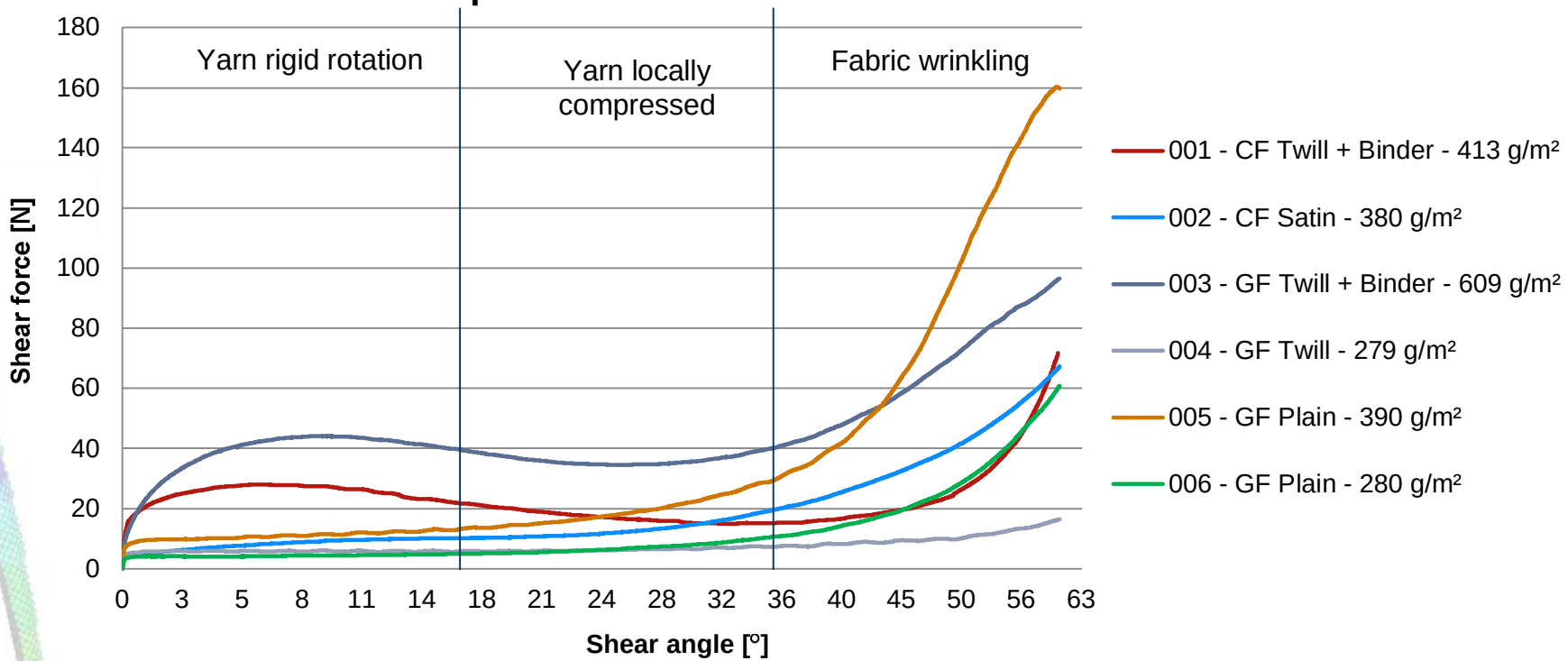


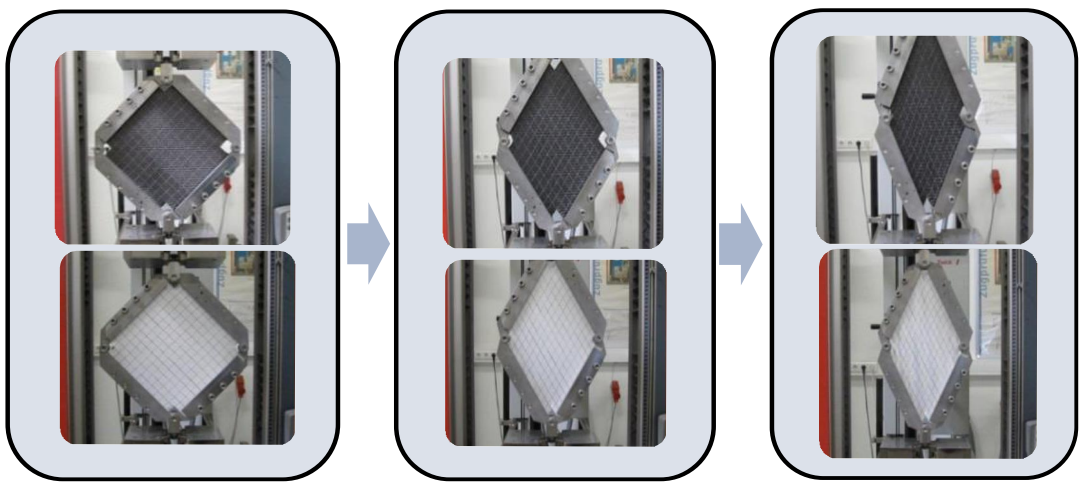




TCKT
Transfercenter für Kunststofftechnik GmbH

Comparison of Picture-Frame-Test results





LCM Liquid Composite Moulding
2. Füllsimulation

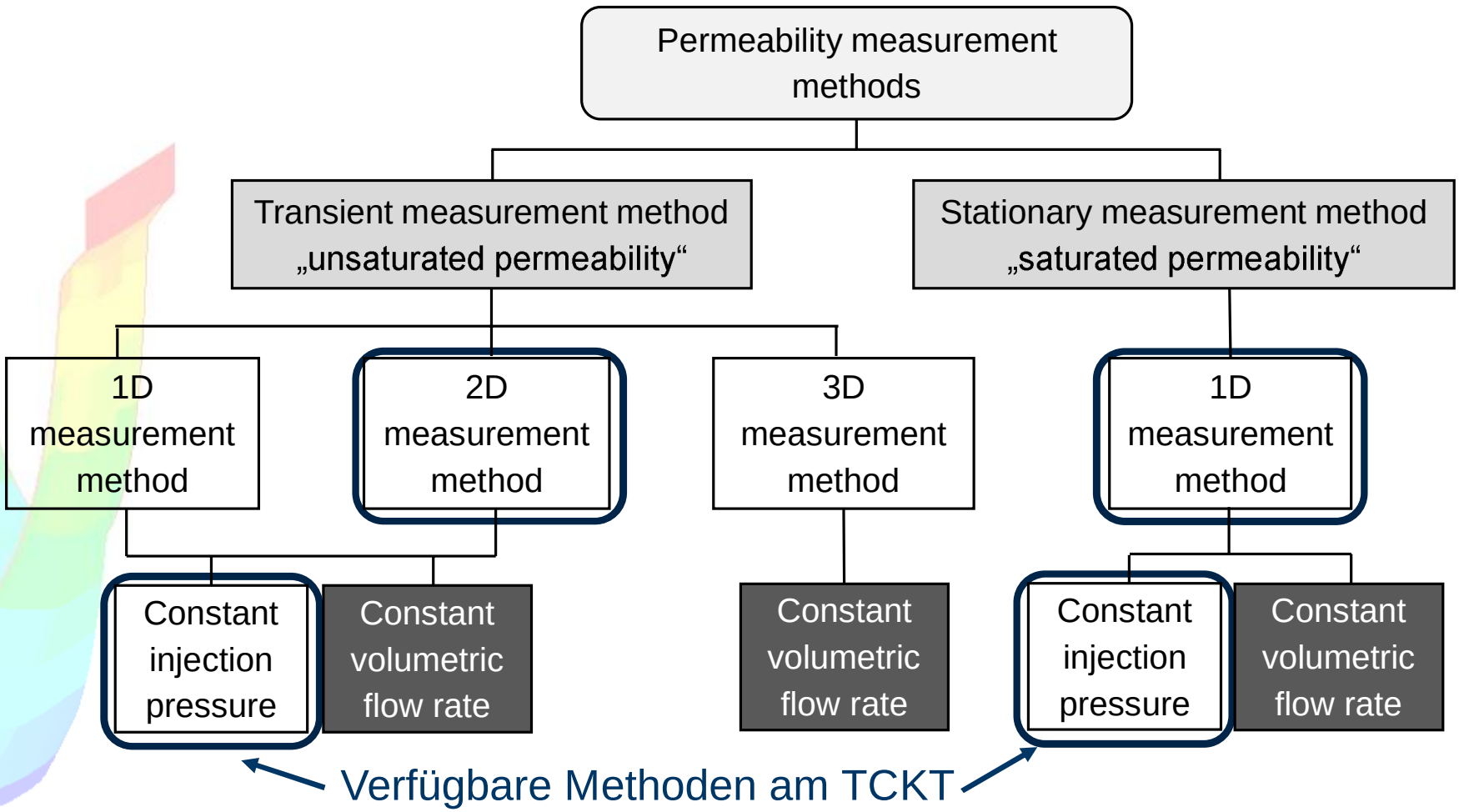
Gesetz von Darcy

$$v_{Fließfront} = -\frac{K}{\eta}\frac{\Delta p}{\Delta x}$$

Annahmen	Auswirkung
Keine Schwerkraft und Oberflächenkräfte	Δp ist treibende Kraft
Inkompressibles Fluid	ρ = konst.
Newton´sches Fluid	η=η(T)
Stationärer / kriechender Fluss	Re < 1 dv/dt = 0
Makrofluss	K_{roving} ~ 0
Homogenes poröses Halbzeug	K = konst.
Konstante Viskosität	dη/dx = 0
Gesättigte Strömung	Komplette Durchdringung des porösen Mediums

