

Methoden der Materialcharakterisierung für die virtuelle Produktentwicklung von Composite-Bauteilen



Michael Thor

4. Fachkongress Composite Simulation
26.02.2015



Aktuelle Daten

- **Eigentümergeverhältnisse**

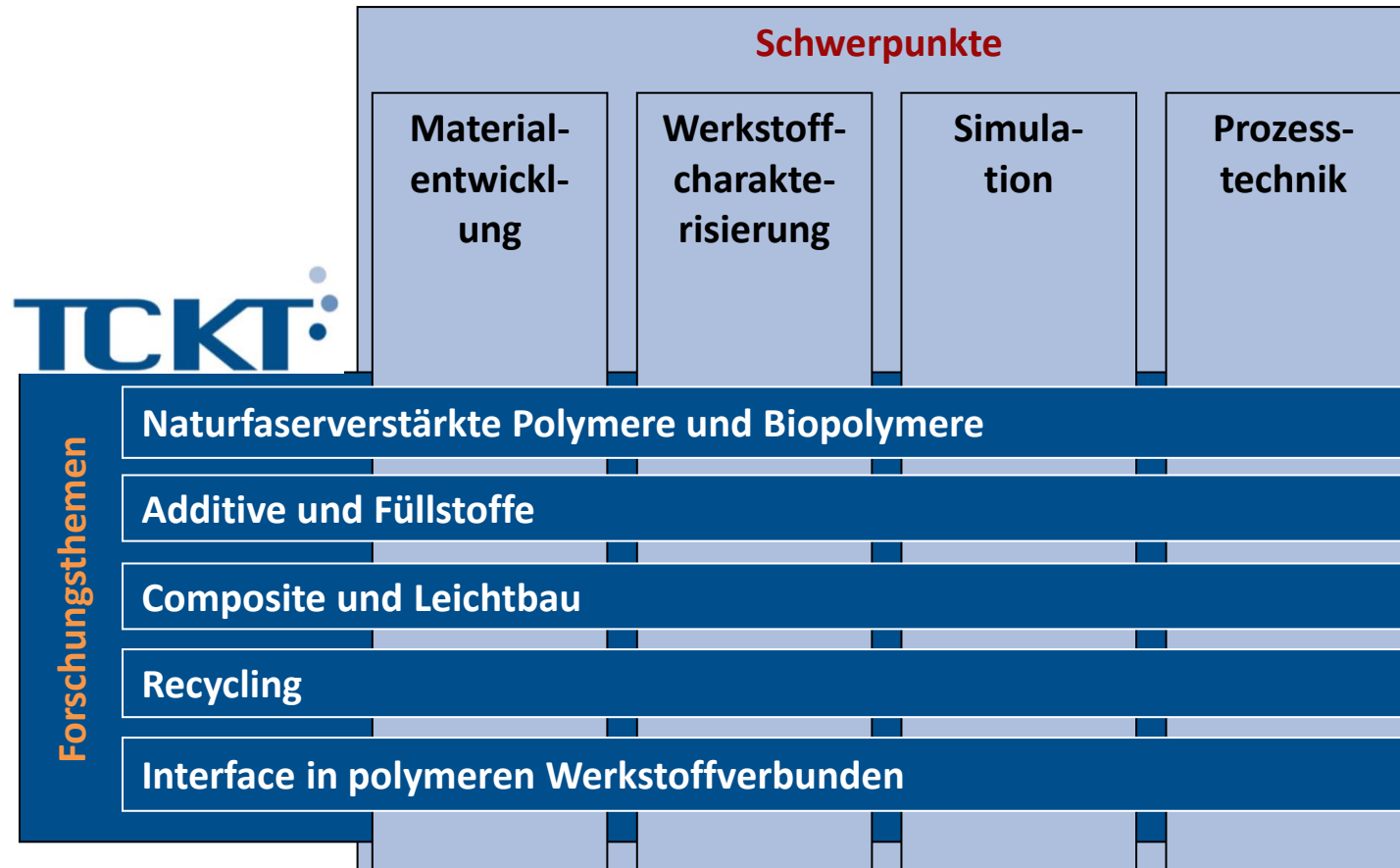
- 74 % Upper Austrian Research GmbH
- 13 % Johannes Kepler Universität Linz
- 13 % Fachhochschule Oberösterreich

- **Tätigkeiten 2014:**

- 402 Aufträge
- 30 Forschungsprojekte
- 35 Publikationen



TCKT Struktur





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





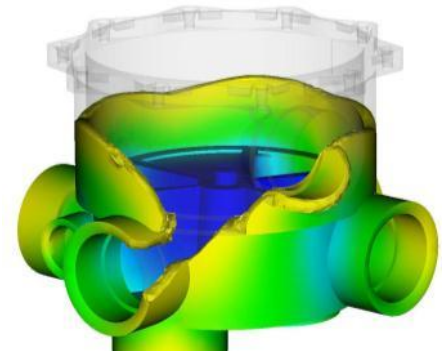
Simulation/CAE

- **Simulationsbereiche**

- Spritzgießprozesse
- Thermische Auslegung von Werkzeugen
- Strukturmechanische Berechnungen
- LCM-Prozesssimulation

