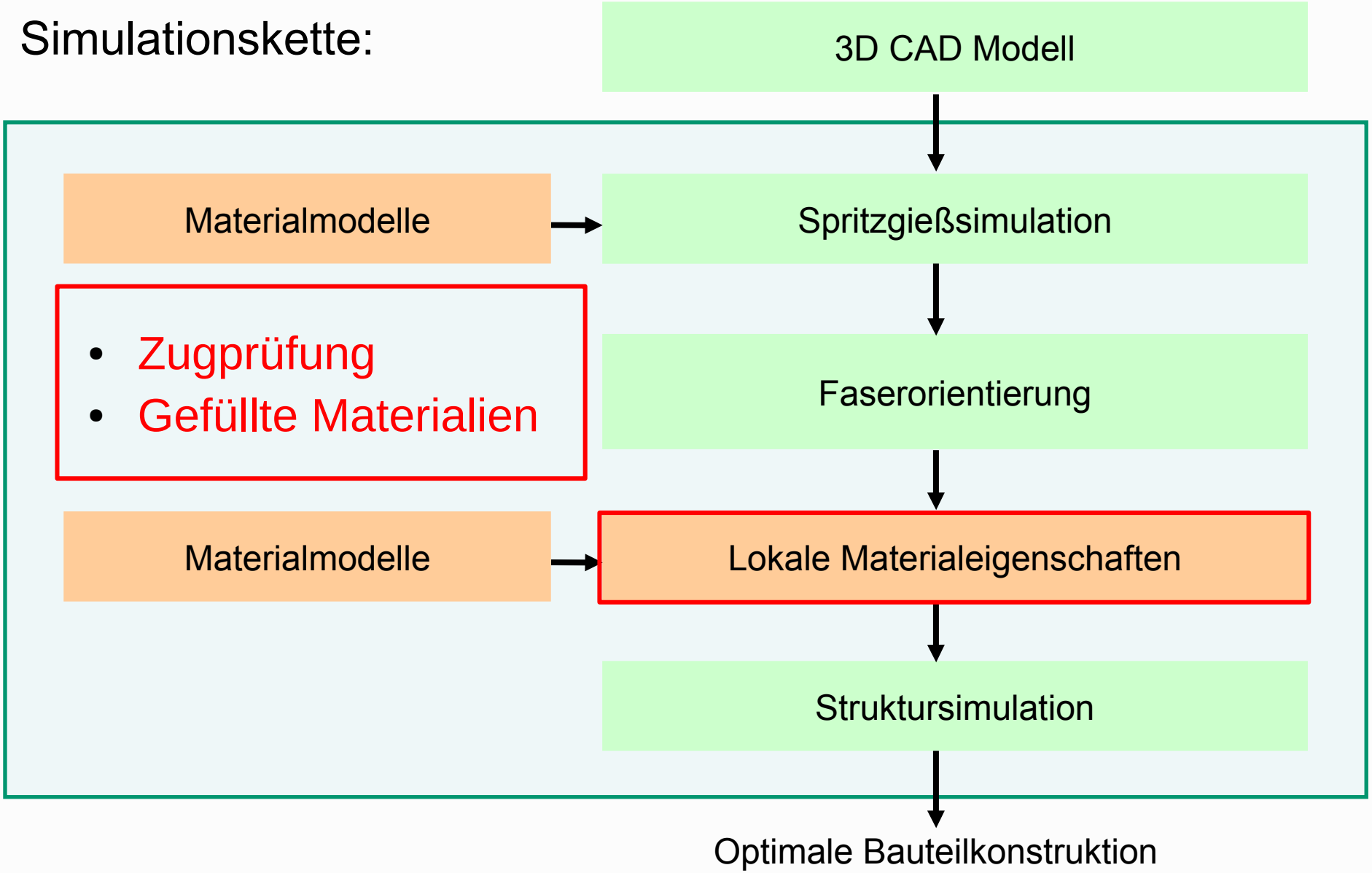
Materialdaten für die Crashsimulation – Zwischen Spritzguss und Struktursimulation

Florian Becker[1], Sebastian Mönnich[1],
Stefan Kolling[1,2]

[1] Deutsches Kunststoff-Institut, [2]Technische Hochschule Mittelhessen (THM)

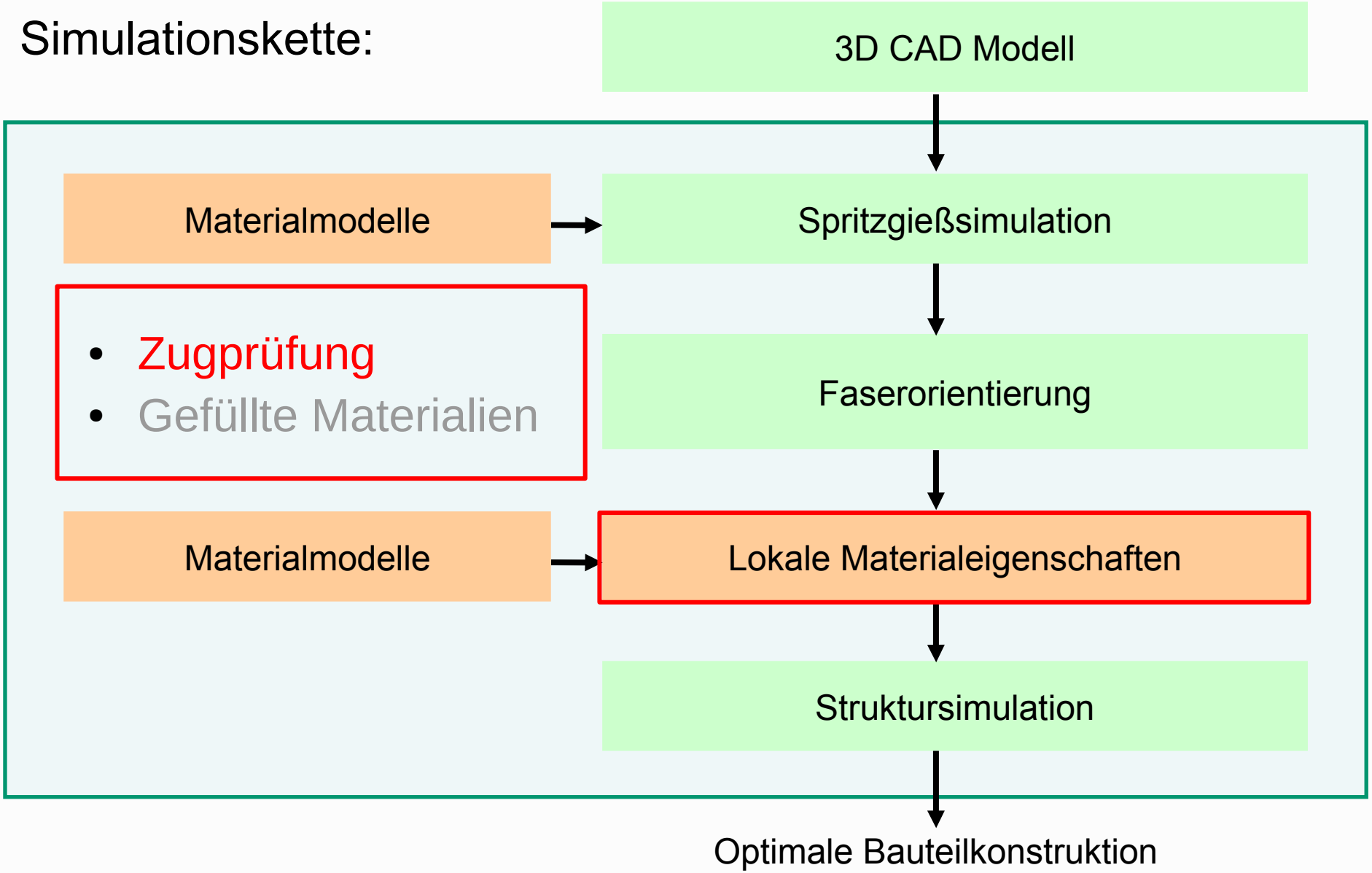
Übersicht

Simulationskette:

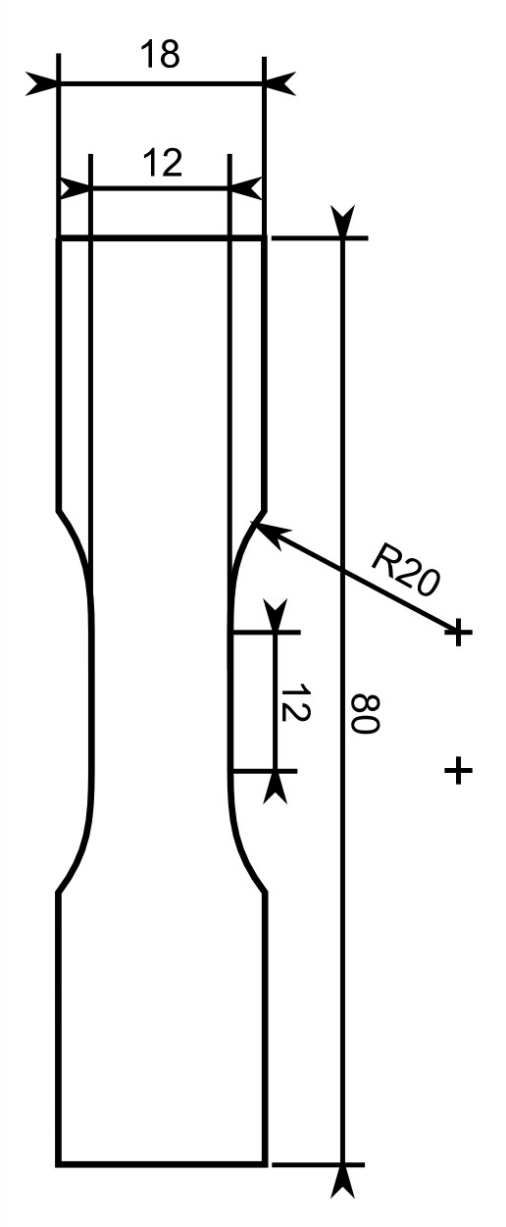


Übersicht

Simulationskette:



Zugversuch an Kunststoffen



Grundfrage:

Was will ich mit den Ergebnissen aus den Zugversuchen machen?