Permeabilitäts-messmethoden

$$v_{Fließfront} = -\frac{K}{\eta}\frac{\Delta p}{\Delta x}$$



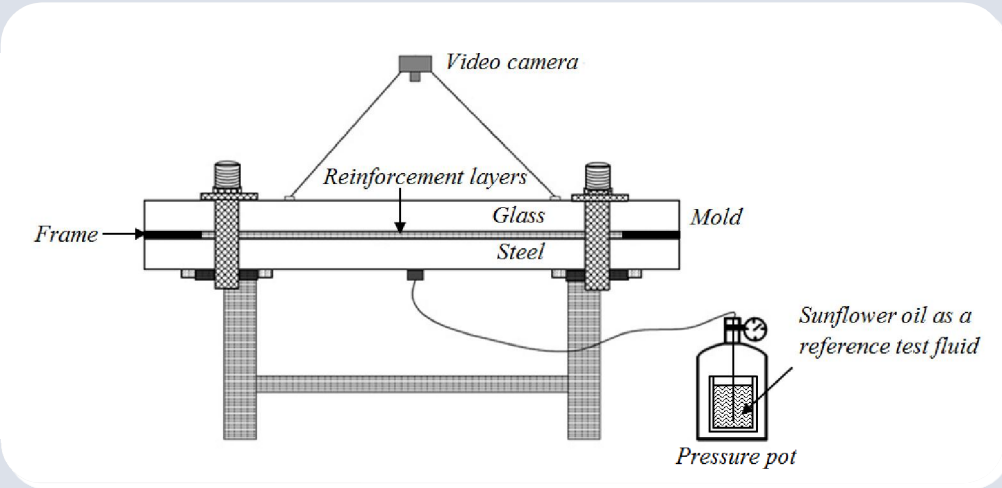
2D-Permeabilität

$$v_{Fließfront} = -\frac{K}{\eta}\frac{\Delta p}{\Delta x}$$

In-plane components / 2D tensor

$$K = \begin{bmatrix} K_{11} & 0 & 0 \\ 0 & K_{22} & 0 \\ 0 & 0 & K_{33} \end{bmatrix}$$

Off-plane component / through thickness permeability



$$K = \frac{\Phi\eta}{4\Delta p}\cdot\frac{1}{t_f}\left(r_f^2\left(2\ln\left(\frac{r_f}{r_0}\right)-1\right)+r_0^2\right)$$

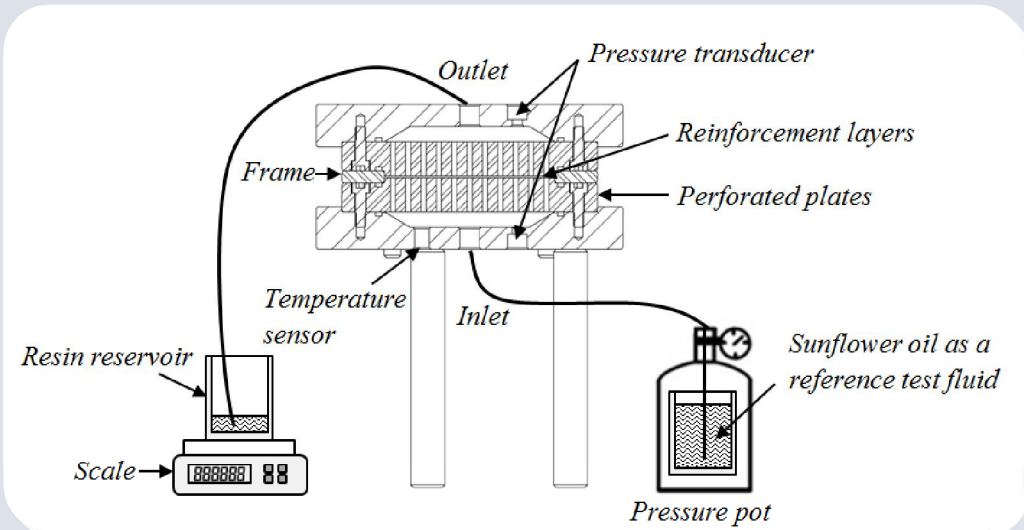
3D-Permeabilität

$$v_{Fließfront} = -\frac{K}{\eta}\frac{\Delta p}{\Delta x}$$

In-plane components / 2D tensor

$$K = \begin{bmatrix} K_{11} & 0 & 0 \\ 0 & K_{22} & 0 \\ 0 & 0 & K_{33} \end{bmatrix}$$

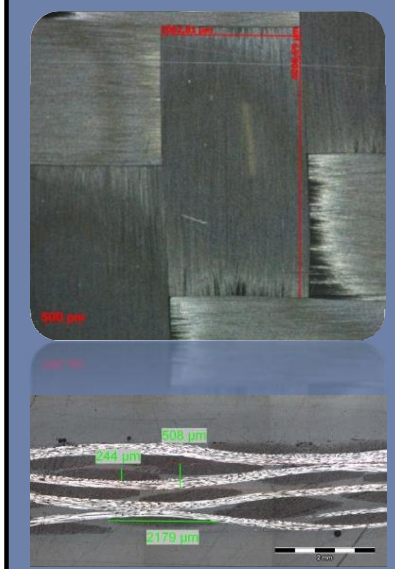
Off-plane component / through thickness permeability