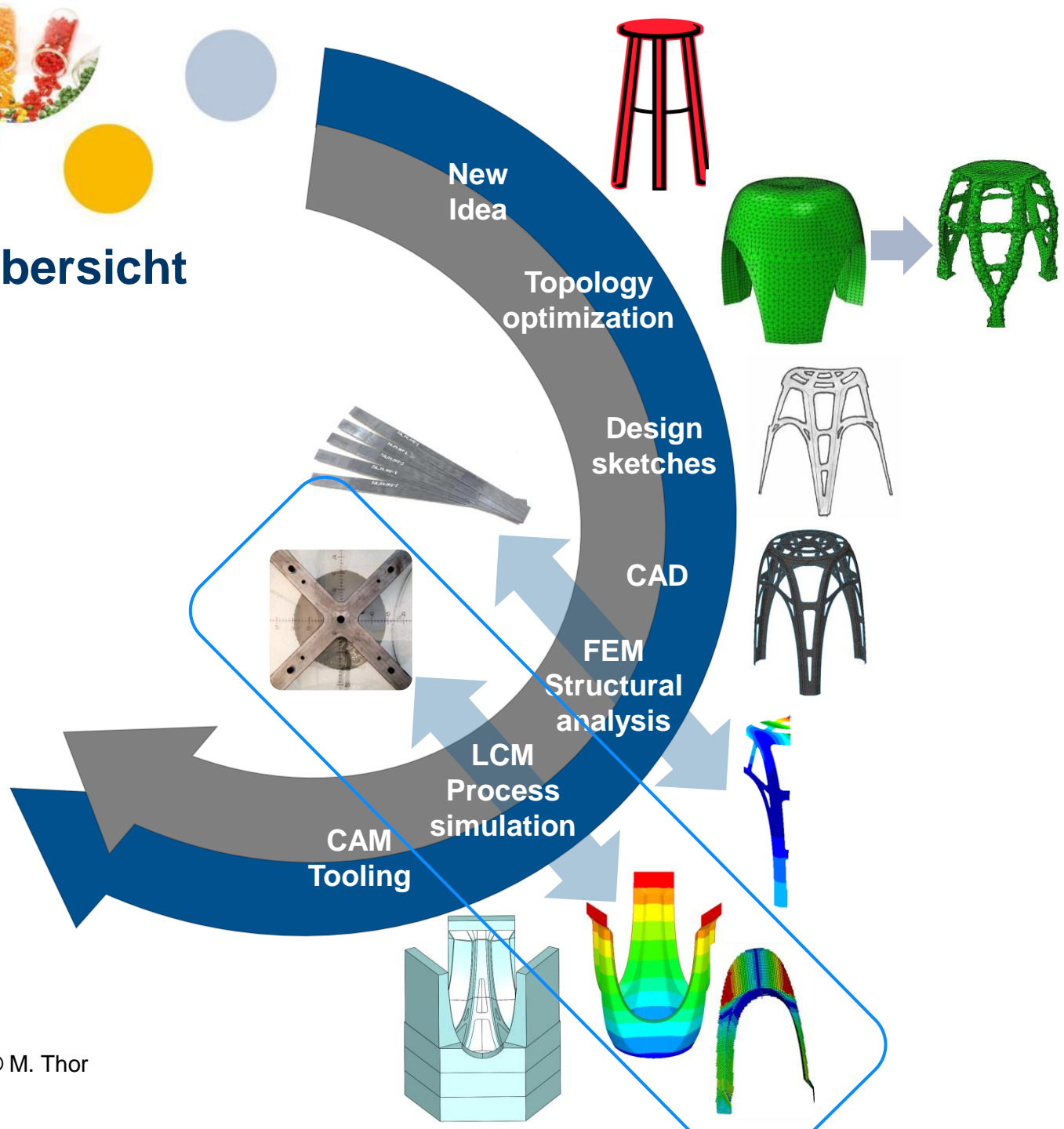
- **Berechnungsprogramme**

- Autodesk Moldflow
- MSC AFEA (Patran, Marc)
- PAM-RTM / PAM-QUICKFORM
- Solid Works Simulation