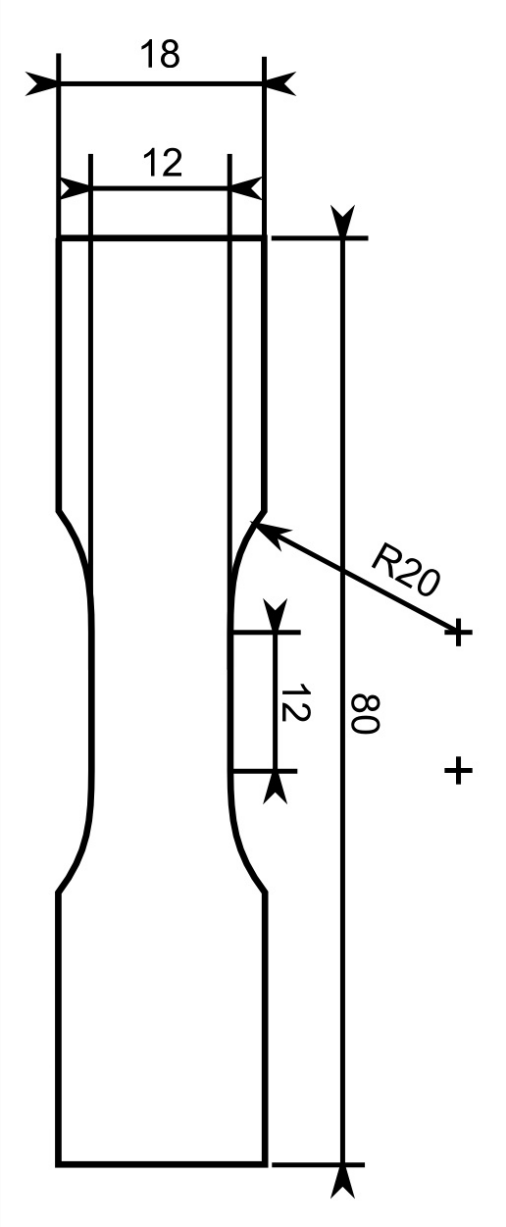
Möglichkeiten:

- Datenbank füllen
- Materialauswahl
- ➔ FE-Simulation
- …

Dies ergibt Fragen zu Prüfung und Auswertung:

- Prüfgeschwindigkeiten
- Temperaturen
- Konditionierungen
- Spannungsberechnung
- ➔ Dehnungsmessung
- Orientierungen
- …

Dehnungsmessung im Zugversuch



Methoden:

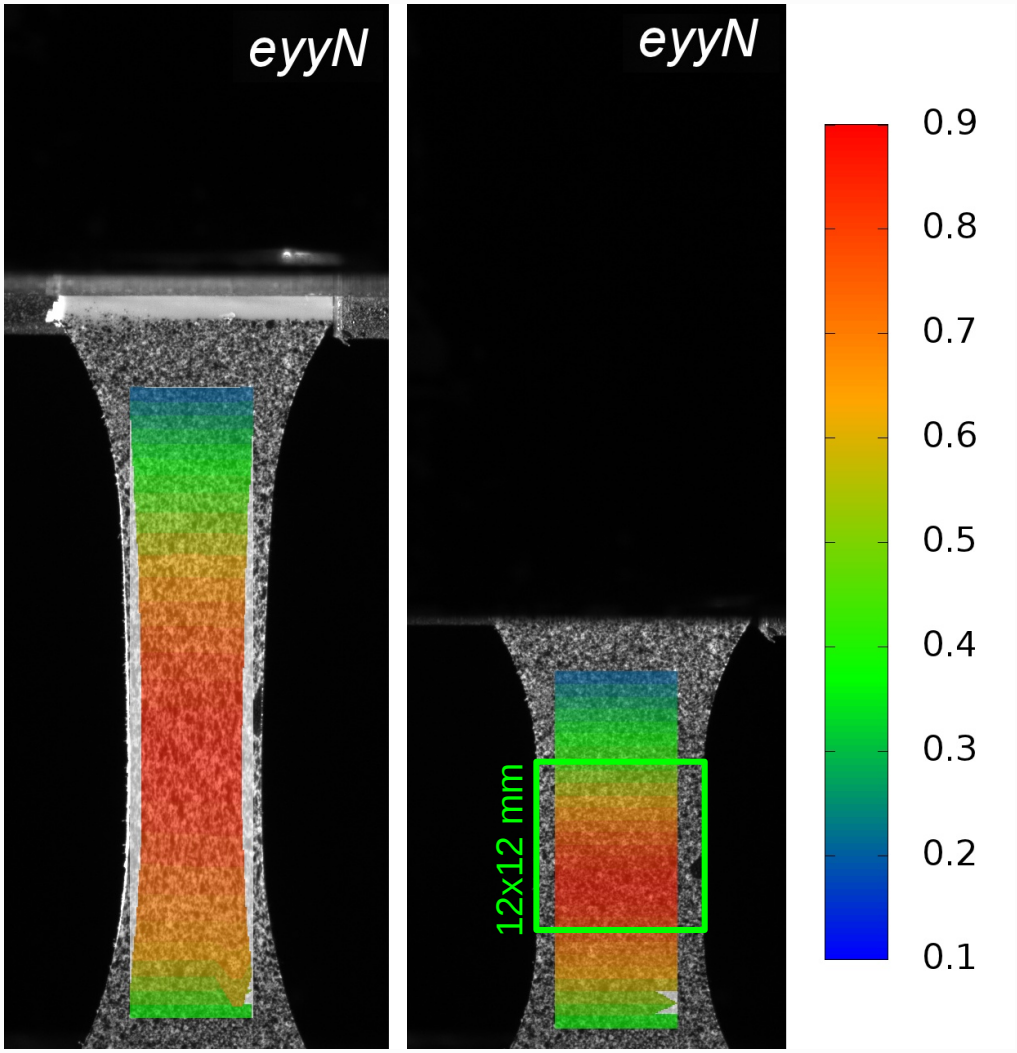
- Taktile Messtaster
- DMS
- Kreuzlaserscanner
- ➔ Grauwertalgorithmen
- Berechnung über Traversenweg
- …

Nicht mit allen Methoden können sowohl Längs- als auch Querdehnungen bestimmt werden!

Probleme:

- Kunststoffe schnüren i. A. schon mit Überschreiten der Streckgrenze lokal ein.
- Ort der Einschnürung auf der Probe nicht bekannt.
- ➔ Für die Spannungsberechnung und Überführung der Ergebnisse in die FE-Simulation müssen diese lokalen Effekte erfasst werden.

Dehnungsmessung mittels Grauwertalgorithmen



Längsdehnung projiziert auf **deformiertes** Bild

Längsdehnung projiziert auf **undeformiertes** Bild

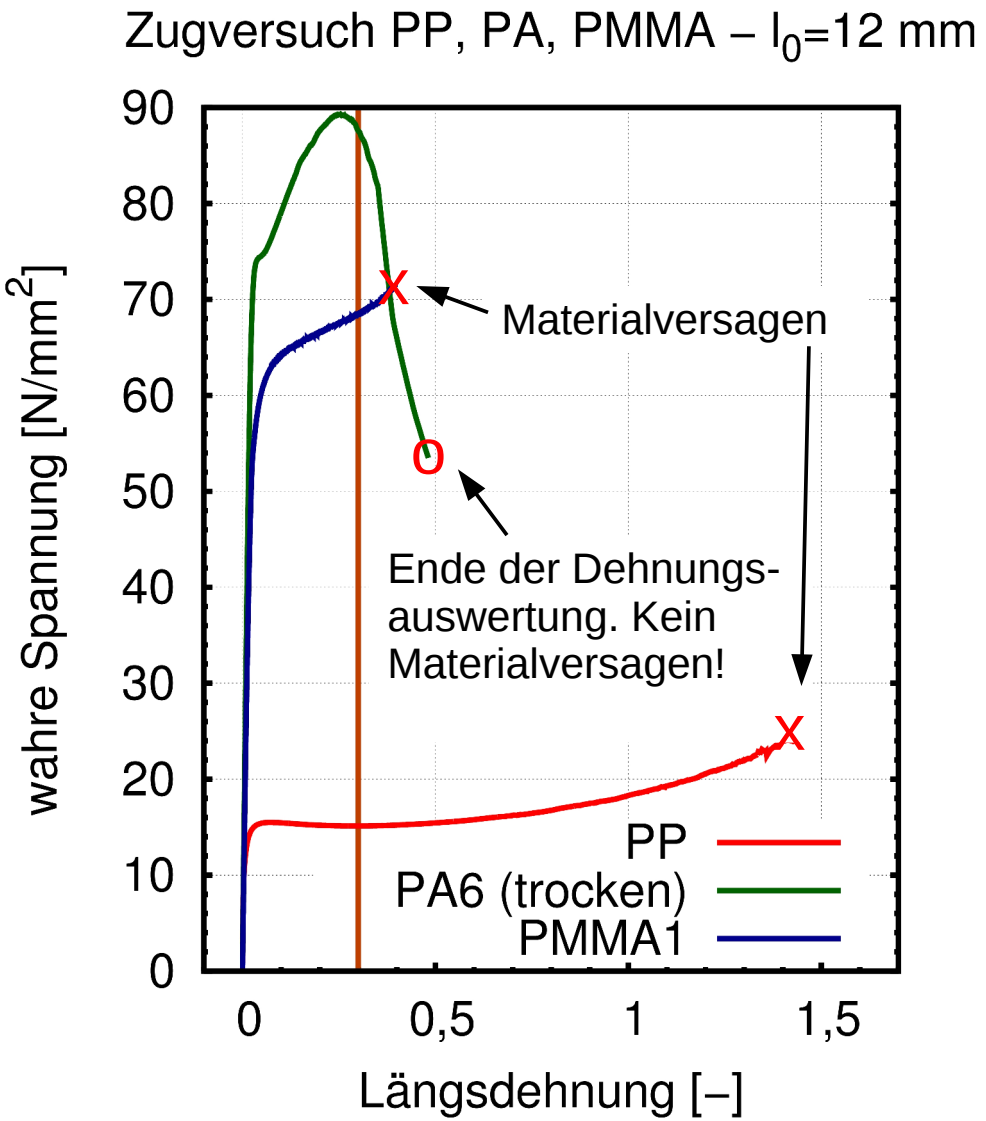
Funktionsweise

- Probe mit stochastischem Grauwertmuster wird während des Versuchs gefilmt.
- Aus Deformation des Musters lassen sich Verschiebungen und daraus Längs- und Querdehnungen auf der gesamten Probenoberfläche lokal berechnen.

Auswertung

- Dehnungspunkte in relevantem Probenbereich werden gemittelt.
- Größe und Lage des Bereich können frei nach z. B. Deformations- und Geometrieaspekten gewählt werden.
- Auswertung der Messbereich erfolgt nach dem Versuch.
- Gemittelte Dehnungen entsprechen klassischen 2-Punkt-Methoden.

Spannungs-Dehungverhalten von drei Kunststoffen



Prüf- und Auswerteparameter:

- Dehnungsmessung: Grauwertalgorithmus
- Geschwindigkeit: quasistatisch
- Temperatur: 23 °C (RT)
- Dehungs- und Spannungsberechnung:

$$\varepsilon_H = \ln \frac{l}{l_0} \qquad \sigma_W = \frac{F}{A_0 \cdot e^{2 \cdot \varepsilon_Q}}$$

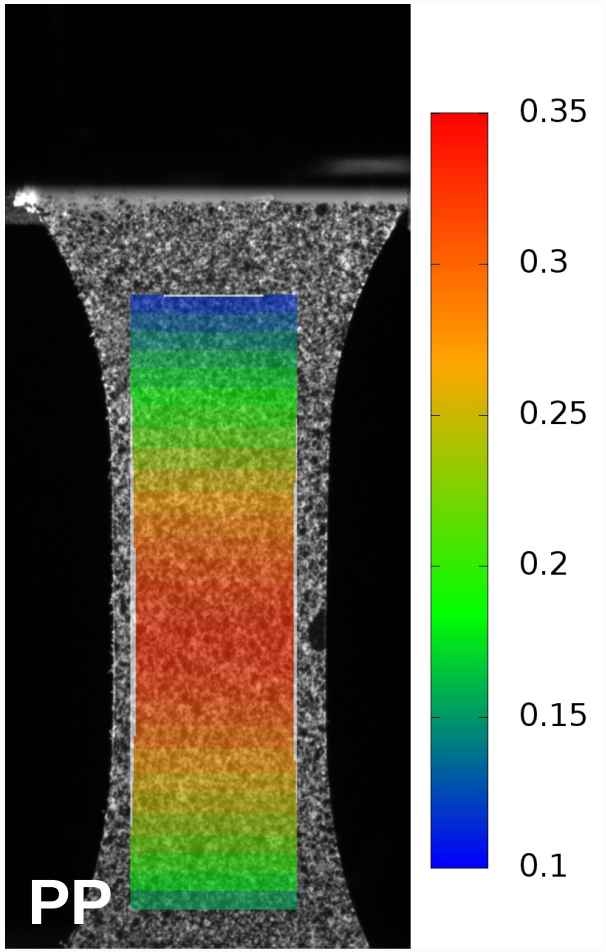
- Messlänge (l_0): 12 mm (paralleler Probenbereich)