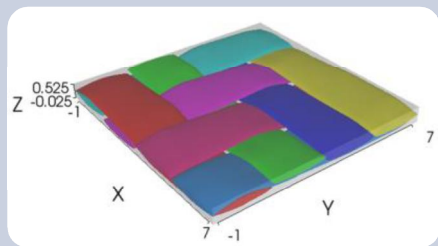
$$K_3 = -\frac{Q * \eta * h}{A * \Delta p}$$

$$v_{Fließfront} = -\frac{K}{\eta}\frac{\Delta p}{\Delta x}$$

Ausblick: Numerische Permeabilitätsbestimmung



Mikroskopie / CT → Vermessung der Gewebe-geometrie



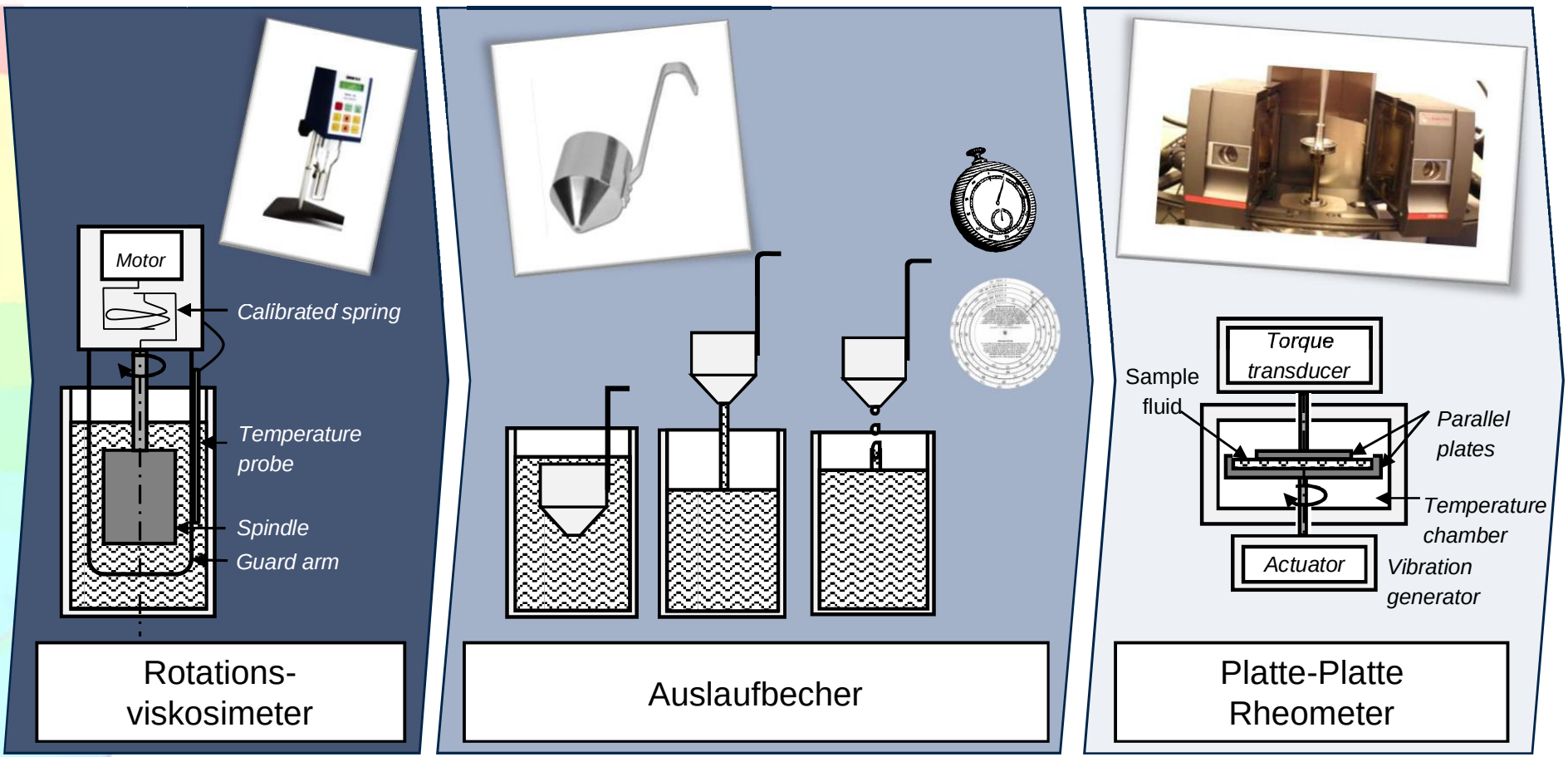
3D-Geometrieerzeugung auf Meso-Ebene mittels OpenSource-Software TexGen

