

DigiLaugBeh: Digitale Auslegung von Leichtbaukomponenten

Marc Dillmann, Matthias Kabel, Maxime Krier
Abteilung »Strömungs- und Materialsimulation«
Alumni-Netzwerktreffen 13.12.2024



BOSCH

MATH
2 MARKET



INSTITUTE FOR
PLASTICS
PROCESSING

in Industry and Craft at
RWTH Aachen University



PEG

Plastic | Simulation | Experience



Universität Stuttgart
Institut für Akustik und Bauphysik



University of Stuttgart
Institute for Sanitary Engineering, Water Quality and
Solid Waste Management

B/S/H/



Celanese

SimTech

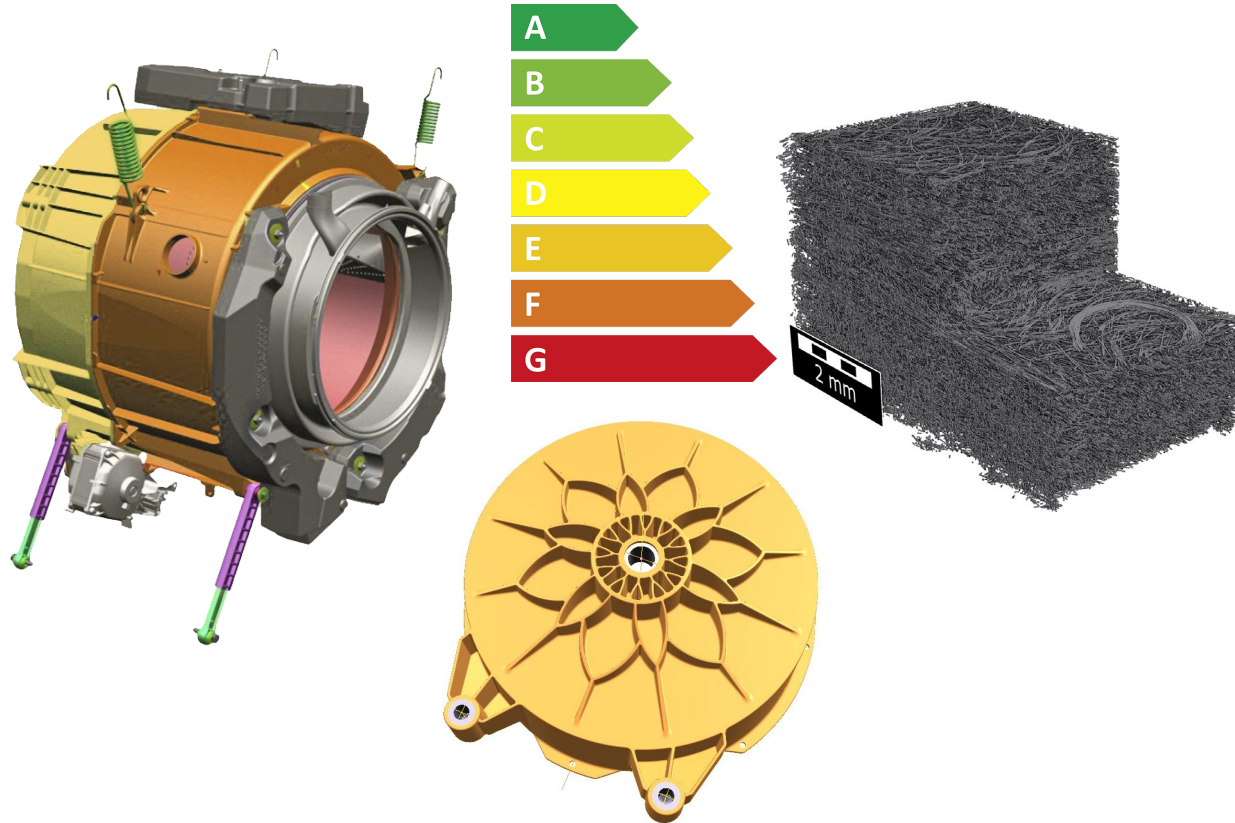
Supported by:



Federal Ministry
for Economic Affairs
and Climate Action

on the basis of a decision
by the German Bundestag

Das Projekt DigiLaugBeh – Auslegung einer Leichtbaukomponente



Laugenbehälter einer Waschmaschine, Energielabel der EU und CT-Scan von PP-LGF30

Die Ansprüche

- Bestmögliche Energieeffizienz
- Langlebigkeit und niedriger Verschleiß
- Nachhaltigkeit eingesetzter Materialien

Die Vision

- Einsatz langfaserverstärkter Kunststoffe
 - Erhöhte Steifigkeit und Festigkeit
 - Verbesserte Ökobilanz durch Einsatz von Rezyklaten
 - Gewichts- und Materialreduktion durch Schäumen

Die Umsetzung

- Digitale Erstellung von Materialkarten für das Ermüdungsverhalten von PP-LGF30
- Bauteiloptimierung der Rippenstruktur inklusive Lebenszyklusanalyse

Das Projekt DigiLaugBeh – Auslegung einer Leichtbaukomponente

Innerhalb von sieben Jahren nach Projektende spart
Projektpartner Bosch...



... 3.780 t Material



... 23.770 t CO₂-Äquivalente
Treibhausgas



... das entspricht der
Jahresemission eines deutschen
Großdorfes mit 2.200 Einwohnern

Einsparungspotentiale nach Forschung des IABP, Universität Stuttgart

Die Ansprüche

- Bestmögliche Energieeffizienz
- Langlebigkeit und niedriger Verschleiß
- Nachhaltigkeit eingesetzter Materialien

Die Vision

- Einsatz langfaserverstärkter Kunststoffe
 - Erhöhte Steifigkeit und Festigkeit
 - Verbesserte Ökobilanz durch Einsatz von Rezyklaten
 - Gewichts- und Materialreduktion durch Schäumen

Die Umsetzung

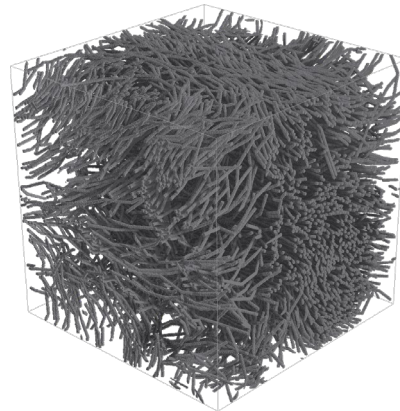
- Digitale Erstellung von Materialkarten für das Ermüdungsverhalten von PP-LGF30
- Bauteiloptimierung der Rippenstruktur inklusive Lebenszyklusanalyse

Multiskalen-Framework für den Digitalen Zwilling

Framework basierend auf Fraunhofer ITWM Promotionen [Koebler et al. 2021], [Magino et al. 2022]

RVE Generierung

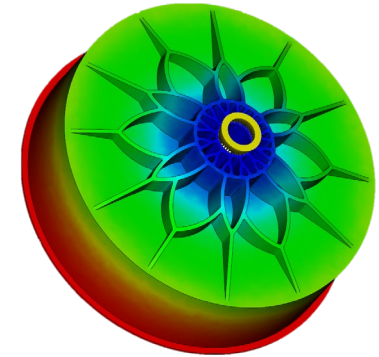
- Erzeugung periodischer Faserstrukturen
- Diskretisierung von Strukturparametern



 **FiberMath**

Spritzgussimulation

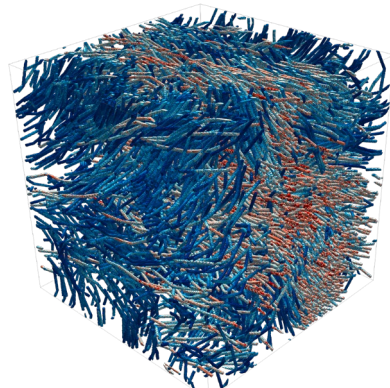
- Lokale Vorhersage von u.a.
 - Faserorientierung
 - Faserkrümmung
 - Porengehalt



 **FLUID**  **MOLDFLOW** AUTODESK

Mikroskalensimulation

- Ermüdungsverhalten von RVEs
- Schadensentwicklung unter verschiedenen Lastrichtungen
- MOR durch POD
- Erzeugung einer Materialdatenbank