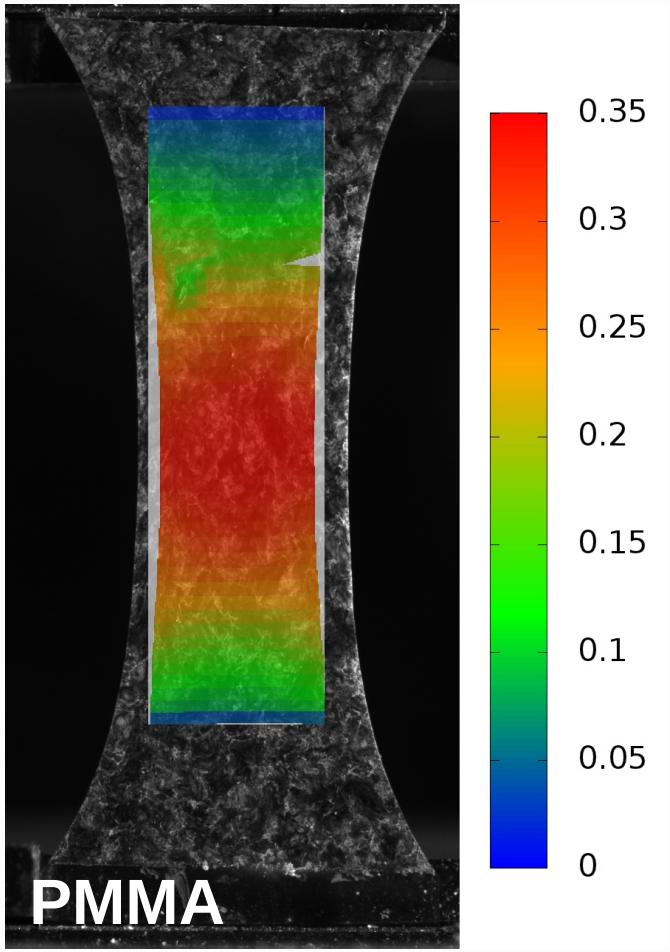
Ergebnis:

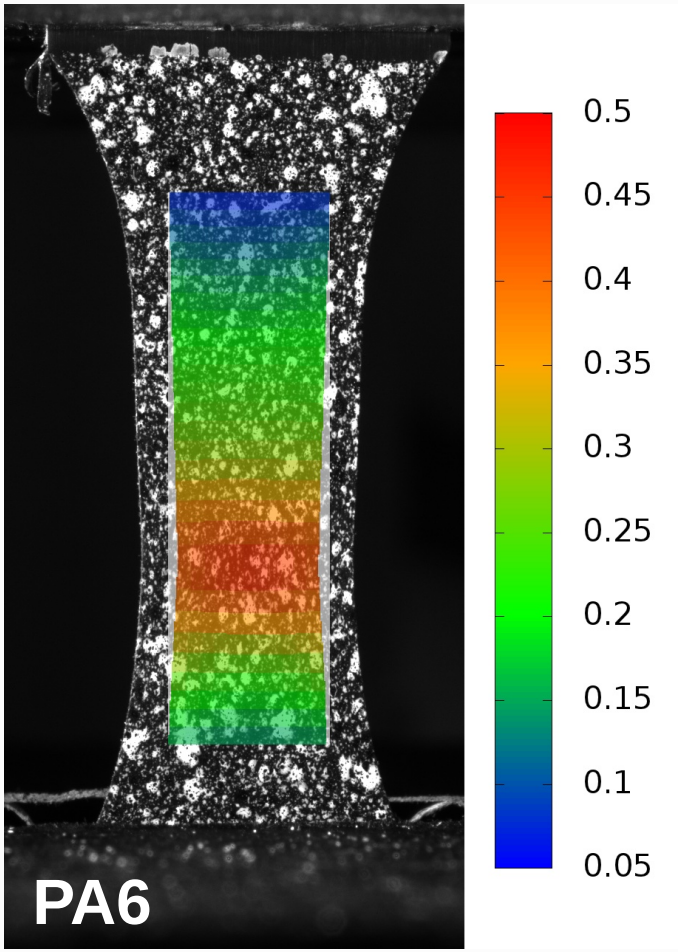
- Erwartungsgemäß stark unterschiedliches Materialverhalten.
- Starker Abfall der Spannung/Kraft bei PA6 ohne sichtbares Materialversagen.

➔ Ursache in der Spannungsberechnung und damit in der Querdehnung?

Detailuntersuchung des Dehnungsprofils





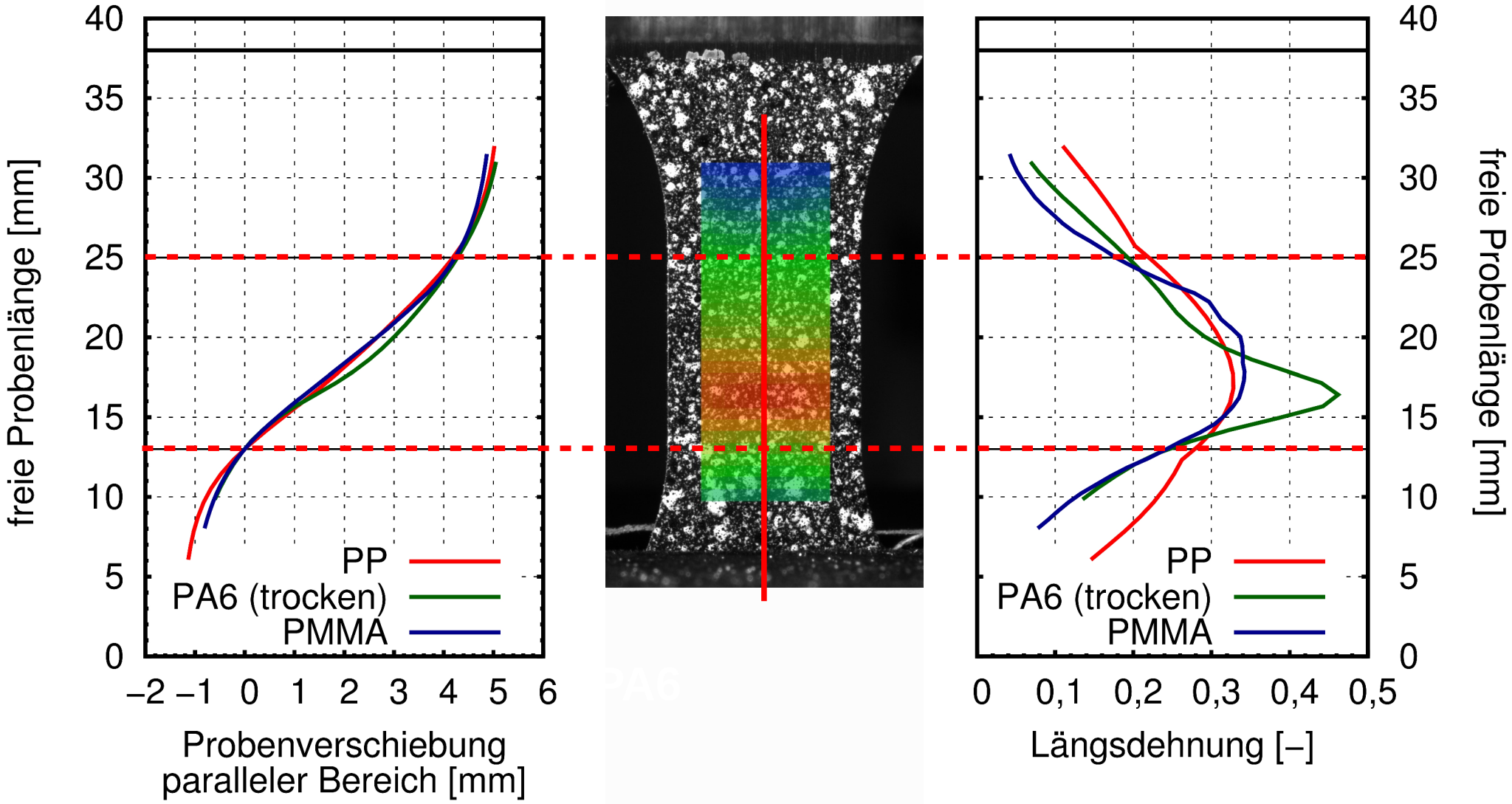


Längsdehnungsprofil aus Grauwertalgorithmus über Probenlänge:

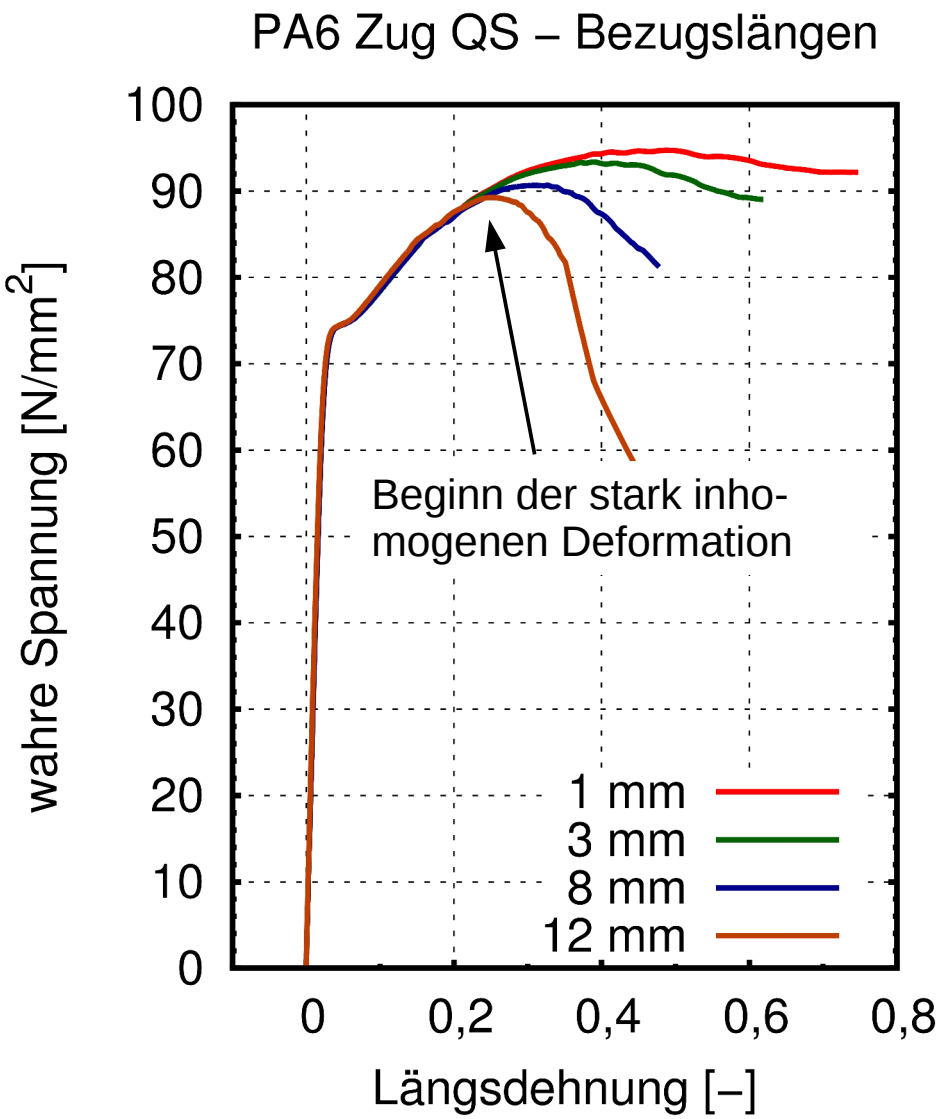
- Mittlere Längsdehnung (l_0 = 12 mm): ε_L = 0,3; max. Verschiebung: Δl_{max} = 4,2 mm

➔ Bei gleicher Verschiebung stark unterschiedliche Dehnungslokalisierung.