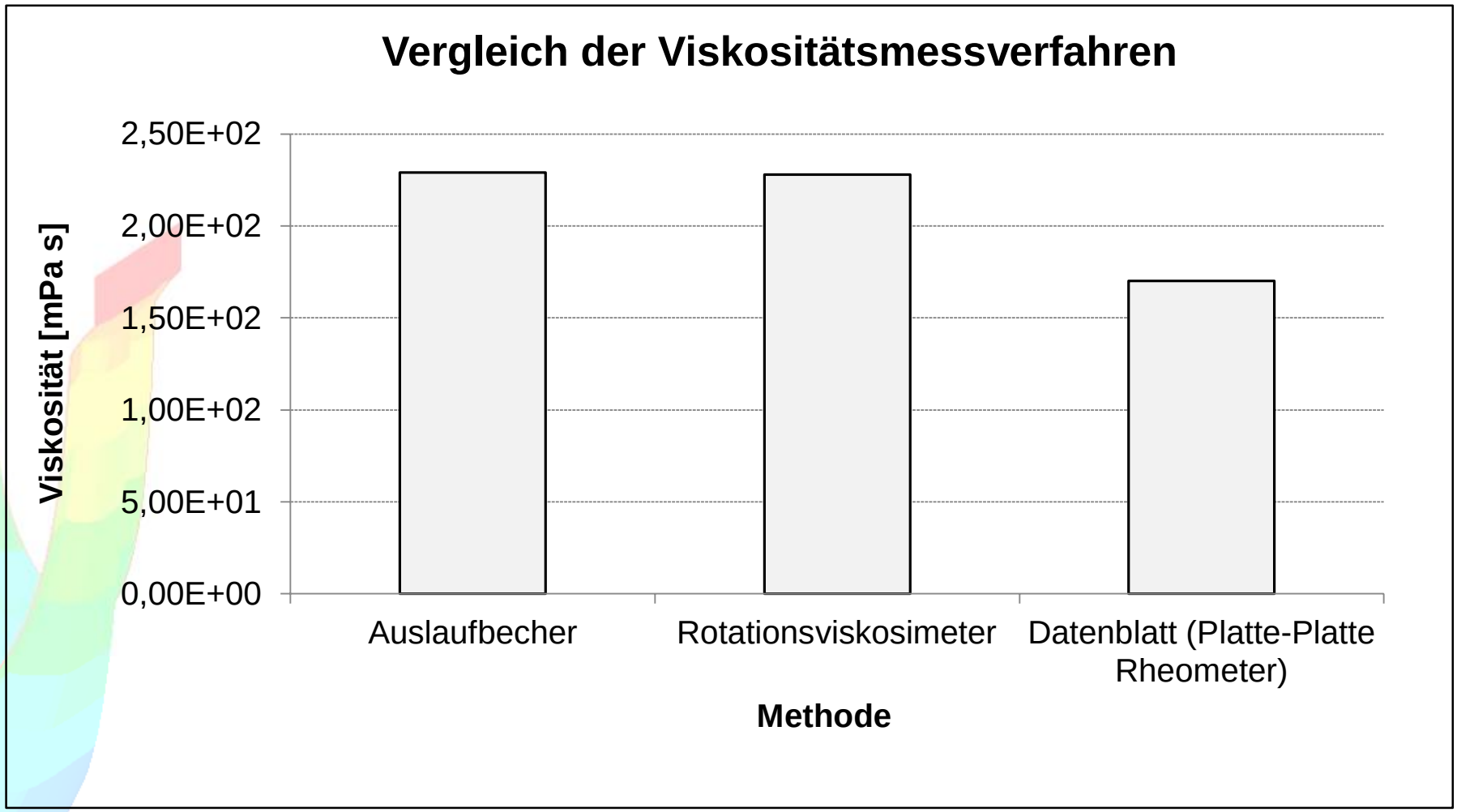
Überführung ins CAD → Vorbereitung für CFD (Computational Fluid Dynamics)

CFD-Simula tion

Viskositätsmess-verfahren

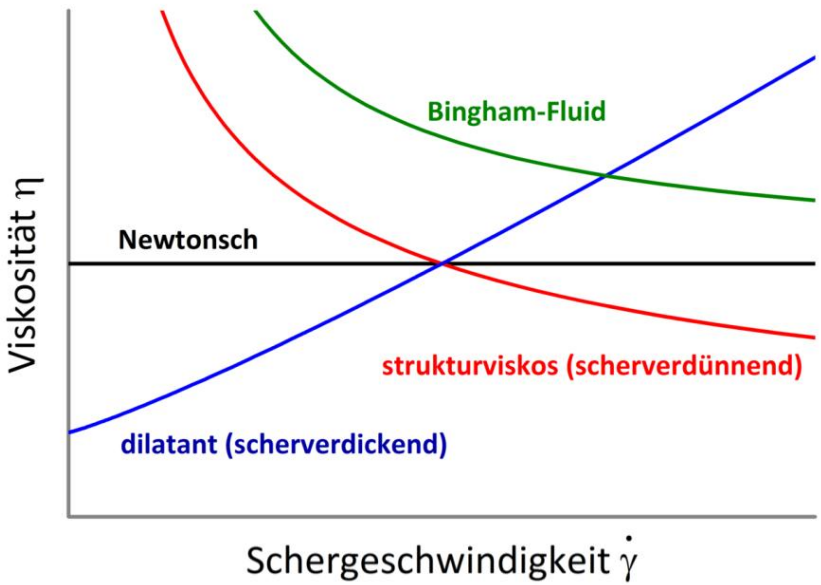
$$v_{Fließfront} = -\frac{K}{\eta}\frac{\Delta p}{\Delta x}$$