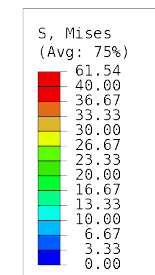


 **FeelMath**

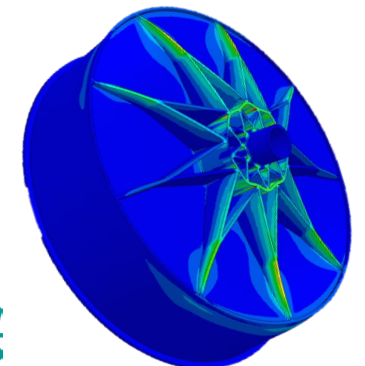


Bauteilsimulation

- Ermüdungsverhalten unter mechanischer Last
- Simulation von 10^6 - 10^7 Lastzyklen
- Lokalisierung von Schäden und Optimierung

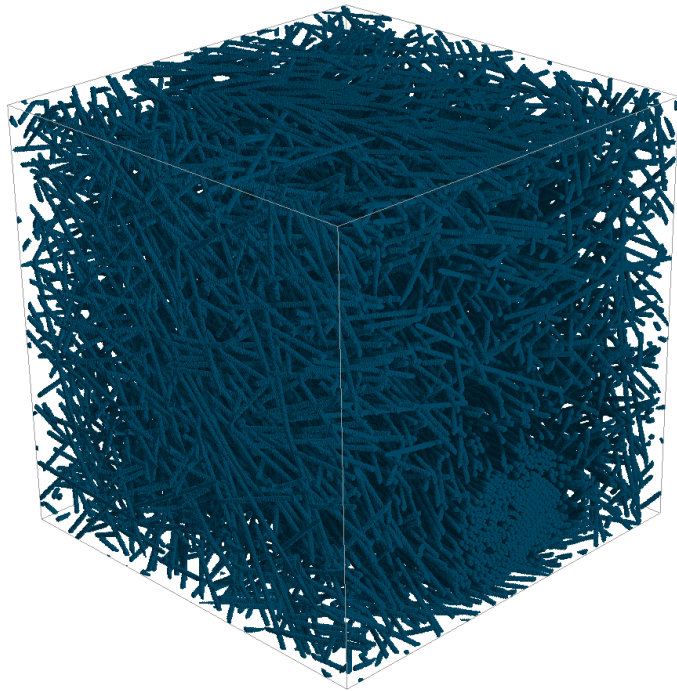


 **SIMULIA ABAQUS**



Mikroskalen-Simulation von langfaserverstärkten Kunststoffen

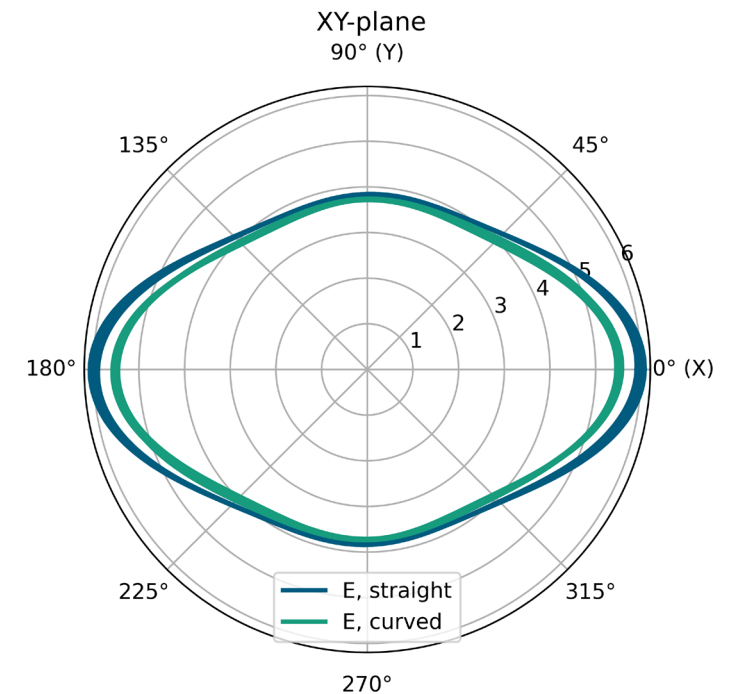
RVE Generierung mit Sequential-Addition-and-Migration Methode [Schneider, 2022]