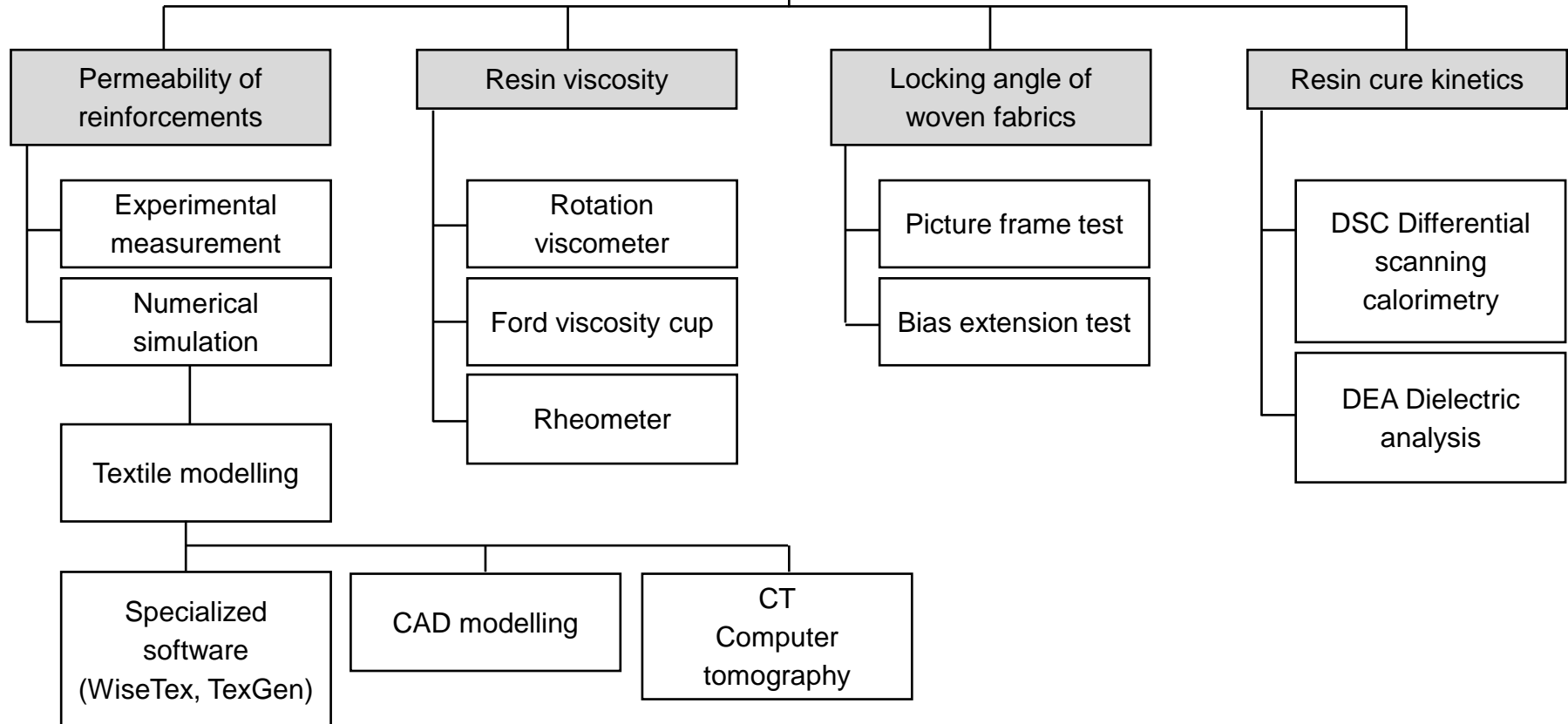


Projektübersicht





Material parameter determination for
LCM process simulations





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

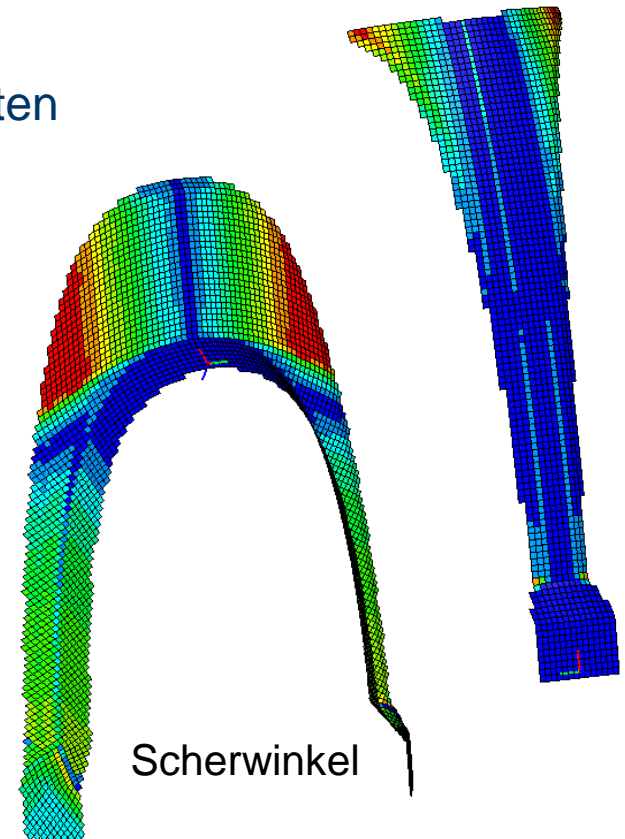
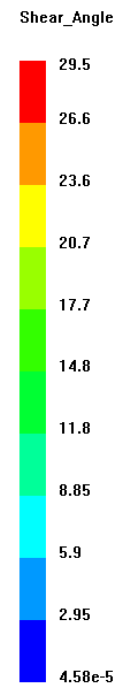
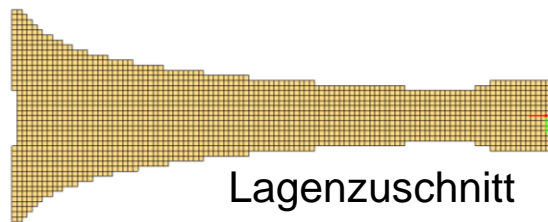
- Wie viel Zeit benötigt der Füllvorgang?
- Hat die Schwerkraft einen Einfluss auf das Füllen?
- Wo sollten Fließhilfen/Runner platziert werden?
- Wie viel Druck wird für die Füllung benötigt?
- Gibt es möglicherweise trockene, ungefüllte Stellen im Bauteil?



LCM Liquid Composite Moulding

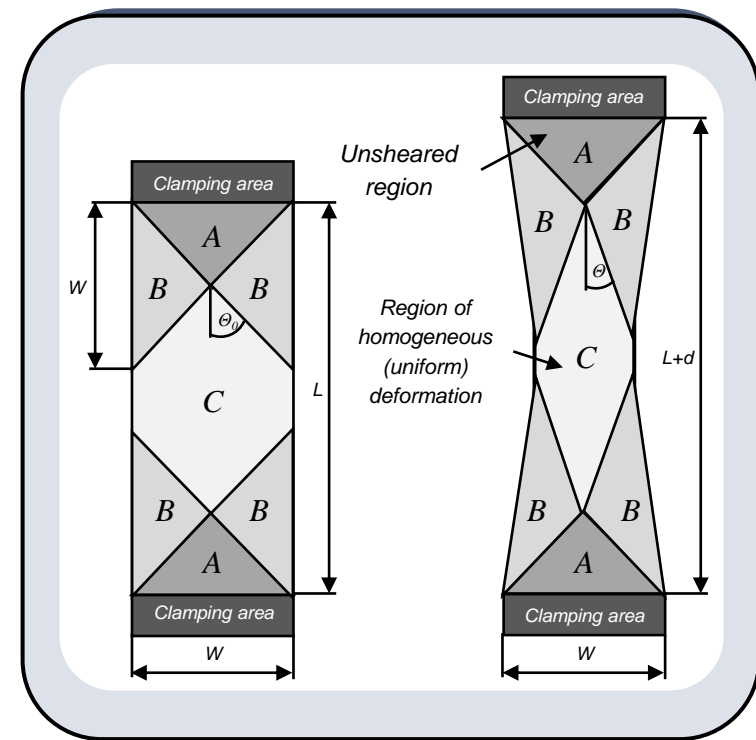
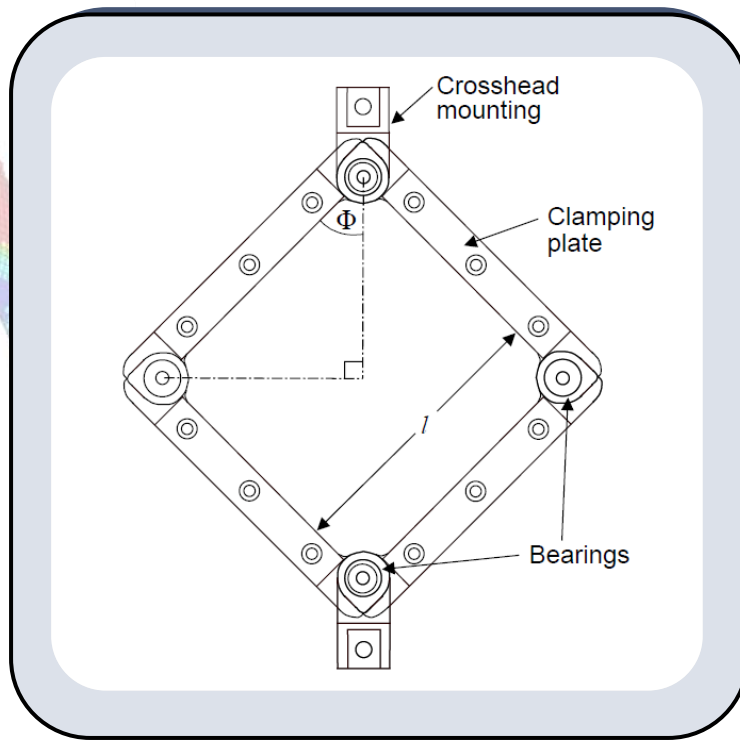
1. Drapiersimulation