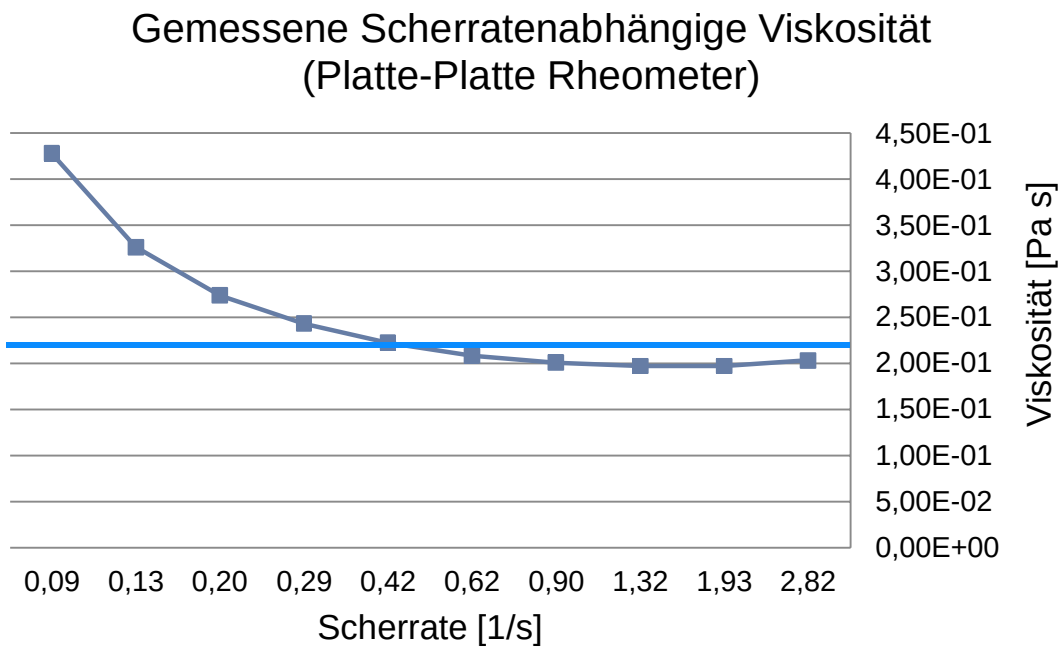



Vergleich der Viskositätsmessverfahren
Viskosität [mPa s]
2,50E+02
2,00E+02
1,50E+02
1,00E+02
5,00E+01
0,00E+00
Auslaufbecher
Rotationsviskosimeter
Datenblatt (Platte-Platte Rheometer)
Methode

Annahme einer Newtonschen Flüssigkeit

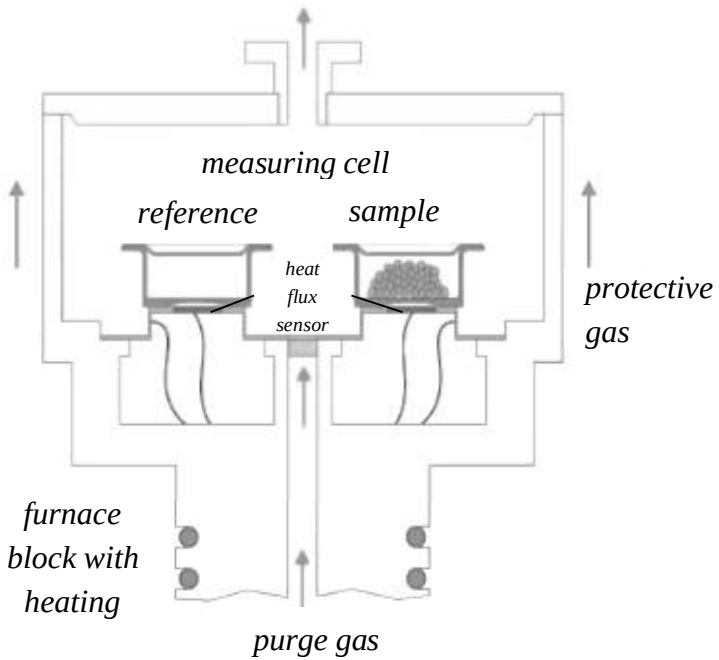
- Scherratenunbhängige (belastungsunabhängige) Viskosität