Detailuntersuchung des Dehnungsprofils



Auswirkung der Messlänge auf den Spannungsverlauf



Variation der Bezugslänge

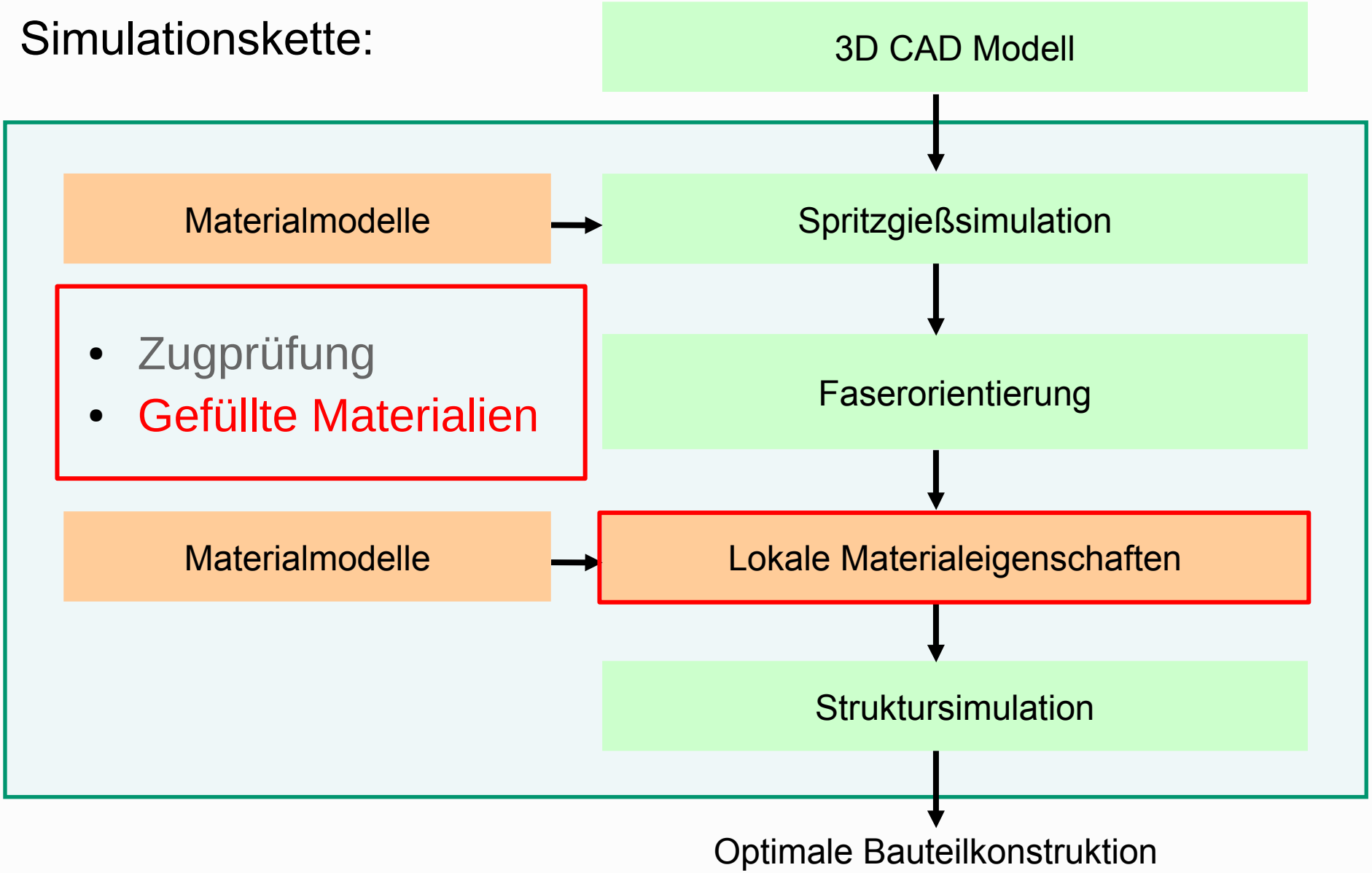
- Längs- und Querdehnung werden über verschiedene Messlängen bestimmt.
- Über die Querdehnung hat dies auch Einfluss auf den Spannungsverlauf.
- Je kleiner die Messlänge desto homogener das betrachtete Dehnungsprofil.

Fazit

- ➔ Je kleiner (lokaler) die Messlänge, desto genauer wird das reale Verhalten abgebildet.
- ➔ Aber: Ziel ist nicht die physikalisch exakte Charakterisierung, sondern eine passende Kurve für die FE-Simulation.
- ➔ Daher: Messlänge muss an Simulationsgegebenheiten angepasst werden (z. B. Elementgröße)
- ➔ Längs- und Querdehnung müssen über den gesamten Bereich gemittelt werden.

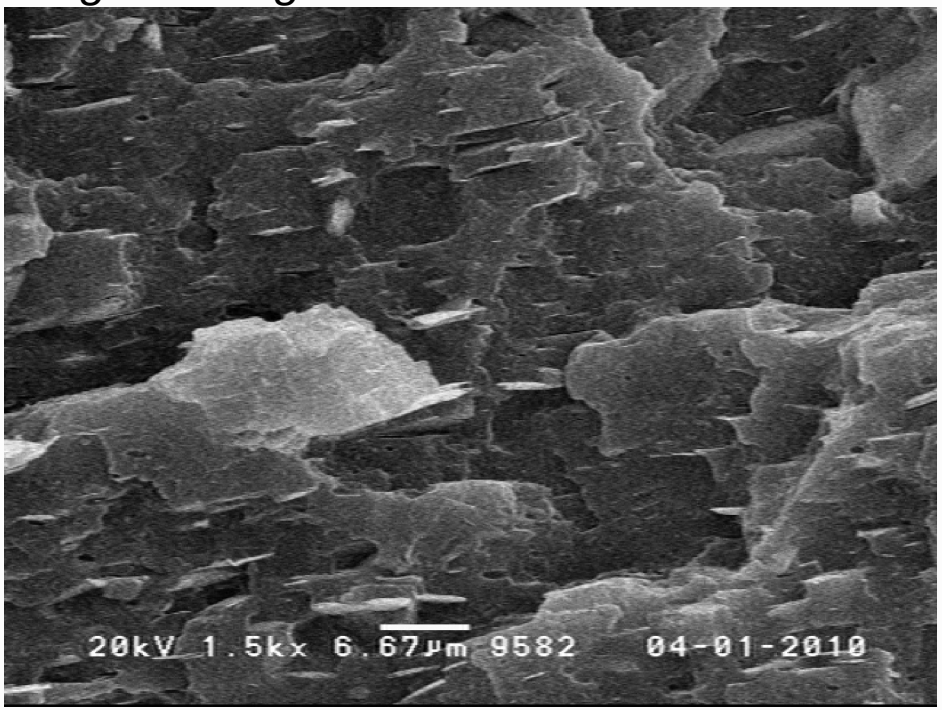
Übersicht

Simulationskette:

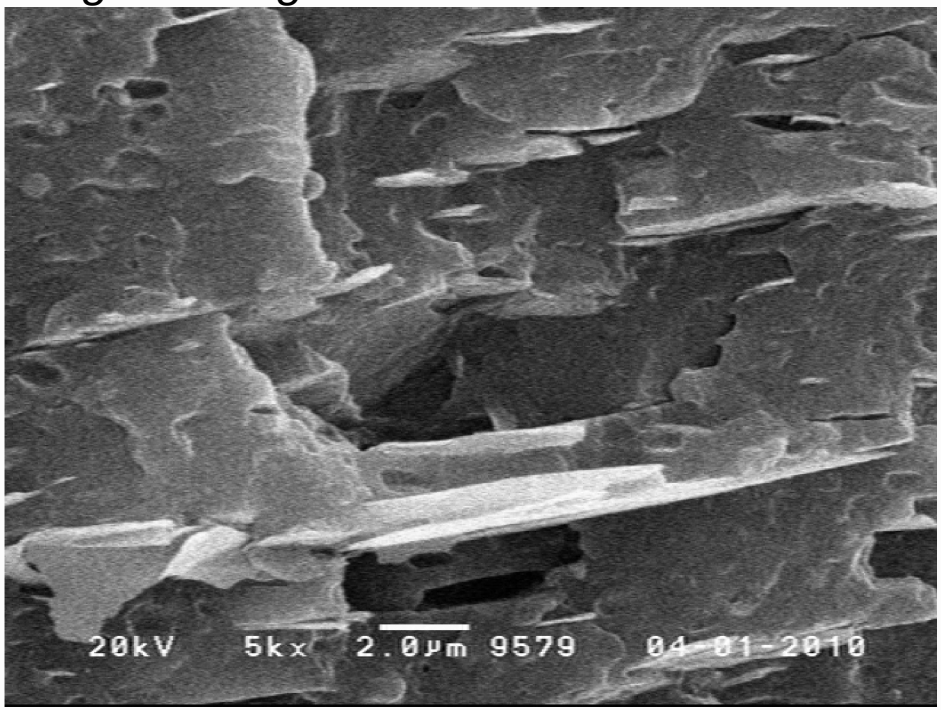


Talkumpartikel in PP-Matrix

Vergrößerung: 1500



Vergrößerung: 5000



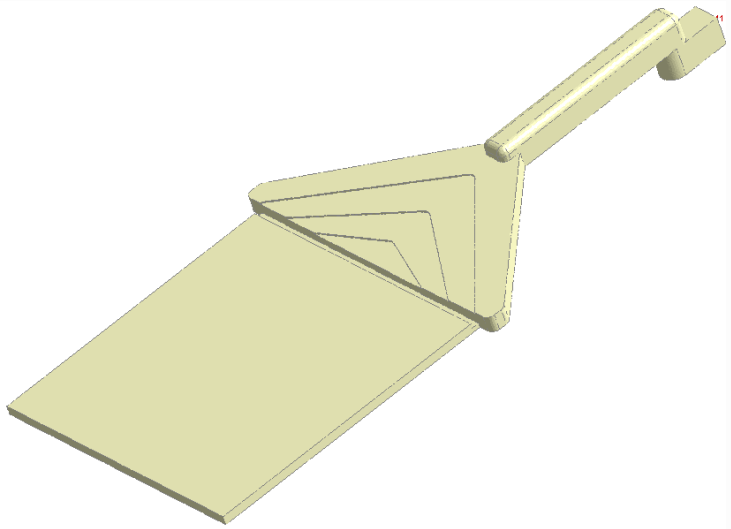
- Talkumpartikel haben ein Aspektverhältnis ungleich 1.

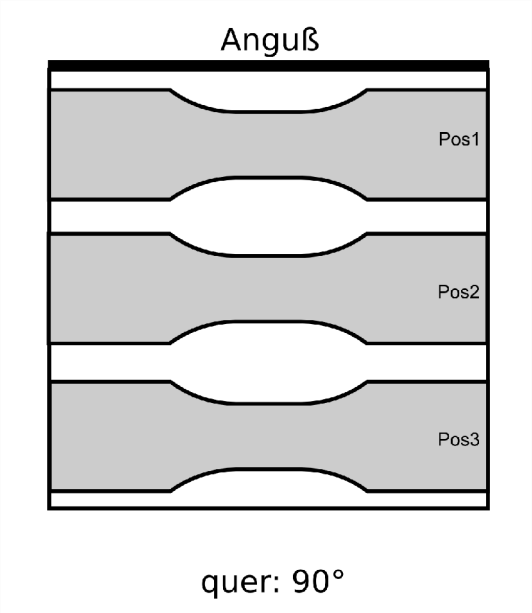
➔ Partikel orientieren sich vergleichbar mit Fasern.