Struktur mit geraden Fasern



Struktur mit gekrümmten Fasern



Effektive directionale Steifigkeiten

Mikroskalen-Simulation von langfaserverstärkten Kunststoffen

Ermüdungsmodell im log-Zyklenraum [Magino et al. 2022]

Ermüdungsmodell

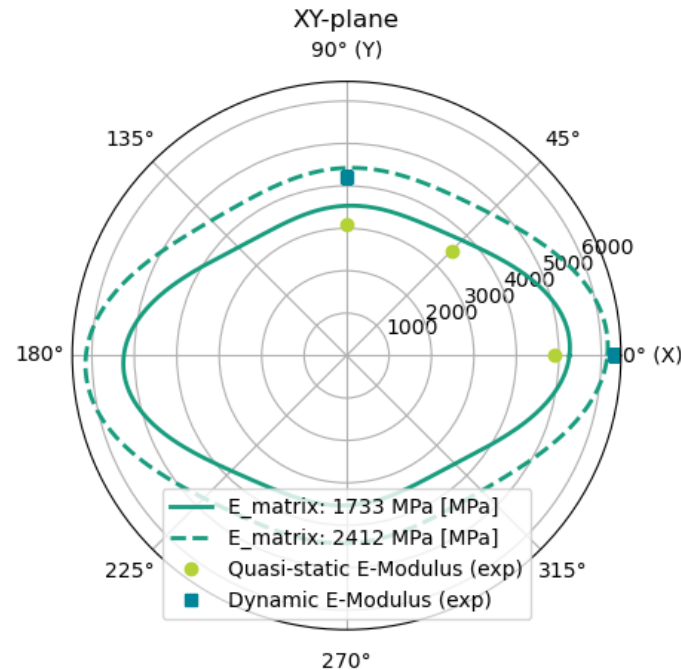
- Fasern linear elastisch
- Freie Energie für Matrix

$$\omega(\boldsymbol{\varepsilon}, d) = \frac{1}{2(1+d)} \boldsymbol{\varepsilon} : \mathbb{C} : \boldsymbol{\varepsilon}$$

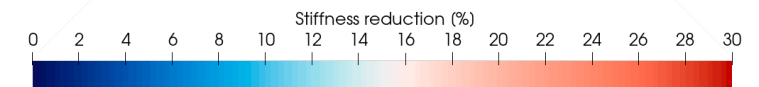
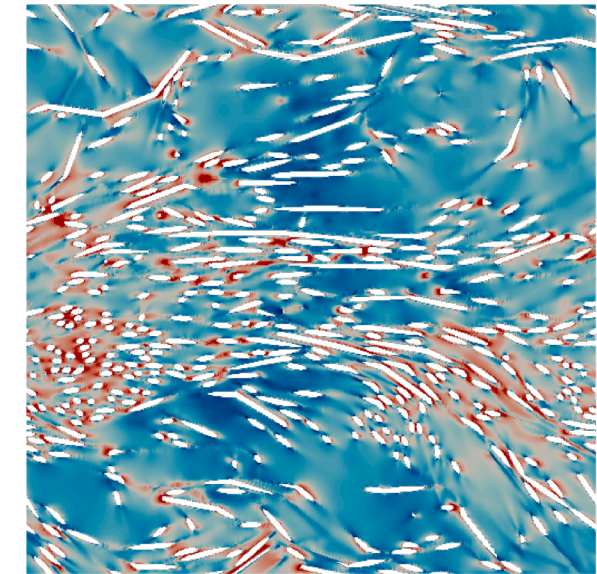
- Dehnungstensor $\boldsymbol{\varepsilon}$
- Skalare Schadensvariable $d \geq 0$
- Materialsteifigkeit für unbeschädigte Probe \mathbb{C}
- Dissipations-Potential

$$\phi(d') = \frac{1}{2\alpha} (d')^2$$

- »Schadensviskosität« α
- Ableitung im log-Zyklenraum d'