- 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



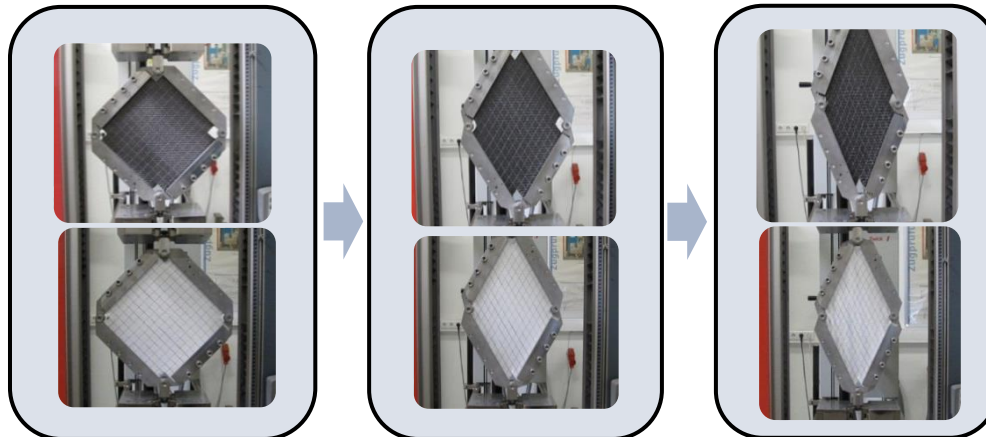
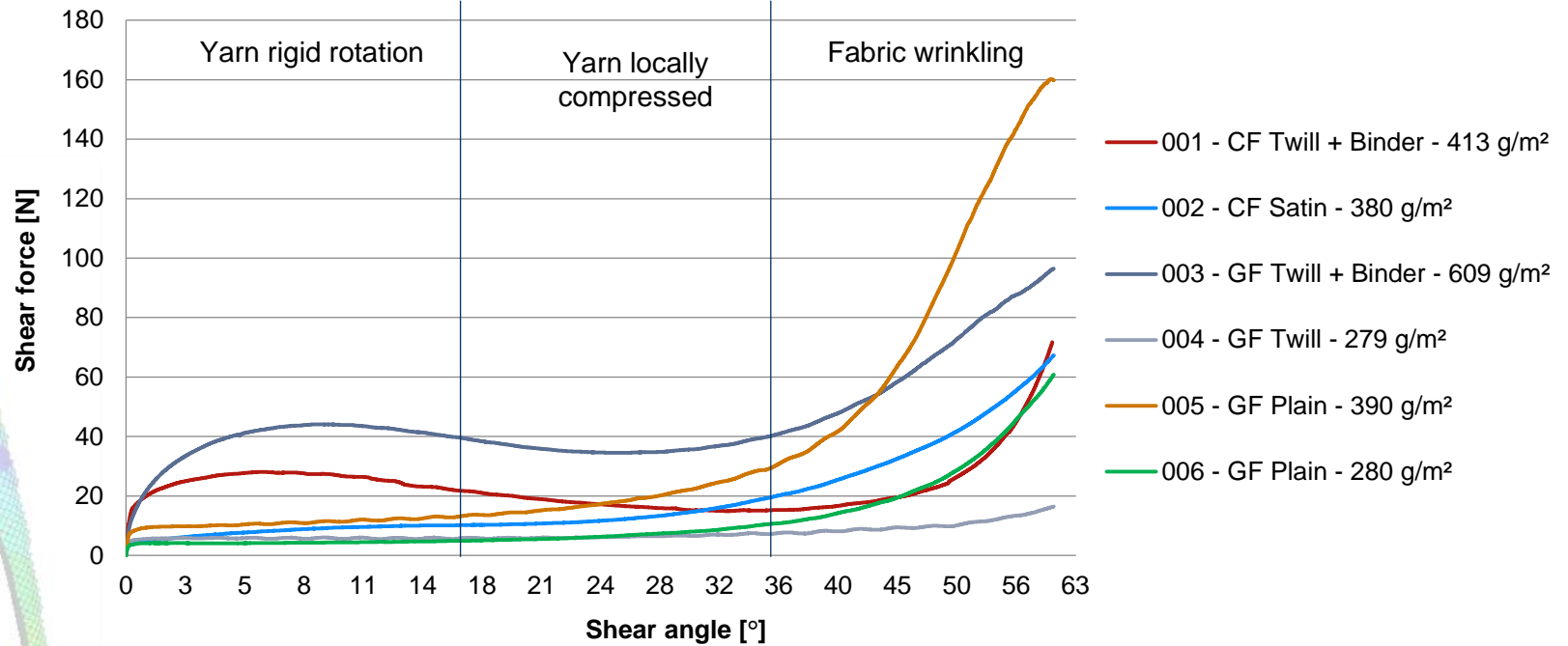


Picture Frame Test vs. Bias Extension Test





Comparison of Picture-Frame-Test results





LCM Liquid Composite Moulding

2. Füllsimulation

Gesetz von Darcy

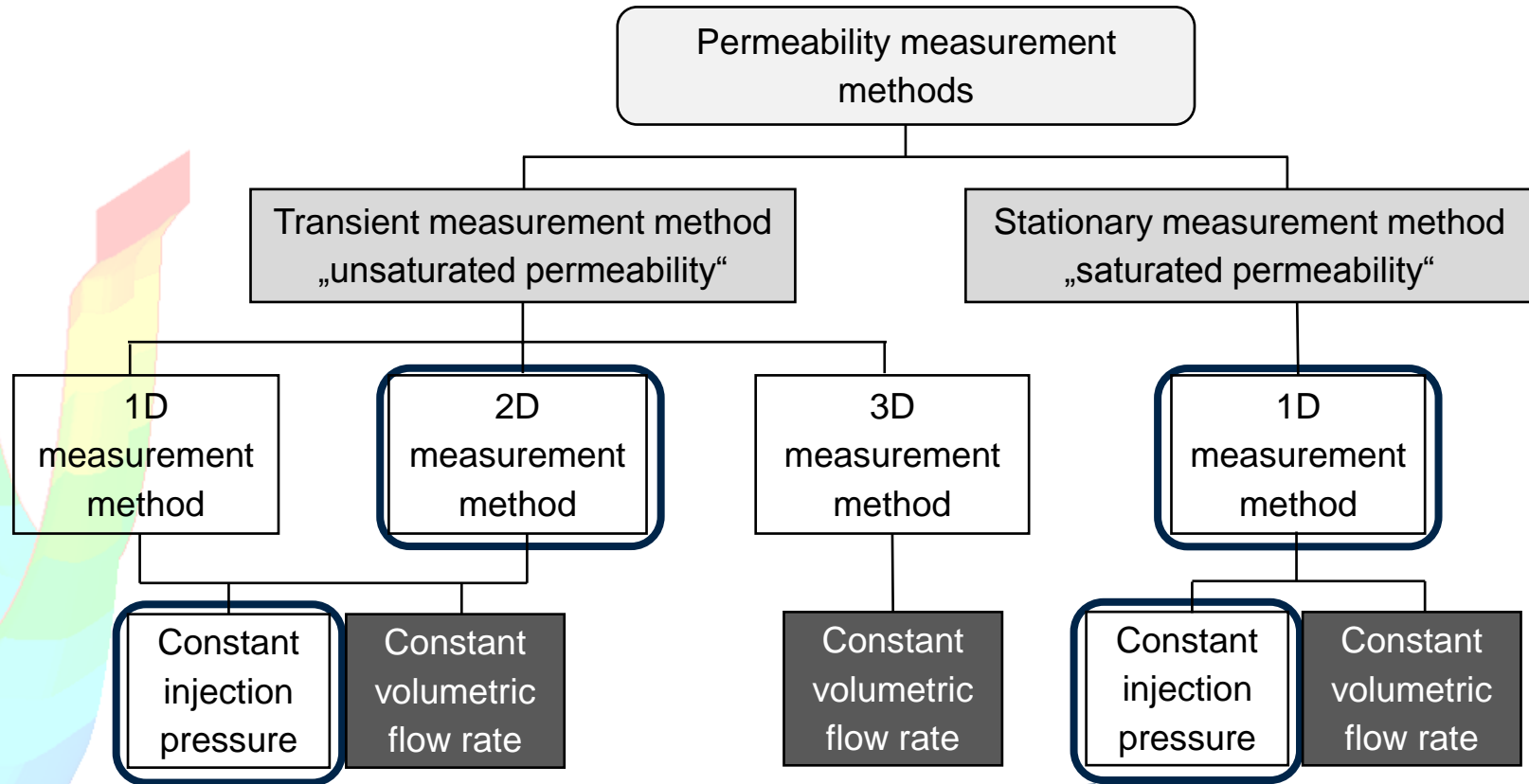
$$v_{Fließfront} = - \frac{K}{\eta} \frac{\Delta p}{\Delta x}$$