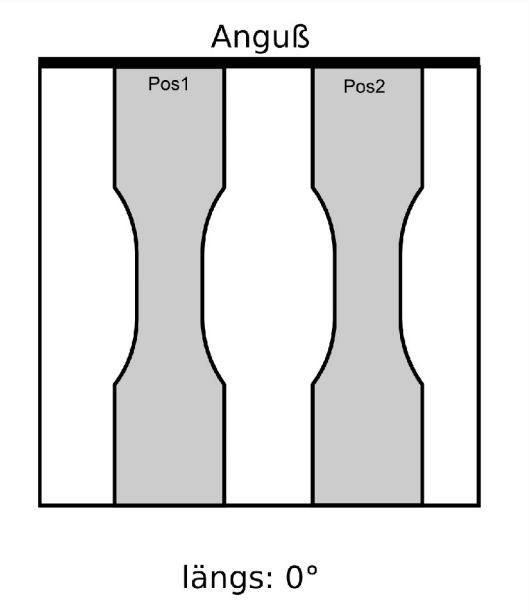
- EPDM-Phase hat keine fixe Geometrie.

➔ EPDM-Phase bildet gestreckte, orientierte Domänen.

Herstellung von Orientierten Probekörpern







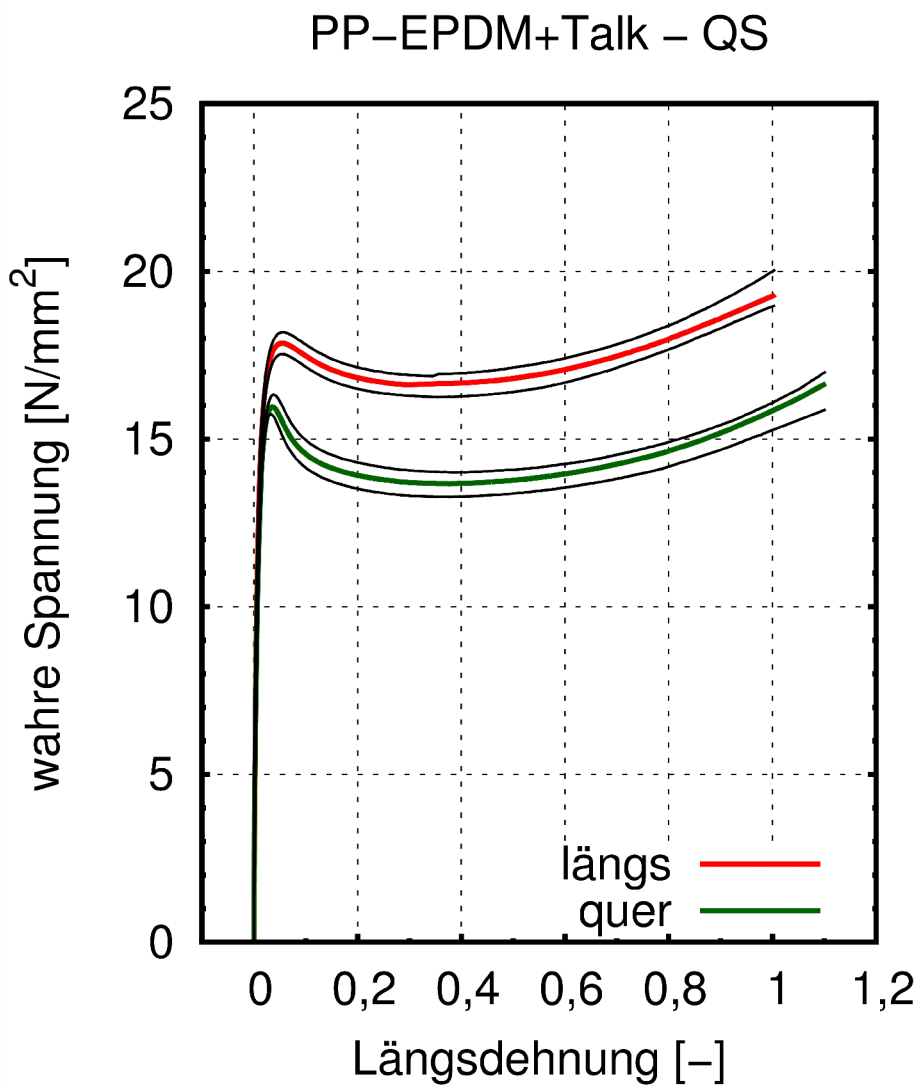
- Plattenhalbzeuge werden spritzgegossen.
- Einfluss der Prozessparameter
  - Schmelzetemperatur
  - Formtemperatur
  - Füllgeschwindigkeit

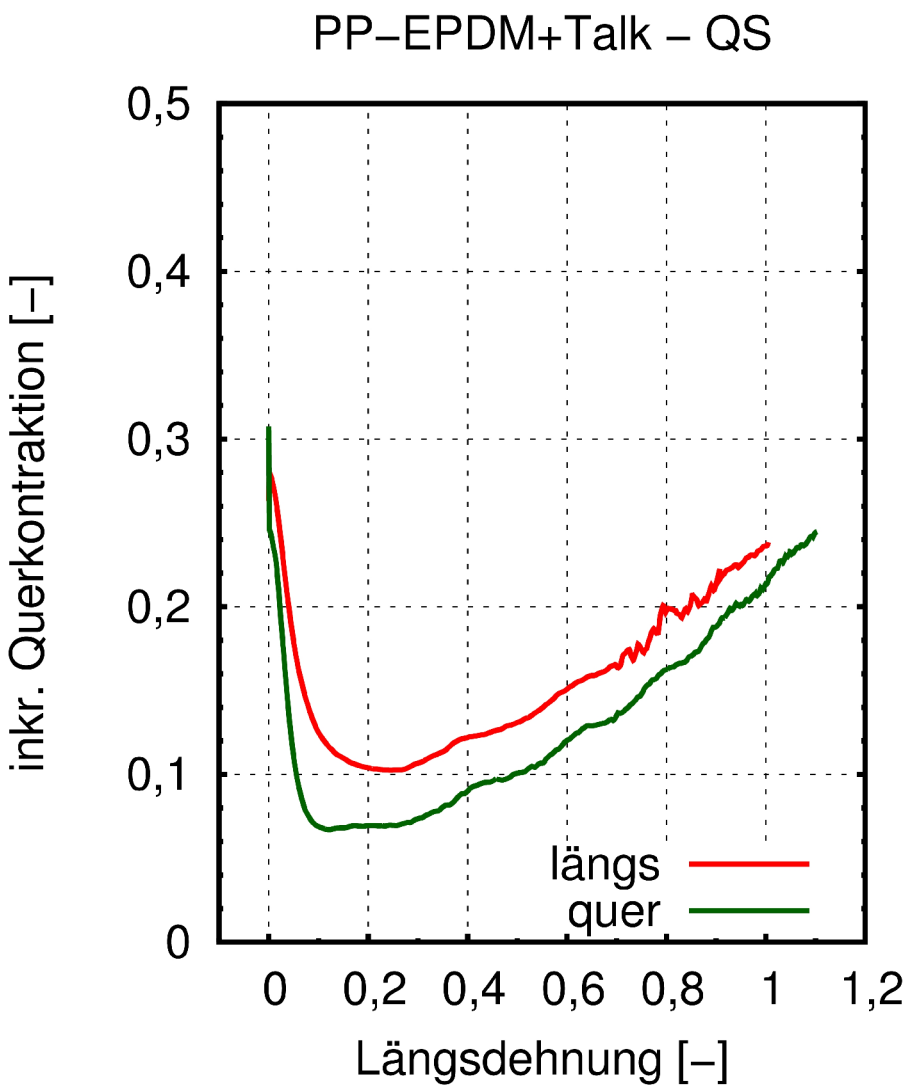
  wurde untersucht.
- Probekörper werden aus Halbzeug längs und quer zur **Spritzrichtung** entnommen (gefräst).

➔ Quasistatische (5 mm/min) und dynamische Versuche wurden längs und quer durchgeführt.

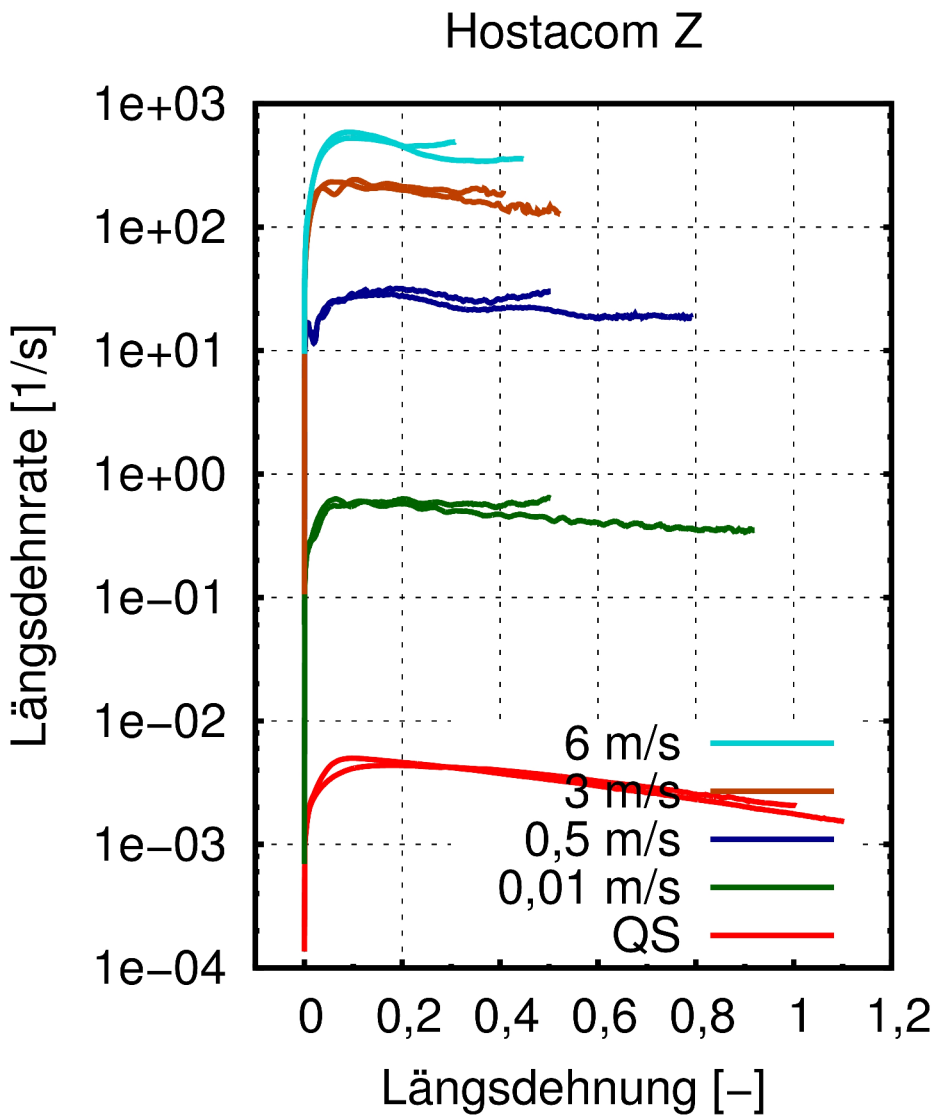
➔ Unabhängigkeit der Ergebnisse von der Entnahmeposition wurde nachgewiesen.