Aushärtung 1/2

DSC Differential Scanning Calorimetry

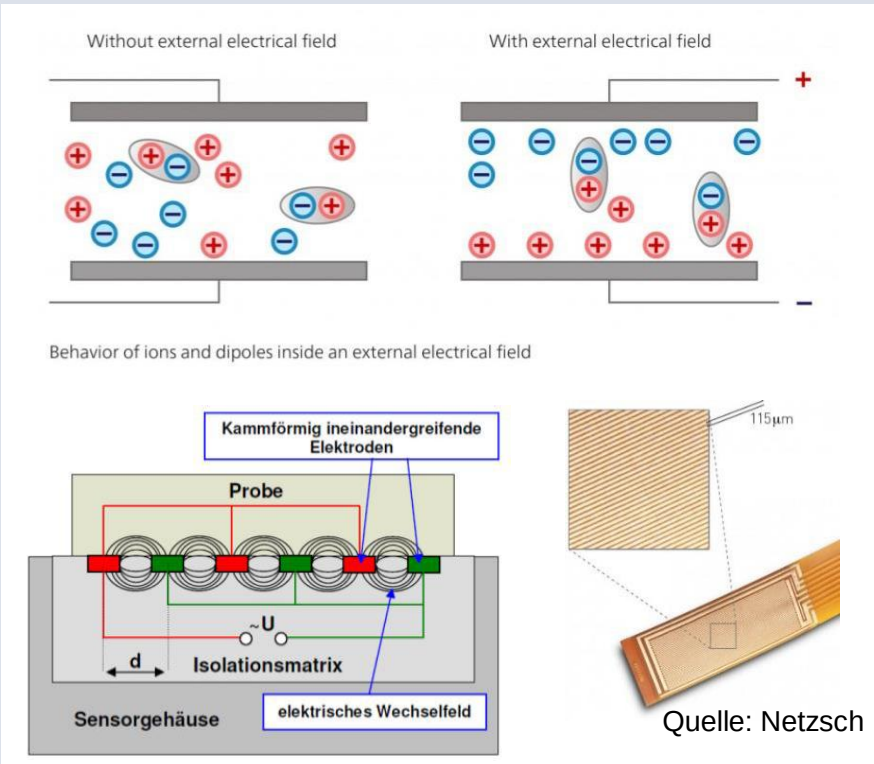


Quelle: Netzsch

- **Ermittlung charakteristischer thermischer Übergänge** (Schmelz- und Glasübergangstemperatur, Kristallisationsgrad, kinetische Betrachtung chemischer Reaktionen, etc.)
- Probe wird **definiertem Temperaturprogramm** unterworfen
- System misst die **Differenz der Wärmeströme** zwischen der Proben- und Referenzseite
- Wärmestromdifferenzen entstehen durch von der Probe aufgenommene (endotherm) oder abgegebenen (exotherm) Wärme

Aushärtung 2/2

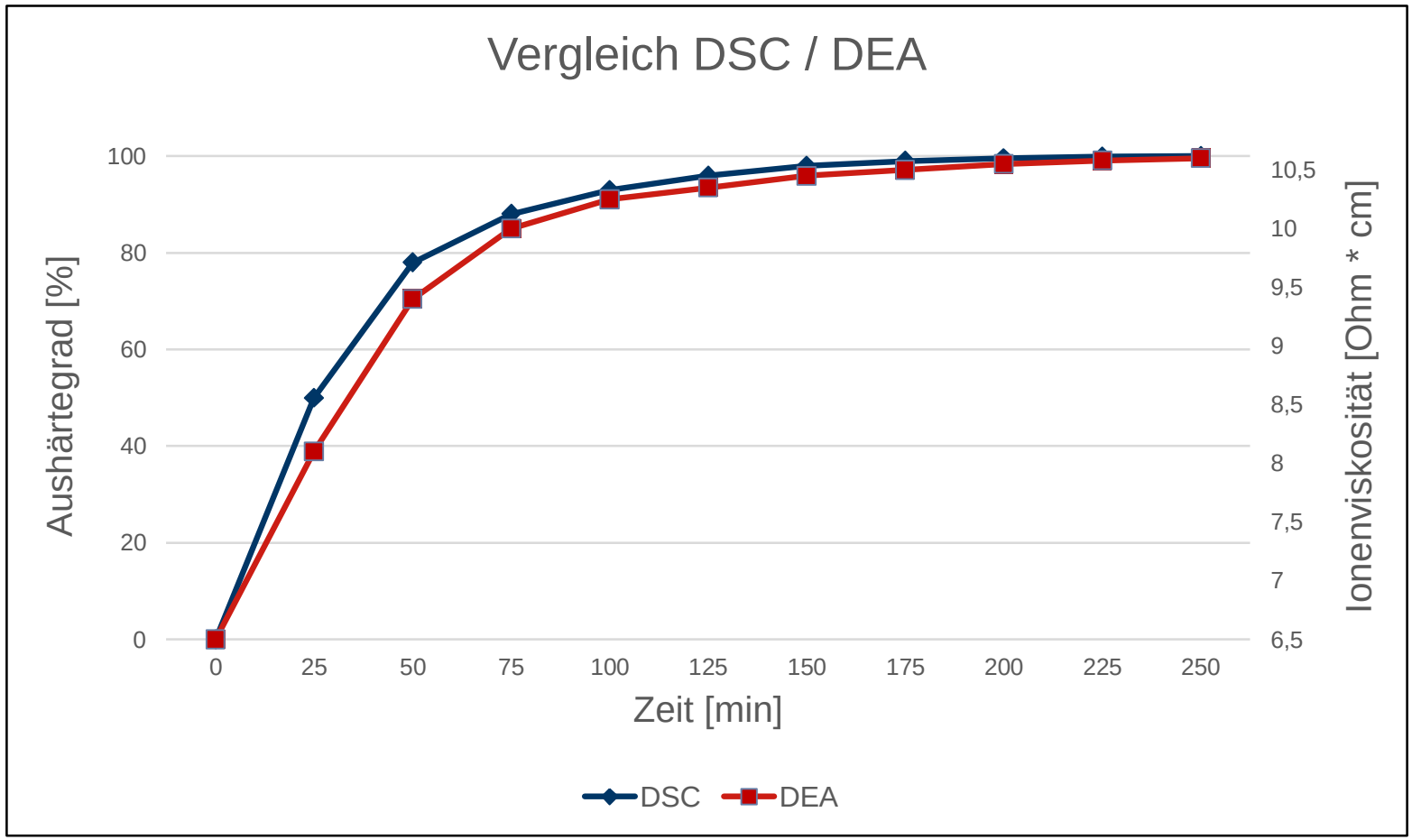
DEA Dielektrische Analyse



Quelle: Netzsch

- **Angelegte Wechselspannung** erzeugt elektrisches Feld (Feldlinien)
- **Wechsel der Polarität** des Kondensators
- **Dipole** richten sich aus,
  Ionen bewegen sich zu gegensätzlich gepolten Elektroden
- Durch voranschreitende Vernetzung verringert sich die Beweglichkeit
- Ionenbeweglichkeit bzw. Ionenviskosität

Vergleich Aushärtung DSC vs. DEA (70°C)