Annahmen	Auswirkung
Keine Schwerkraft und Oberflächenkräfte	Δp ist treibende Kraft
Inkompressibles Fluid	$\rho = \text{konst.}$
Newton'sches Fluid	$\eta = \eta(T)$
Stationärer / kriechender Fluss	$Re < 1$ $dv/dt = 0$
Makrofluss	$K_{roving} \sim 0$
Homogenes poröses Halbzeug	$K = \text{konst.}$
Konstante Viskosität	$d\eta/dx = 0$
Gesättigte Strömung	Komplette Durchdringung des porösen Mediums



Permeabilitäts- messmethoden

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

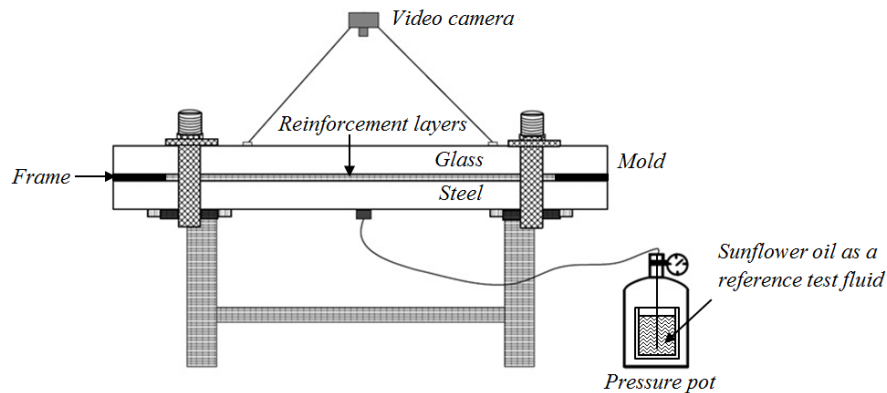


Verfügbare Methoden am TCKT



2D-Permeabilität

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



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



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



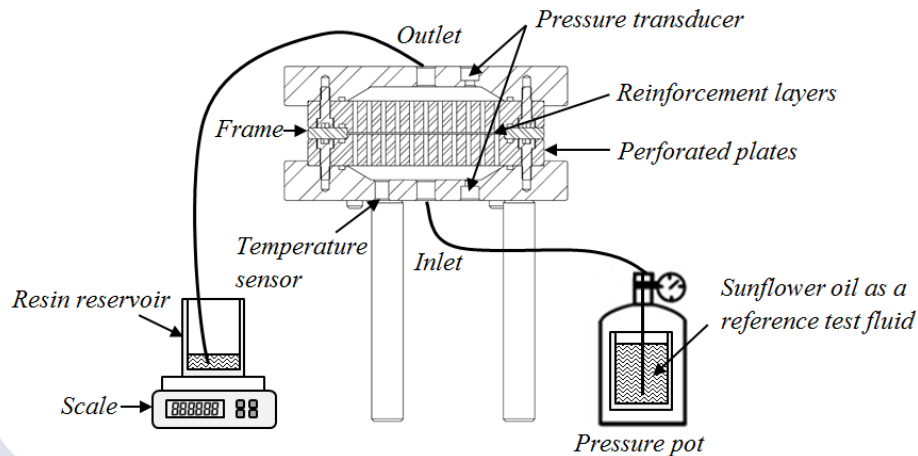
3D-Permeabilität

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

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



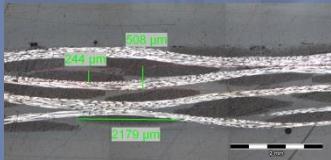
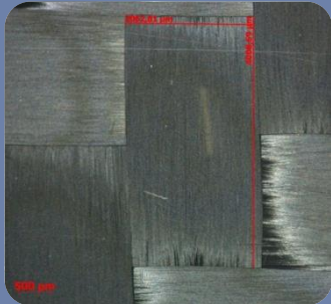
$$K_3 = -\frac{Q * \eta * h}{A * \Delta p}$$



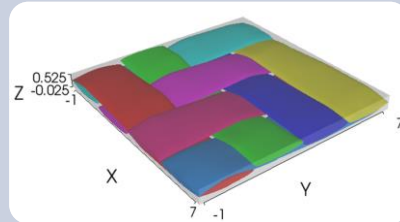


Ausblick: Numerische Permeabilitätsbestimmung

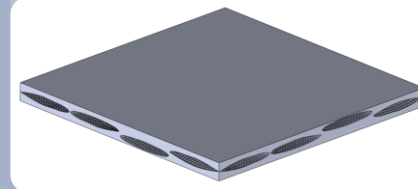
$$v_{\text{Fließfront}} = -\frac{K}{\eta} \frac{\Delta p}{\Delta x}$$



Mikroskopie / CT
→ Vermessung
der Gewebe-
geometrie



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



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

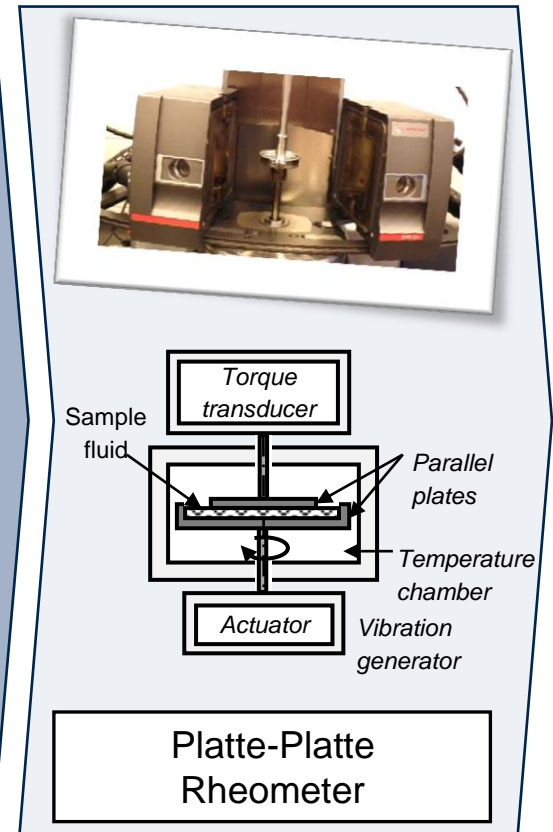
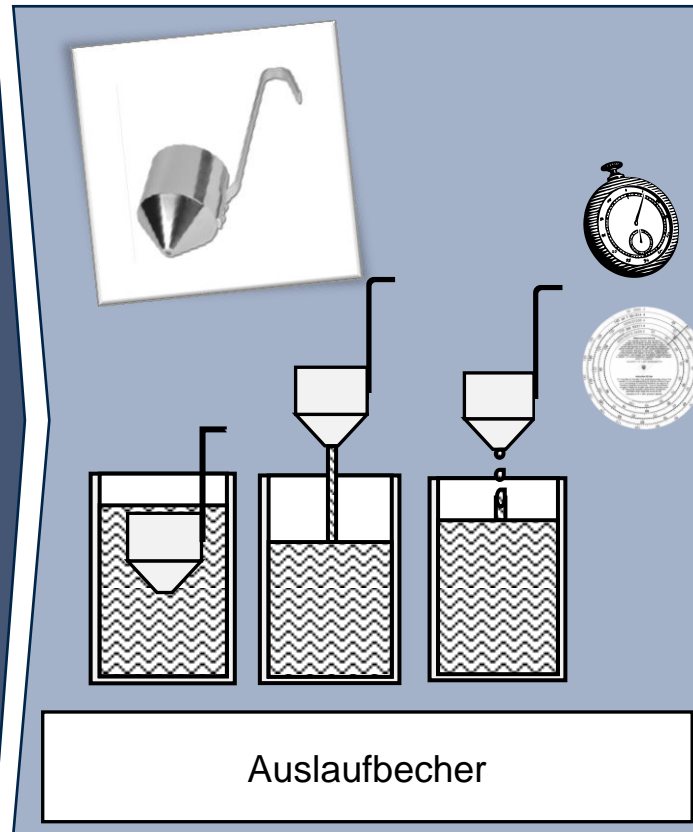
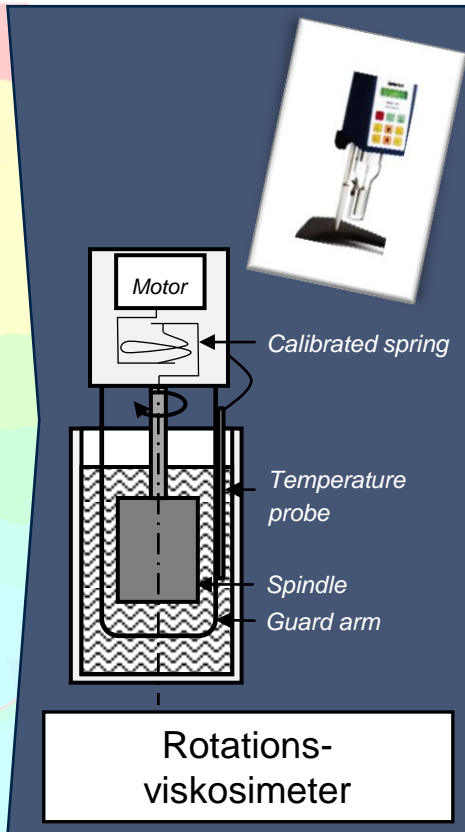