PP-EPDM-Talk – quasistatische Ergebnisse





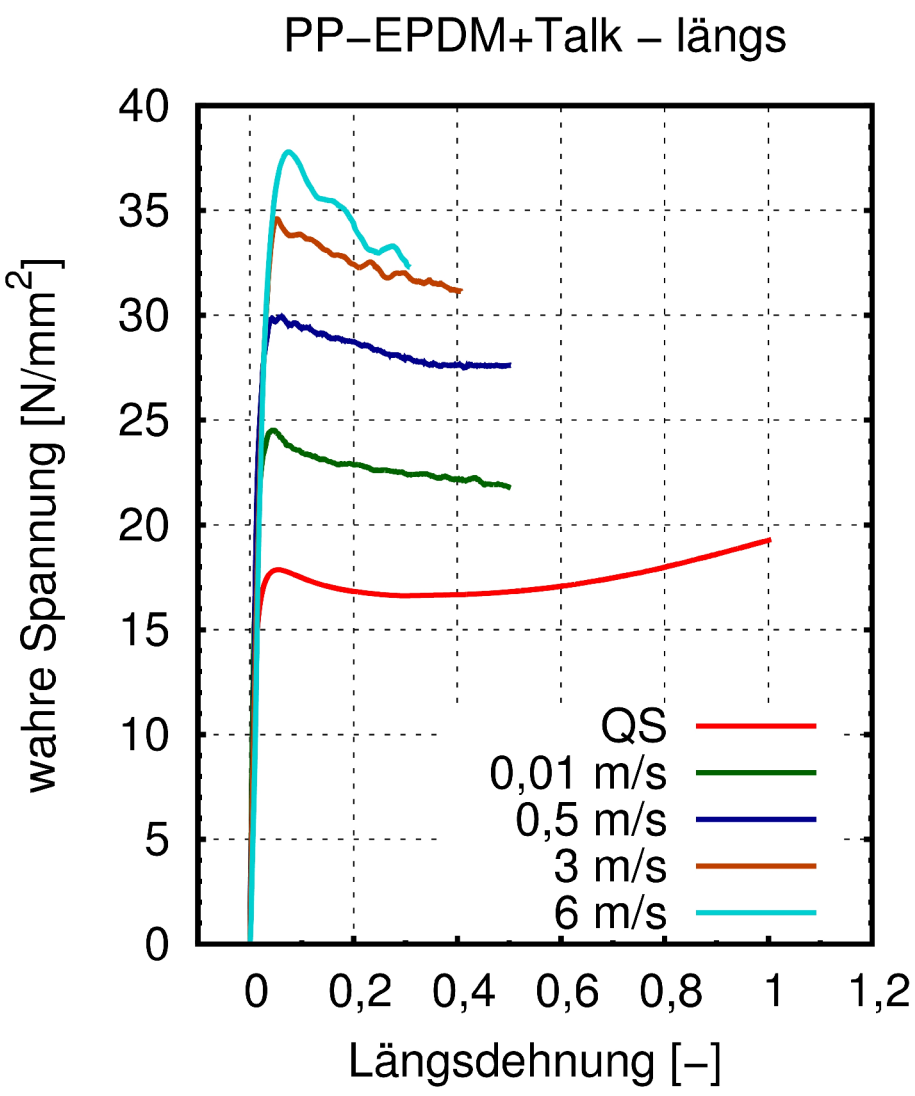
PP-EPDM-Talk – dynamische Untersuchungen

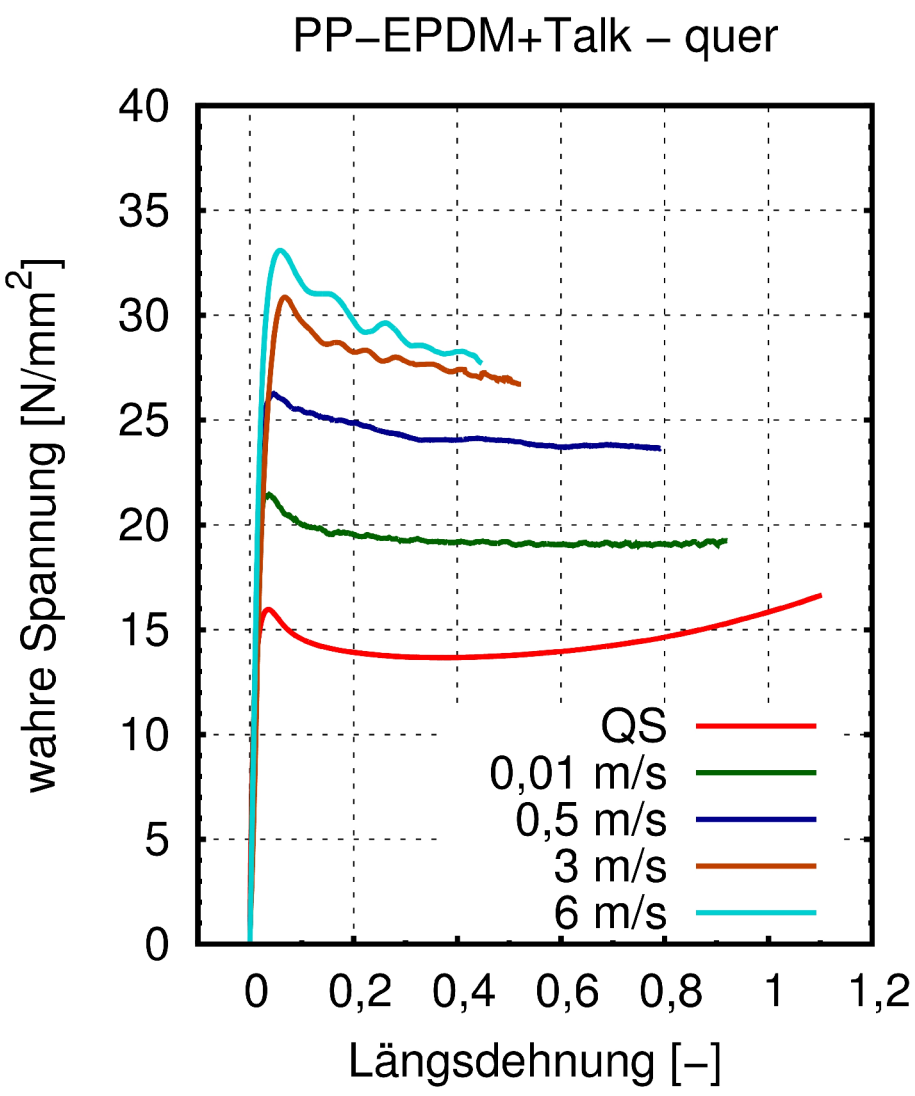


- Dynamische Versuche wurden mit
  - 0,01 m/s
  - 0,5 m/s
  - 3 m/s
  - 6 m/s

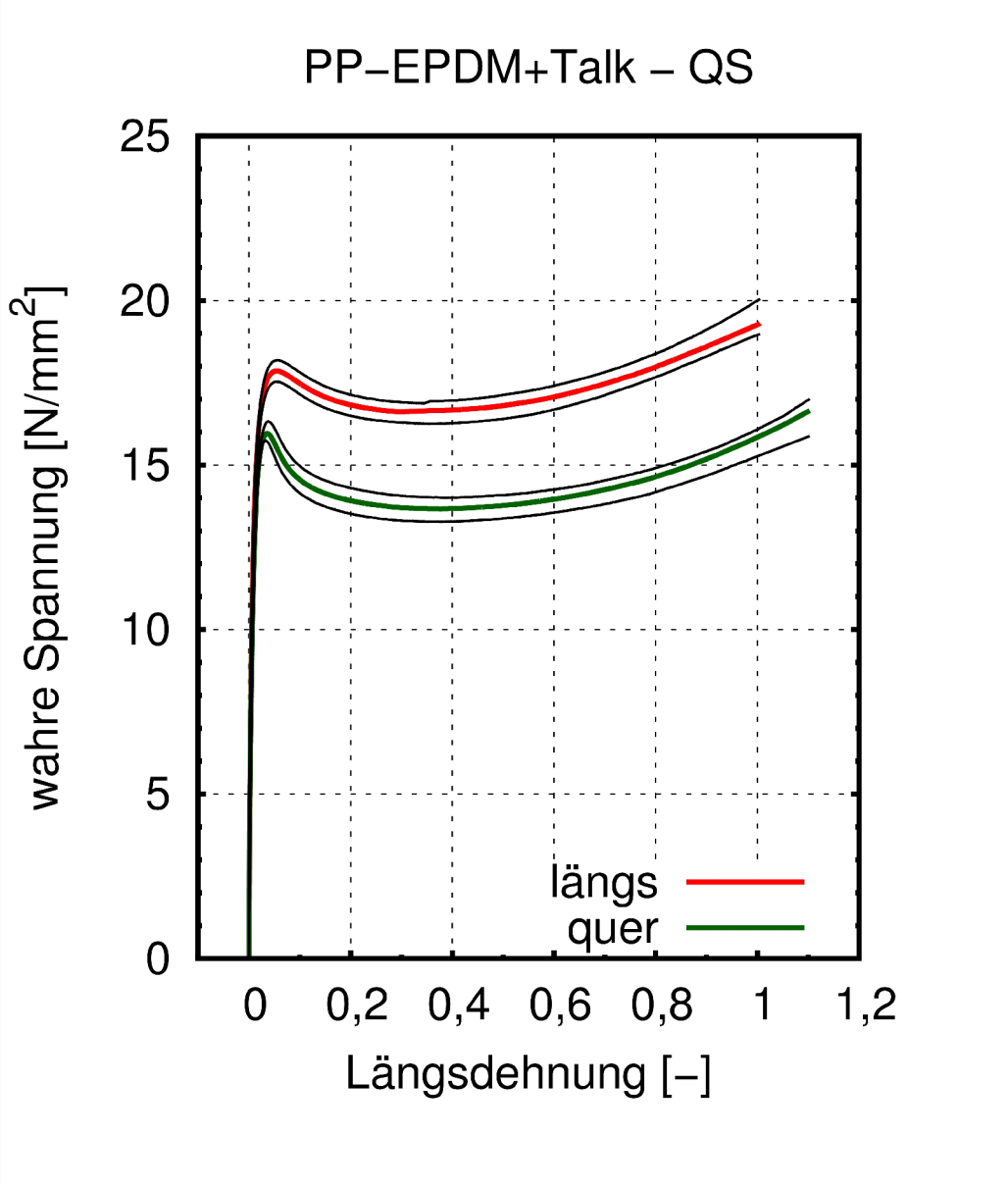
  durchgeführt.
- Dehnratenantwort auf die vorgegebene Prüfgeschwindigkeit ist unabhängig von der Orientierung.
- Aufgrund von Lokalisierungen ist die Dehnrate nicht konstant.