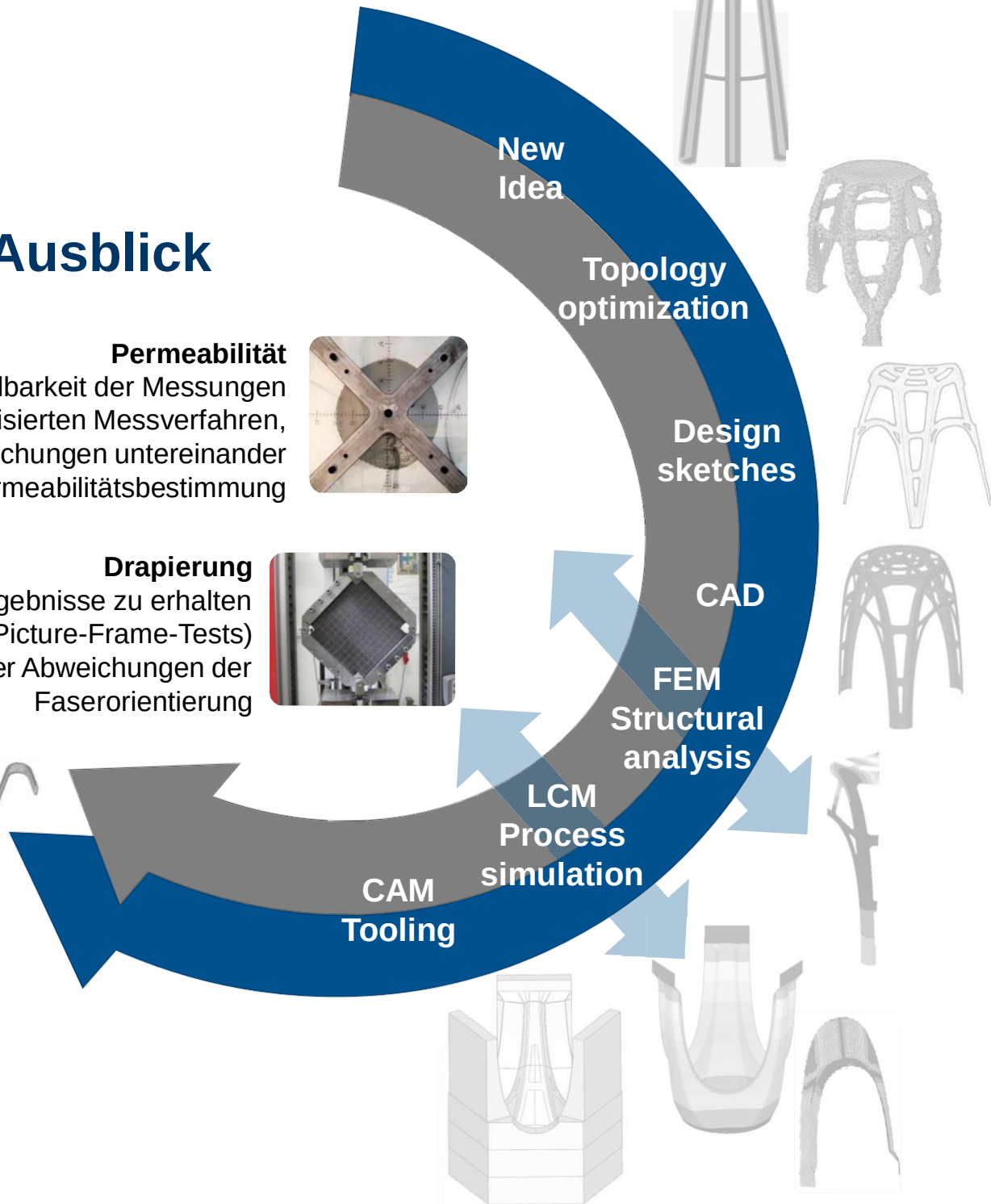
Zusammenfassung / Ausblick

Permeabilität
+ Wiederholbarkeit der Messungen
- Keine standardisierten Messverfahren, große Abweichungen untereinander
→ Numerische Permeabilitätsbestimmung

Drapierung
- Hohe Sorgfalt notwendig um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten (Picture-Frame-Tests)
+ Bias Extension Test weniger kritisch gegenüber Abweichungen der Faserorientierung

Viskosität
+ Gute Übereinstimmung zwischen Rotationsviskosimeter und Auslaufbecher
- Newtonsches Verhalten bei Harzen nicht voraussetzbar

Aushärtung
+ Übereinstimmung von DSC und DEA



 © M. Thor

TCKT
Transfercenter für Kunststofftechnik GmbH

Die präsentierten Ergebnisse stammen aus dem Projekt „Aufbau des Schwerpunktes COMPOSITES und LEICHTBAU", welches aus Mitteln des Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) sowie aus Landesmitteln gefördert wird.

LAND OBERÖSTERREICH

Regio 13
Impulse für OÖ
Regionale Wettbewerbsfähigkeit OÖ 2007–2013

Fragen

TCKT
Transfercenter für Kunststofftechnik GmbH

Danke für die Aufmerksamkeit!

Michael Thor

Franz-Fritsch-Straße 11, A-4600 Wels
tel +43 7242/2088-1026
michael.thor@tckt.at

© TCKT 2015