CFD-
Simula-
tion



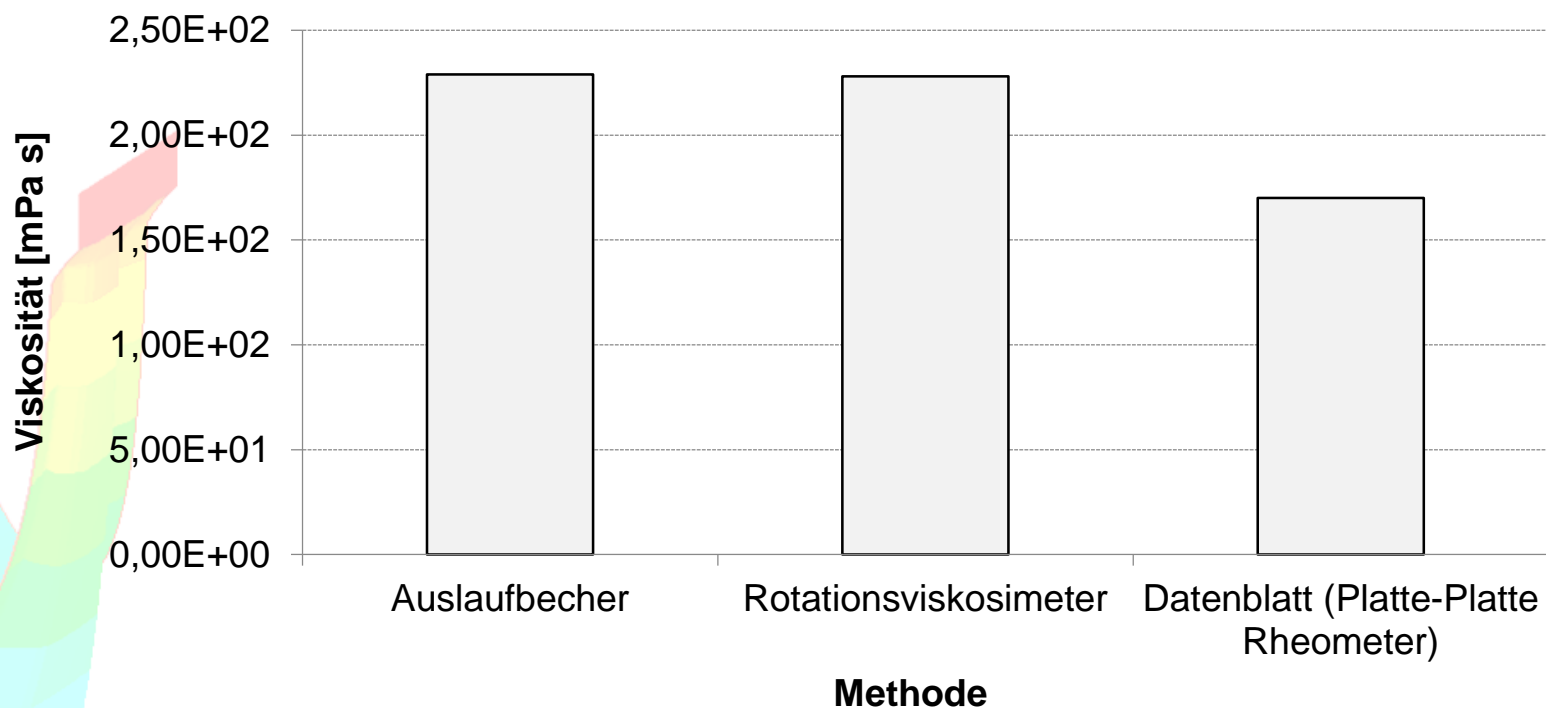
Viskositätsmess- verfahren

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





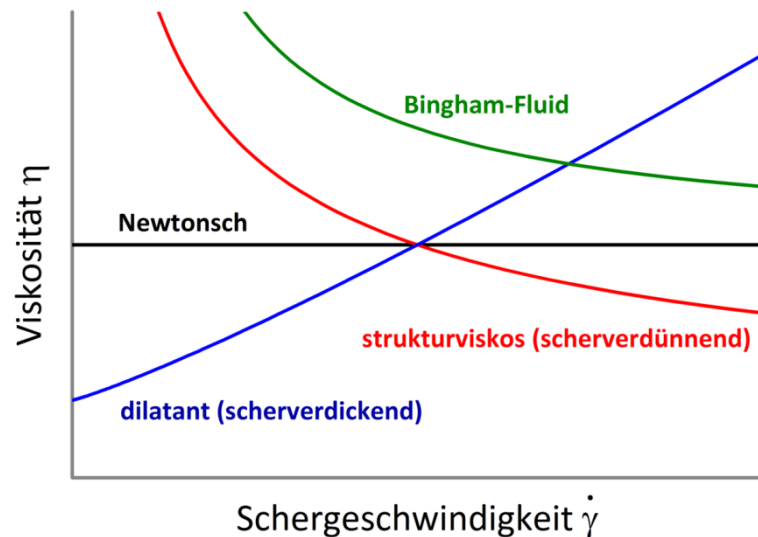
Vergleich der Viskositätsmessverfahren



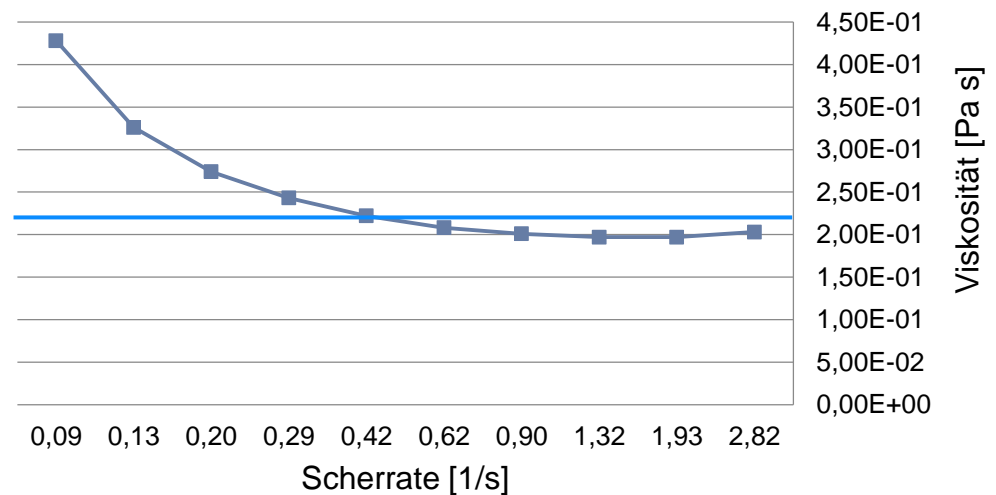


Annahme einer Newtonschen Flüssigkeit

- Scherratenunabhängige (belastungsunabhängige) Viskosität



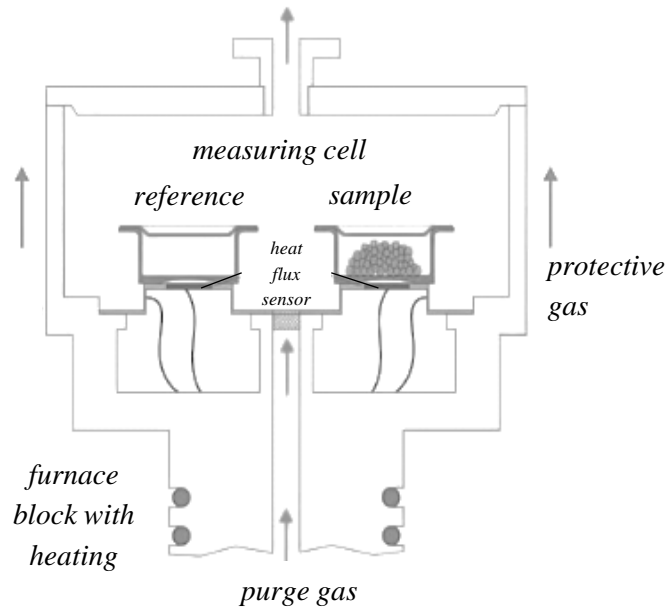