PP-EPDM-Talk – dynamische Ergebnisse



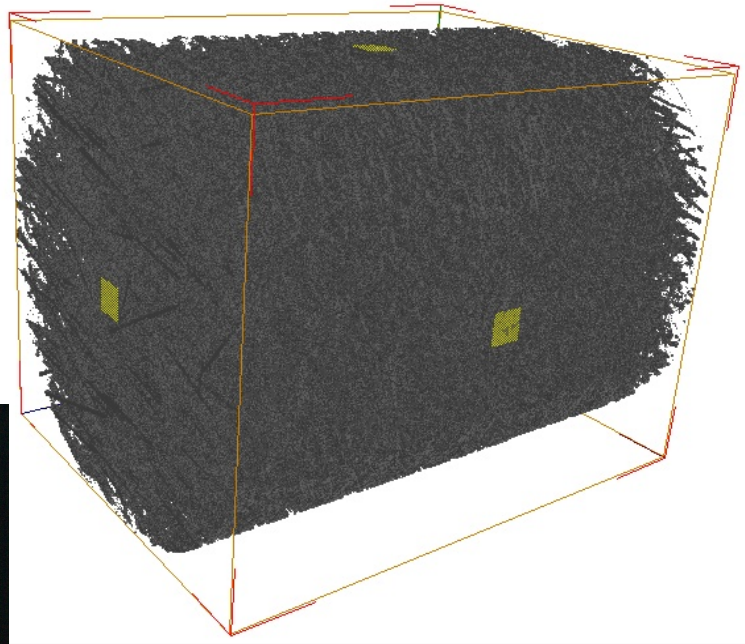


PP-EPDM-Talk – Fazit

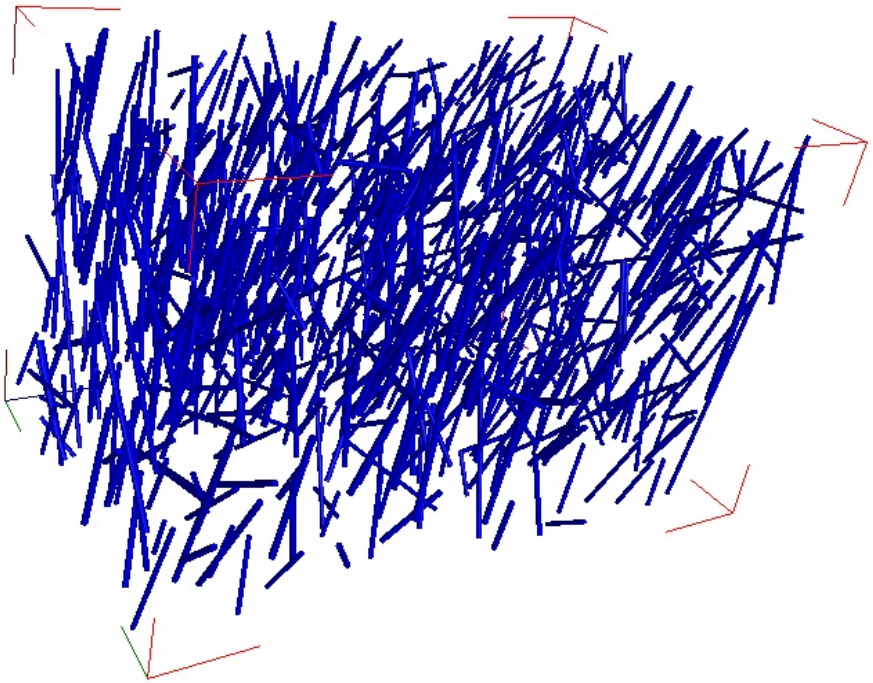


- Auch vermeintlich isotrope Materialien zeigen anisotrope Eigenschaften
- Betroffen sind u. a.
  - Elastizitätsmodul
  - Spannungs-Dehnungs-Verhalten
  - Querdehnverhalten
  - Dehnratenabhängigkeit
- Die Berücksichtigung diese Richtungsabhängigkeit muss in die Überlegungen zur Materialbeschreibung vorgenommen werden.

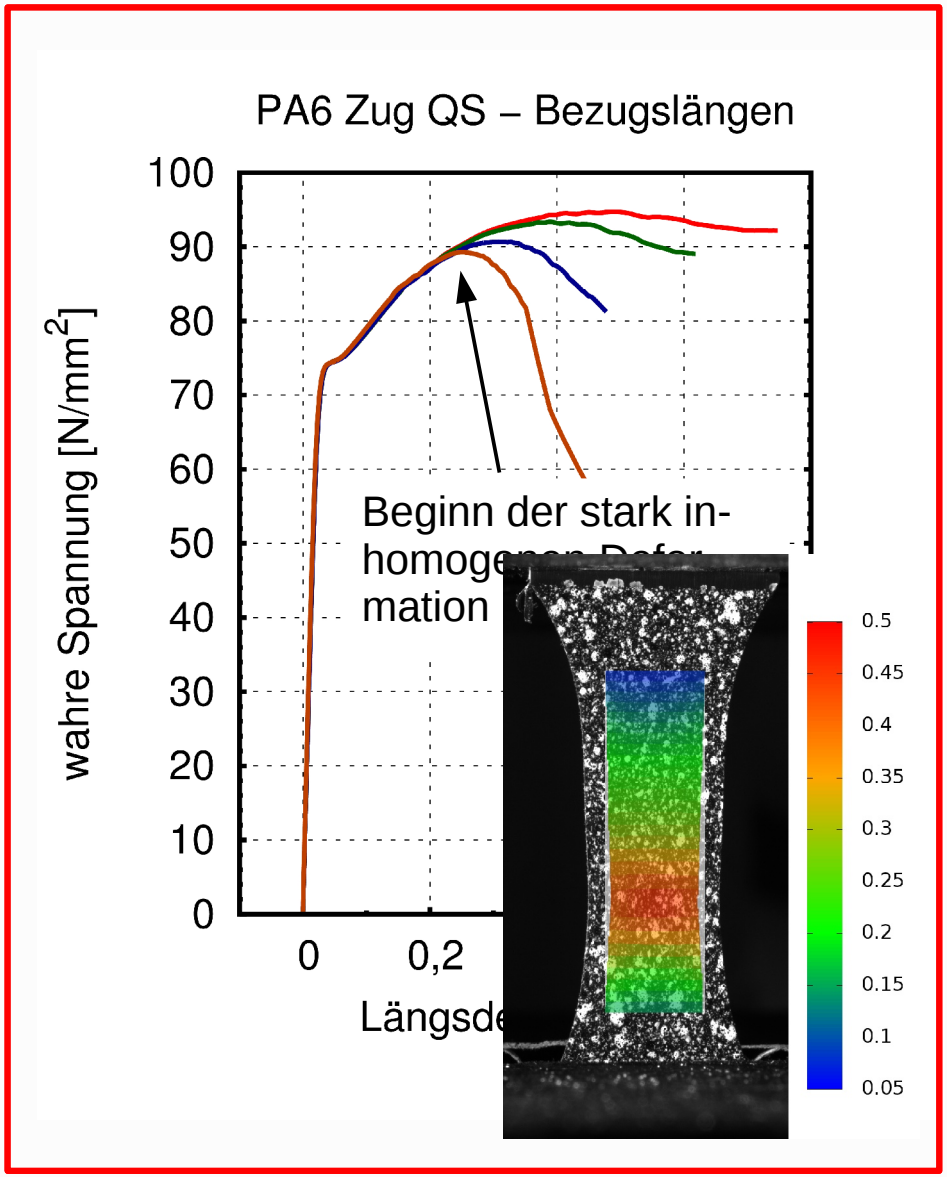
Bestimmung der Faserorientierung mittel µCT-Daten

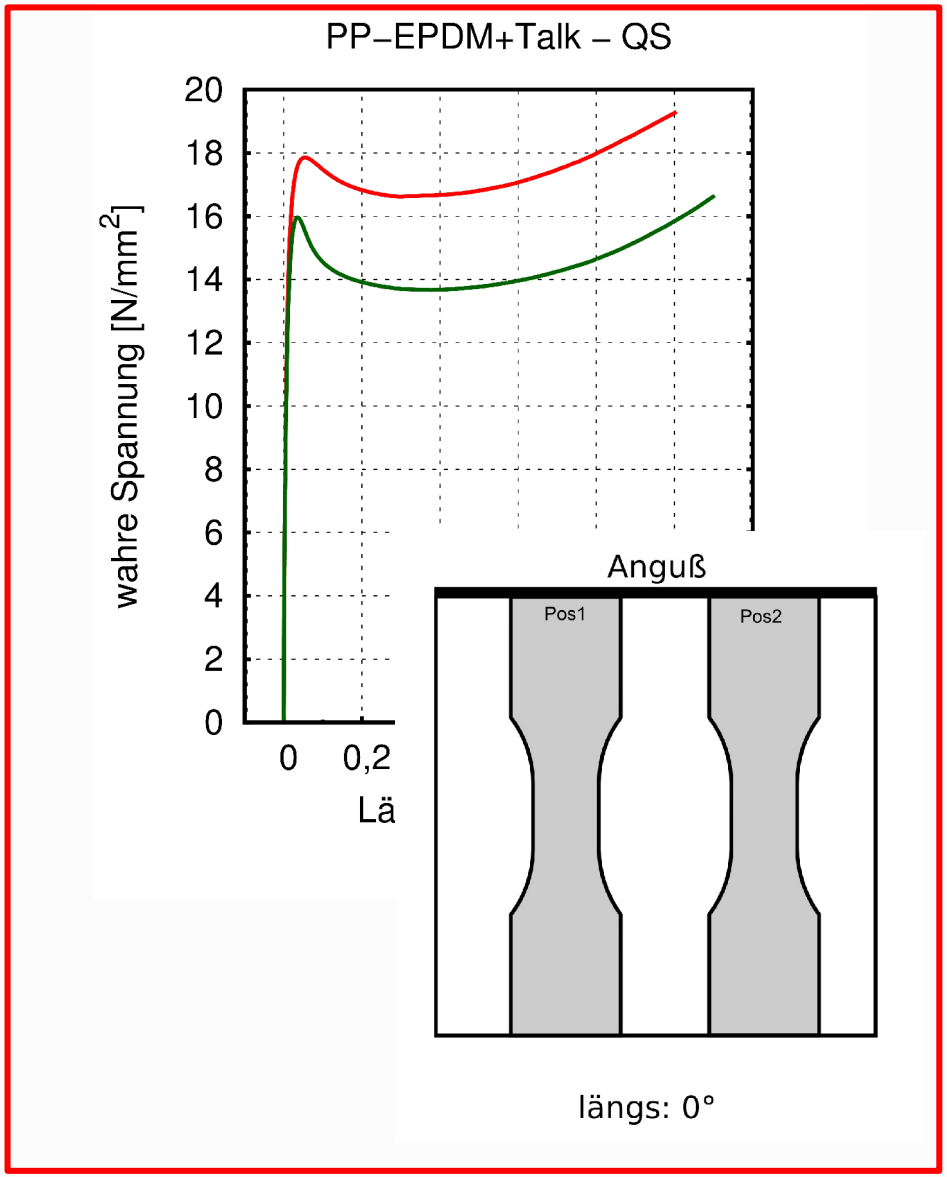


- Einfachste Probenpräparation
- Mathematische Beschreibung jeder einzelnen Faser.
- Bestimmung des vollständigen Orientierungstensors.
- Einfache Bestimmung von Faserlängenverteilung und Fasergehalt.