Fitting des dynamischen E-Moduls für Matrixmaterial mit Messdaten

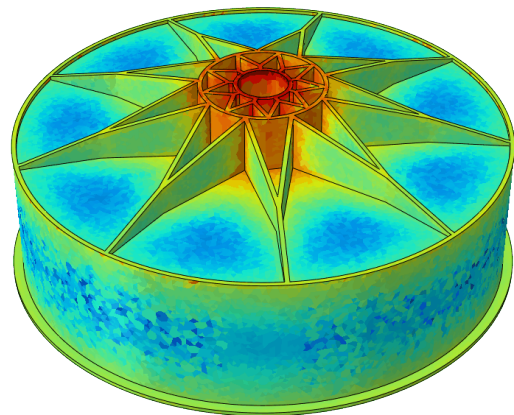
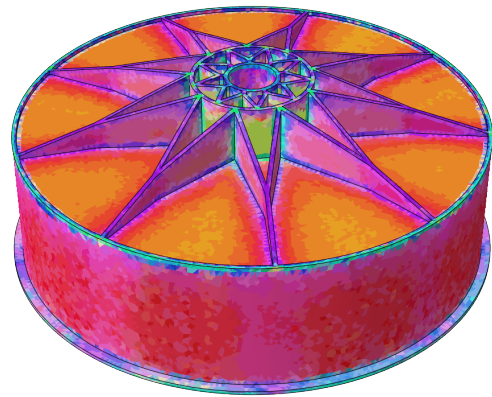


Steifigkeitsreduktion in RVE nach 10^7 Zykeln

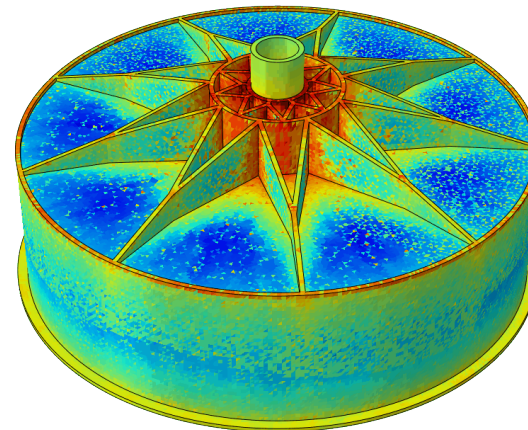
Makroskalen-Simulation von langfaserverstärkten Kunststoffen

Mapping von Strukturparametern aus Spritzguss-Simulation

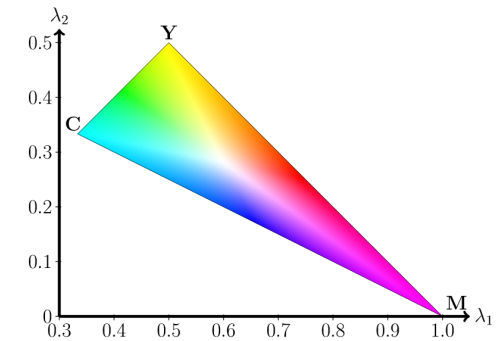
MoldFlow-Netz



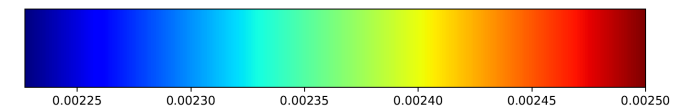
Abaqus-Netz



Faserorientierung [1]