Gemessene Scherratenabhängige Viskosität
(Platte-Platte Rheometer)





Aushärtung 1/2

DSC Differential Scanning Calorimetry



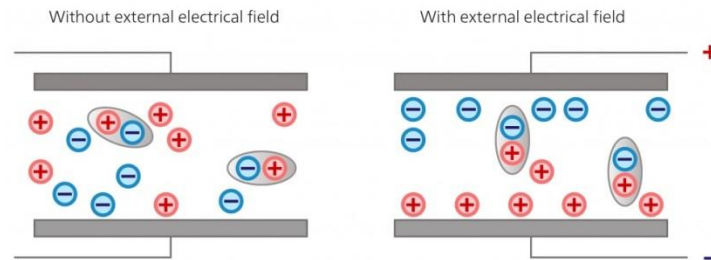
Quelle: Netzsch

- **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

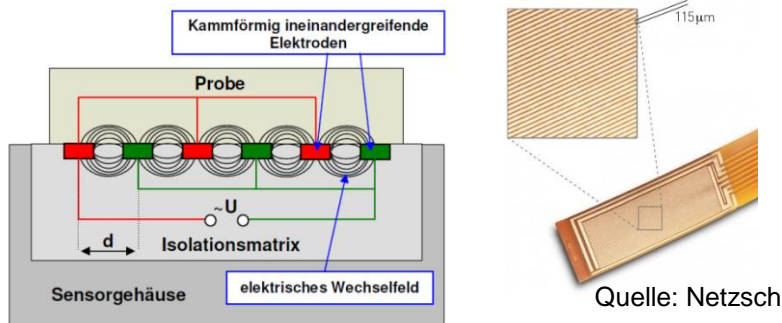


Aushärtung 2/2

DEA Dielektrische Analyse



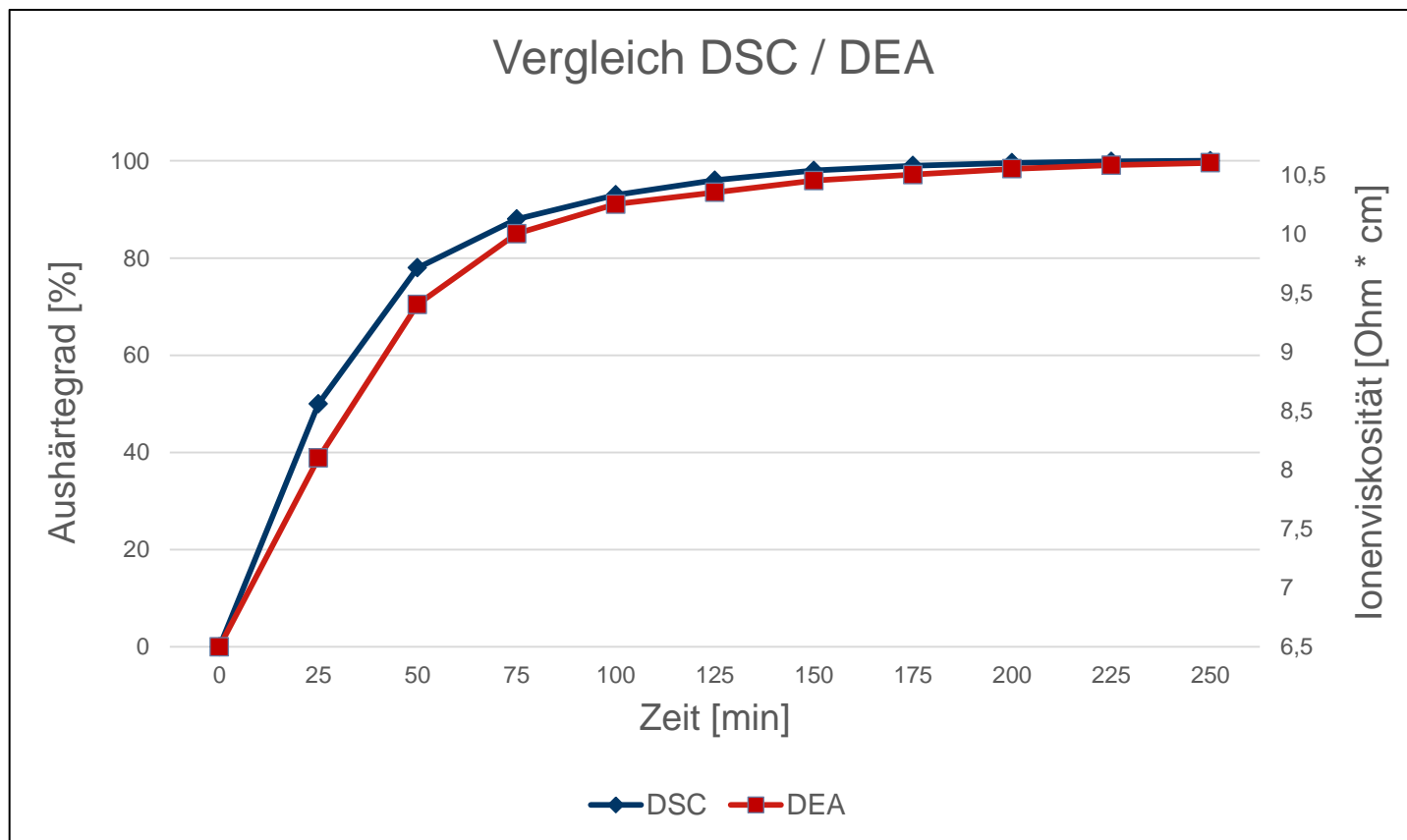
Behavior of ions and dipoles inside an external electrical field



- **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)

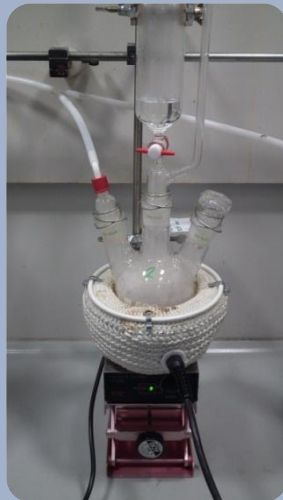




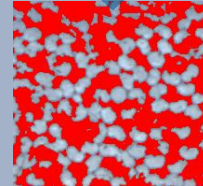
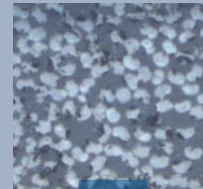
Bestimmung des Faservolumengehalts



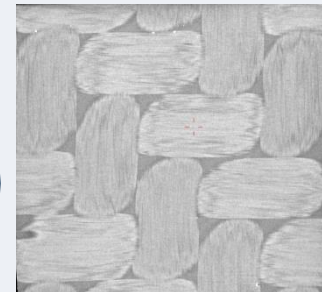
TGA Thermo-
gravimetrische
Analyse



Nasschemische
Faserextraktion



Optische
Methode



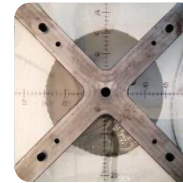
CT Computer-
tomographie



Zusammenfassung / Ausblick

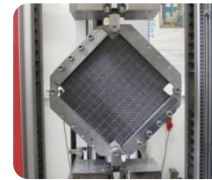
Permeabilität

- + 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



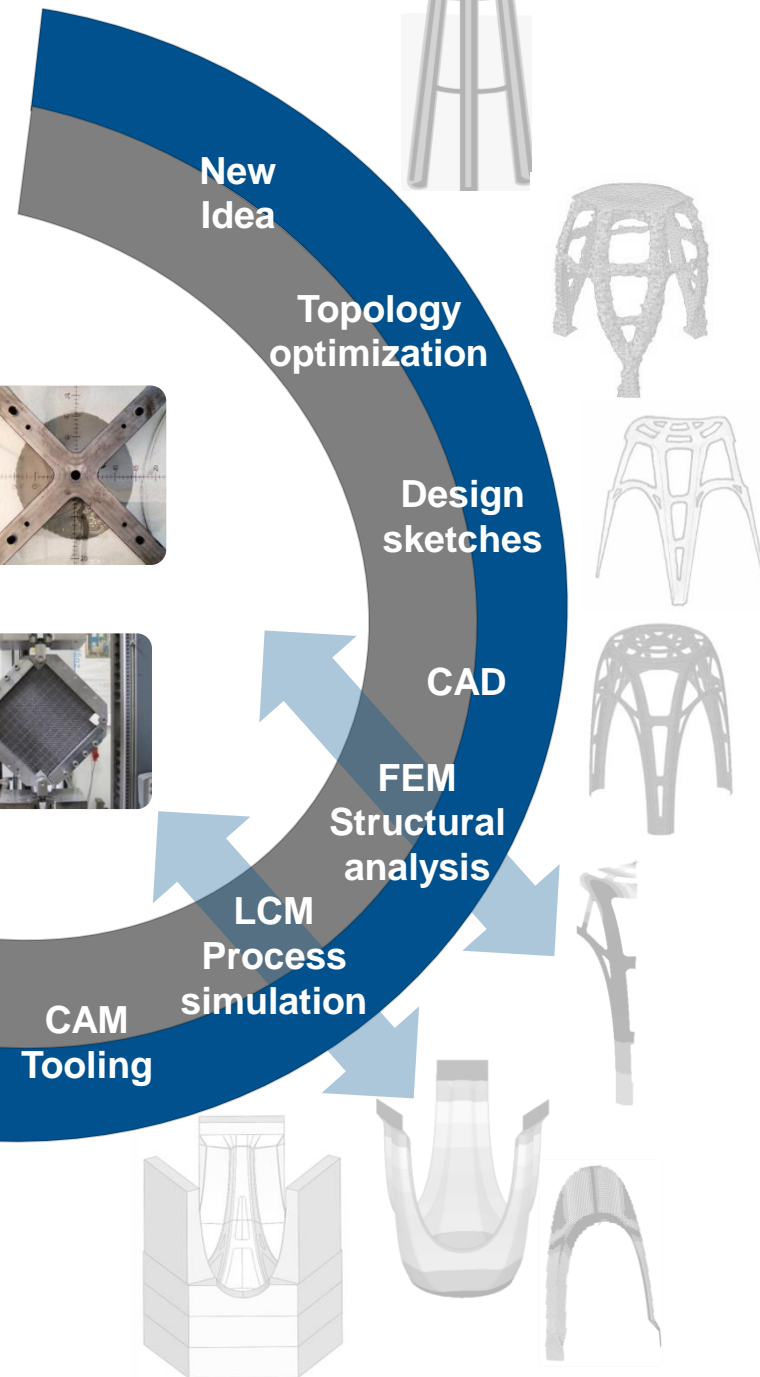
Viskosität

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



Aushärtung

- + Übereinstimmung von DSC und DEA





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.







Danke für die Aufmerksamkeit!

Michael Thor

Franz-Fritsch-Straße 11, A-4600 Wels

tel +43 7242/2088-1026

michael.thor@tckt.at