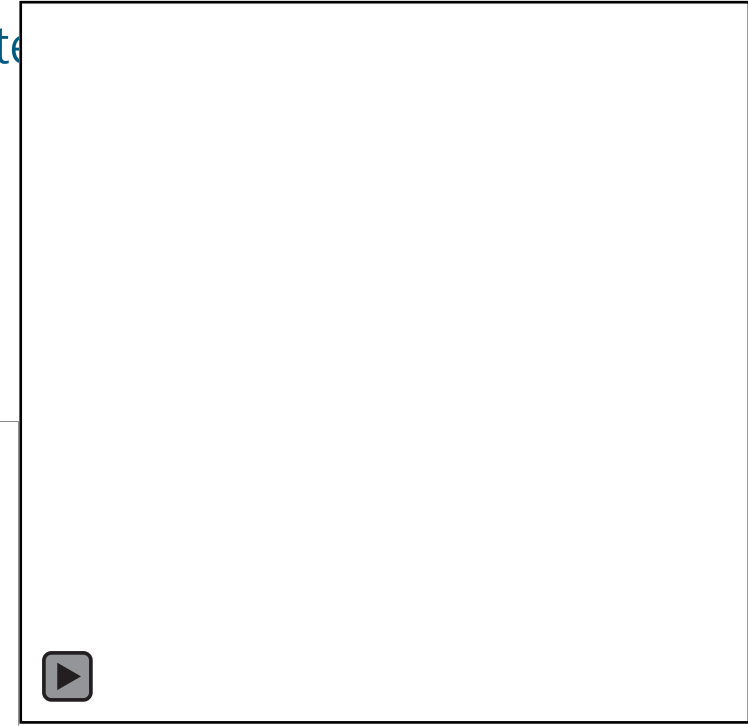
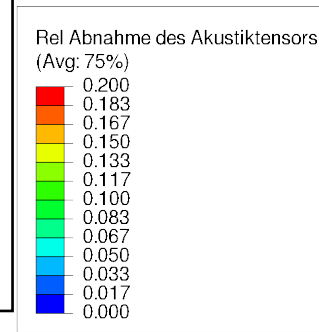
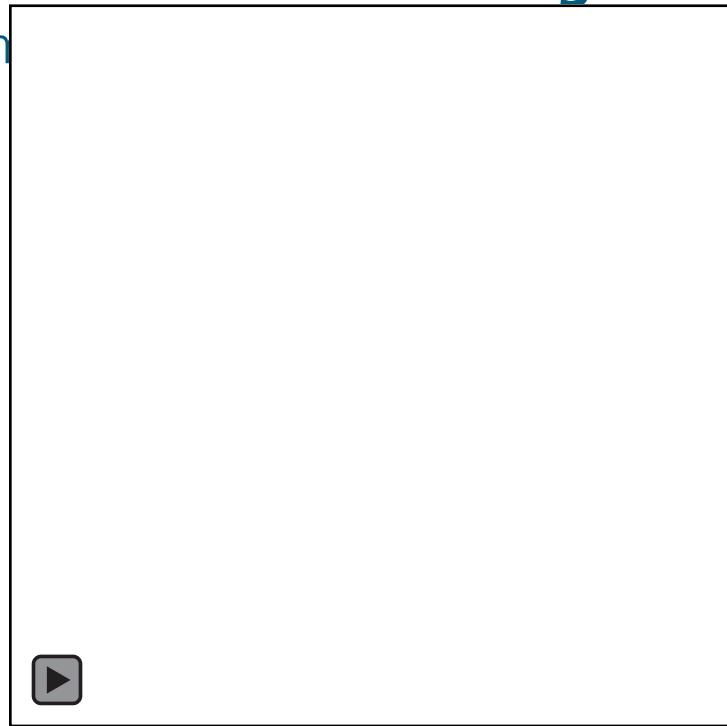
Mittlere Faserlänge [m]



Makroskalen-Simulation von langfaserverstärkten Kunststoffen

Bauteilsimulation mit

Materialdatei



Simulation mit isotroper Faserorientierung

- Rechnung mit 4 CPUs
- CPU-Zeit: 120.9 h
- Wall Clock Zeit: **30.5 h**

Simulation mit Moldflow Faserorientierung

- Rechnung mit 4 CPUs
- CPU-Zeit: 120.5 h
- Wall Clock Zeit: **30.4 h**

Laufzeit Spritzgussimulation: 50 h

- Cool(FEM)+FILL+PACK+Warp, inkl. der Optionen Fiber Breakage und Interaction Fiber Orientation with Viscosity
- 8 CPUs

Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit und frohe
Weihnachten!



BOSCH

**MATH
2 MARKET**



INSTITUTE FOR
**PLASTICS
PROCESSING**

in Industry and Craft at
RWTH Aachen University



PEG

Plastic | Simulation | Experience

Supported by:



Federal Ministry
for Economic Affairs
and Climate Action



Universität Stuttgart
Institut für Akustik und Bauphysik



University of Stuttgart
Institute for Sanitary Engineering, Water Quality and
Solid Waste Management

B/S/H/



Celanese

SimTech

on the basis of a decision
by the German Bundestag

Mikroskalen-Simulation von langfaserverstärkten Kunststoffen

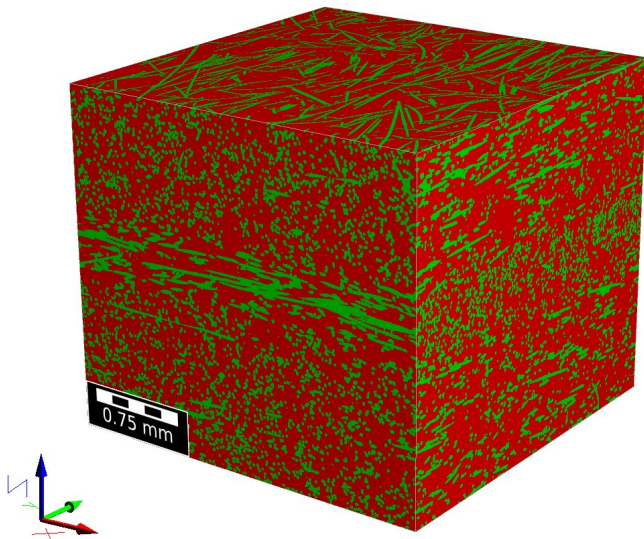
Erweiterung auf geschäumtes Material durch effektive Steifigkeit für Matrix mit Poren

Effektive Steifigkeit für Matrix mit Poren

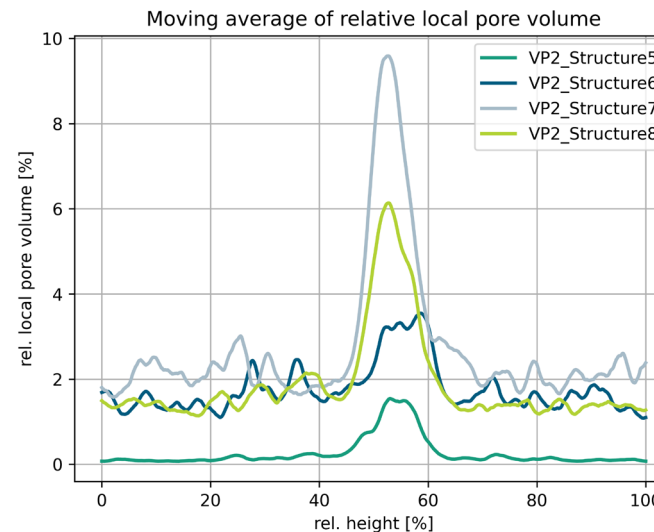
- SIMP Ansatz aus Topologieoptimierung
- Effektives E-Modul gegeben durch

$$E_{\text{SIMP}}(z) = \left(1 - \phi_{\text{Poren}}^{\text{lokal}}(z)\right)^3 \left(1 + k_{\text{fit}} \phi_{\text{Poren}}^{\text{global}}\right) E_{\text{Matrix}}$$

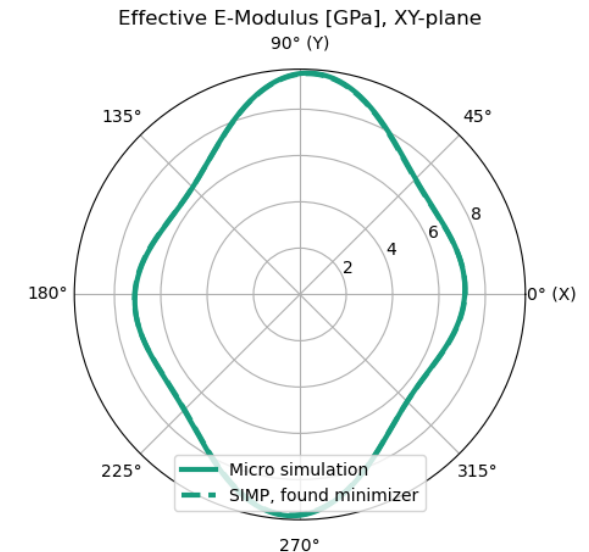
- Fitting durch Vergleich mit Simulationen mit vollaufgelösten Poren



Segmentierter CT-Scan



Lokale Porenverteilung über Dickenrichtung



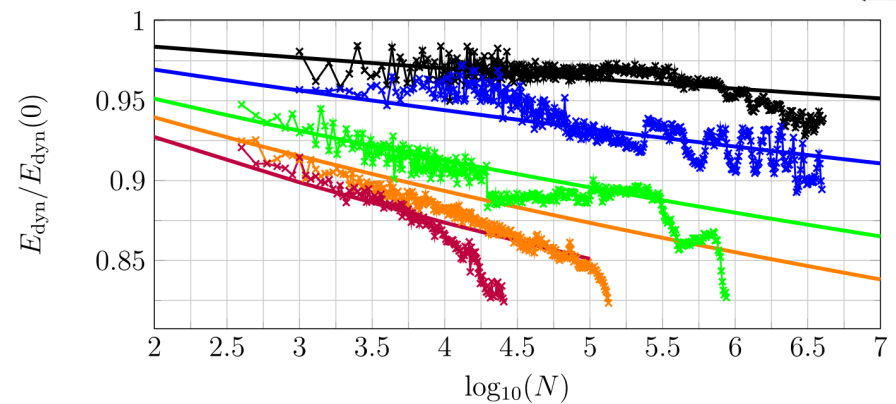
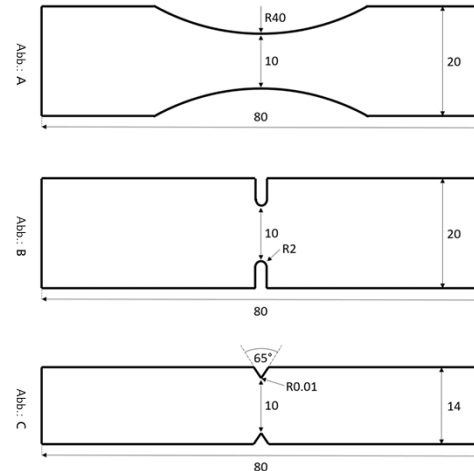
Effektive directionale Steifigkeit
Mikrosimulation vs. SIMP

Makroskalen-Simulation von langfaserverstärkten Kunststoffen

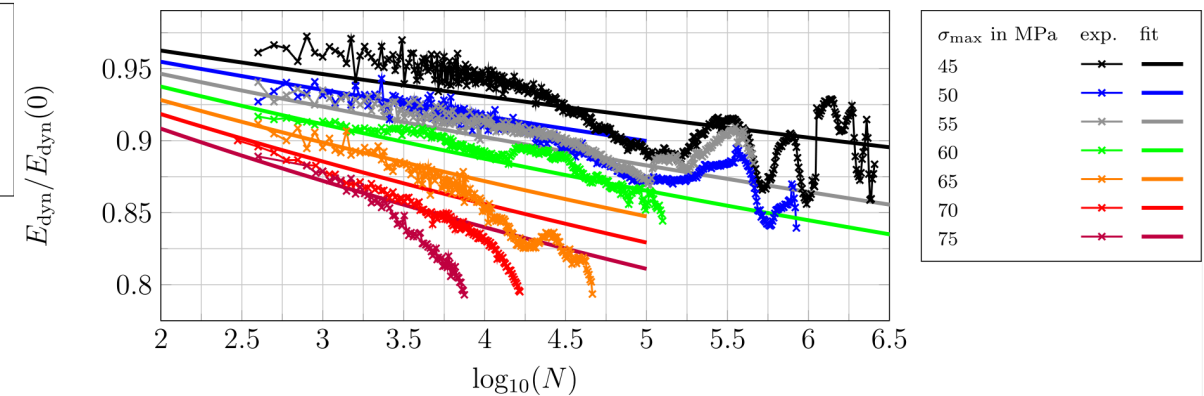
Modell-Kalibrierung mithilfe von Experimentdaten von gekerbten Prüfkörpern

Modell-Kalibrierung

- Bestimmung des Schädigungsparameters α
- Bestimmung eines Versagenskriteriums auf Bauteilskala
- Modell erlaubt a-posteriori Fitting beider Größen



Geometrie A, 0°-orientiert, Spannungsverhältnis $R = 0$



Geometrie A, 90°-orientiert, Spannungsverhältnis $R = 0$