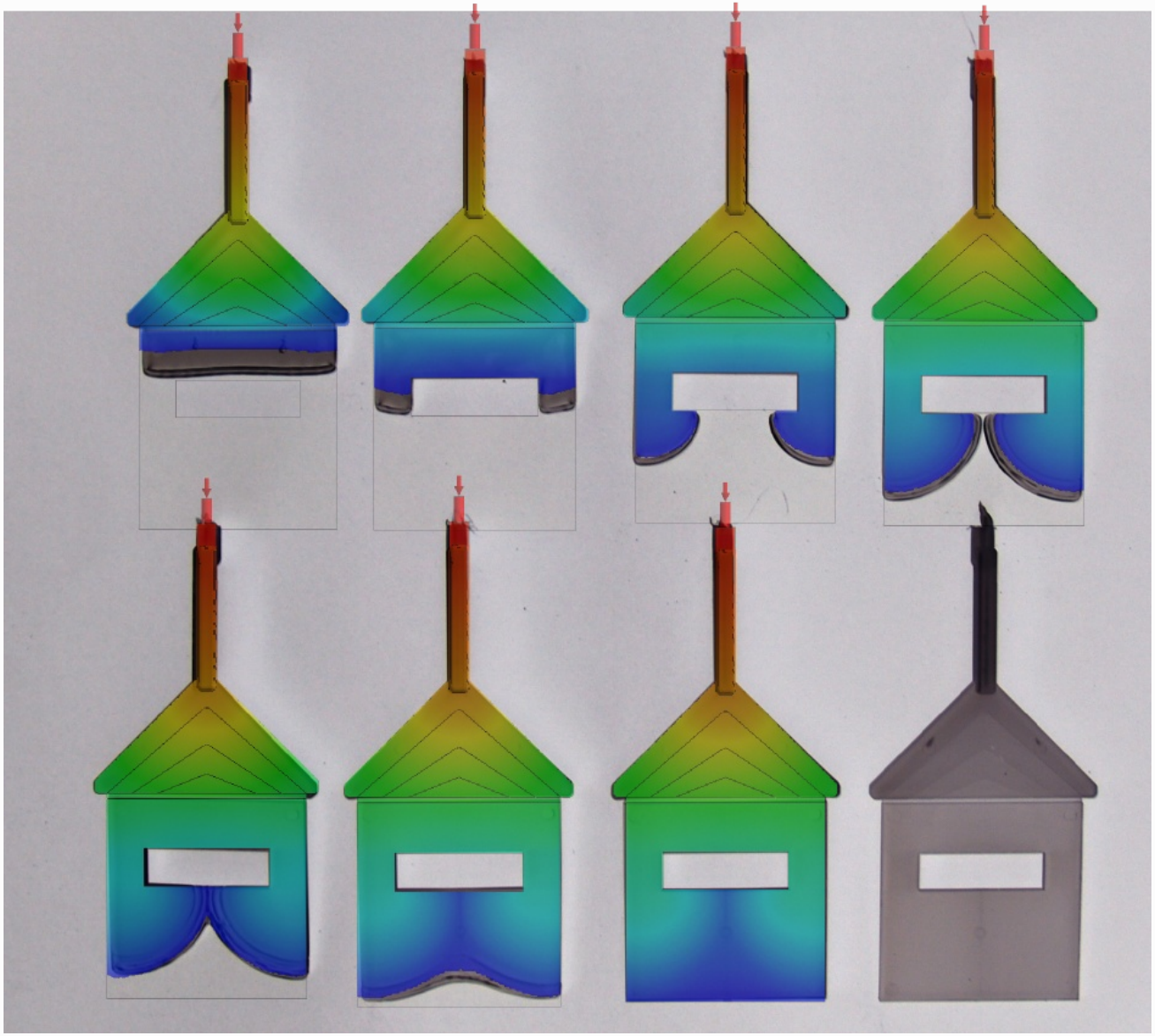
Zusammenfassung





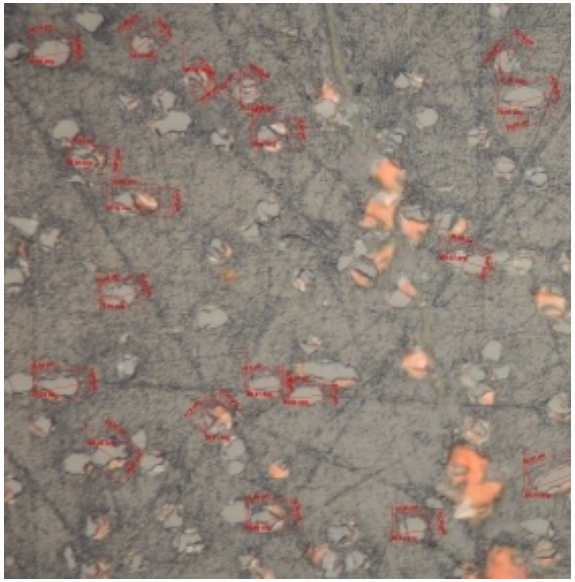
Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Validierung der Spritzgusssimulation

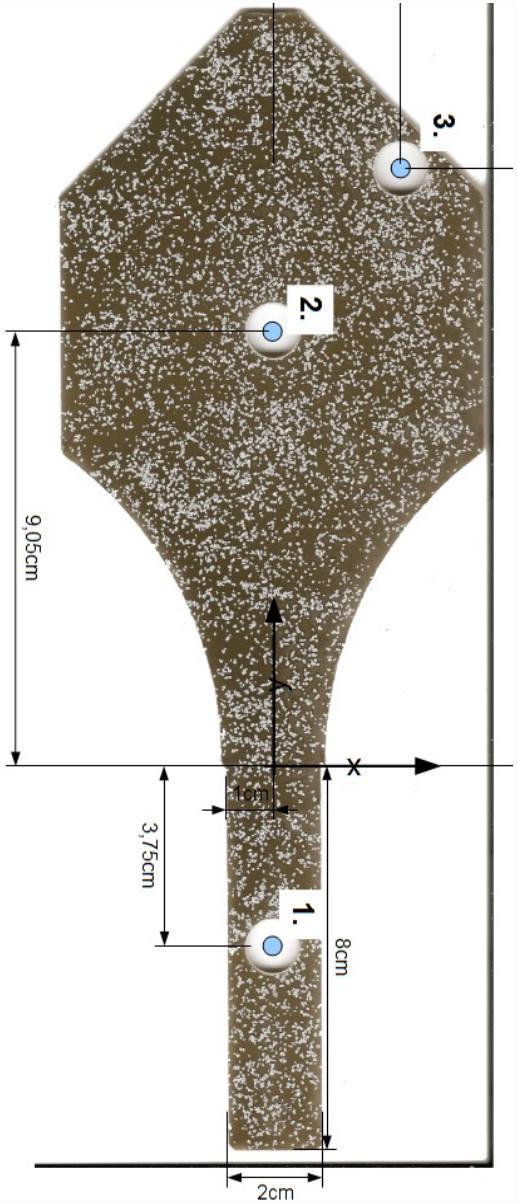


Klassische Validierung über

- Füllstudie
- Messpunkte (Temperatur, Druck, …) in SG-Form
- Schrumpf
- Faseranalyse über Schliffbilder



Faserdetektion mittel µCT-Analyse



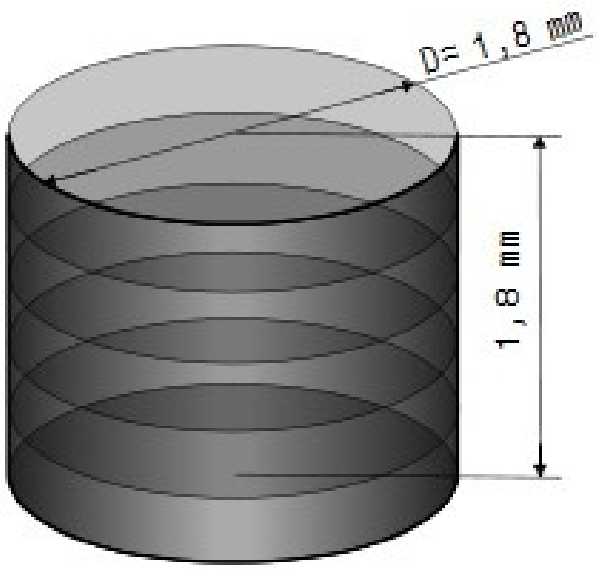
Vorgehen

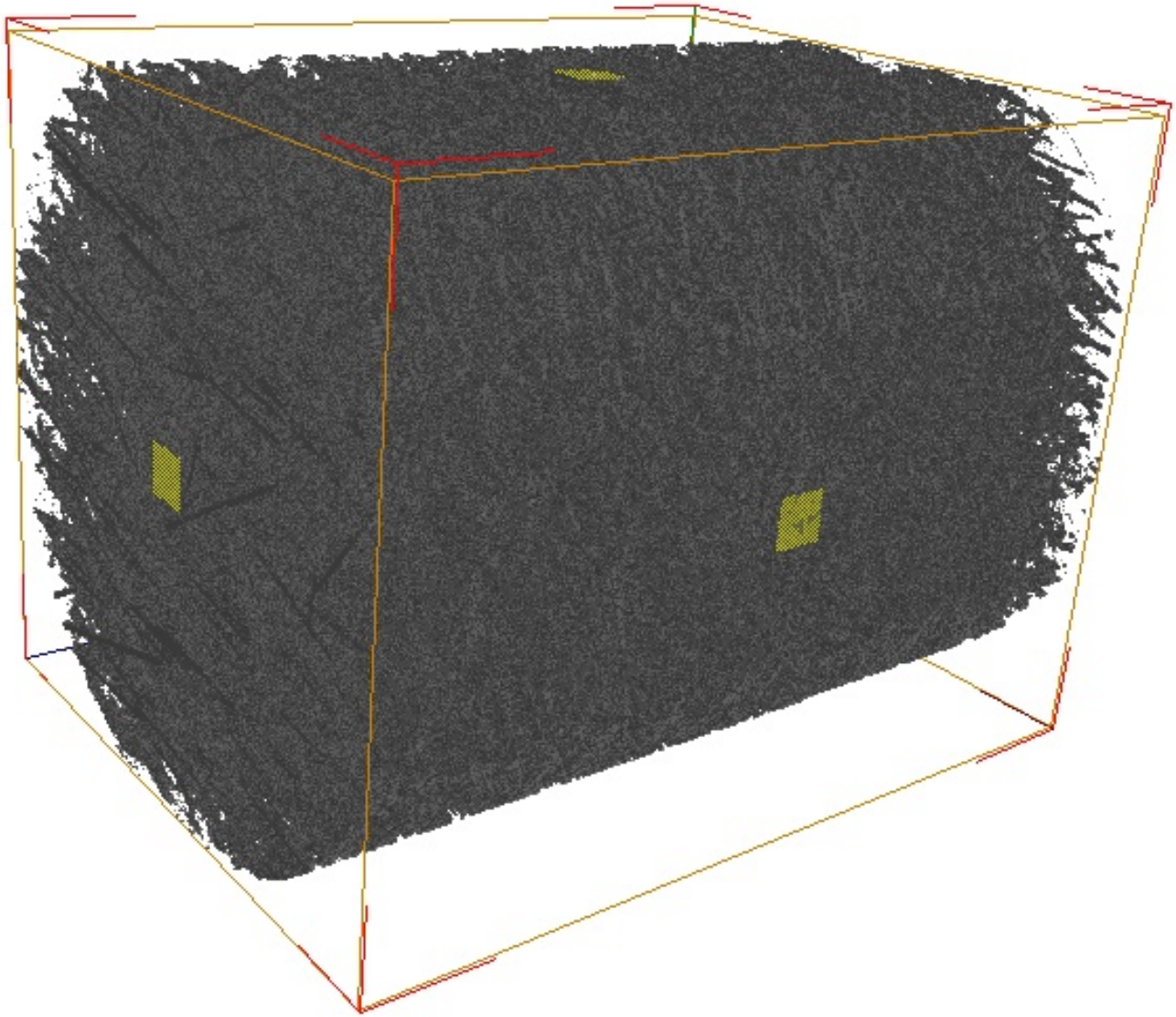
- Probekörper wird zur Erkennung der Präparationsrichtung mit Muster markiert.
- Proben werden an relevanten Positionen entnommen. Maximaler Probendurchmesser 2 mm.
- Probe wird in µCT gescannt und 3D-Bild berechnet.
- Fasererkennungsalgorithmus wird auf die 3D-Daten angewandt.

Technische Daten:

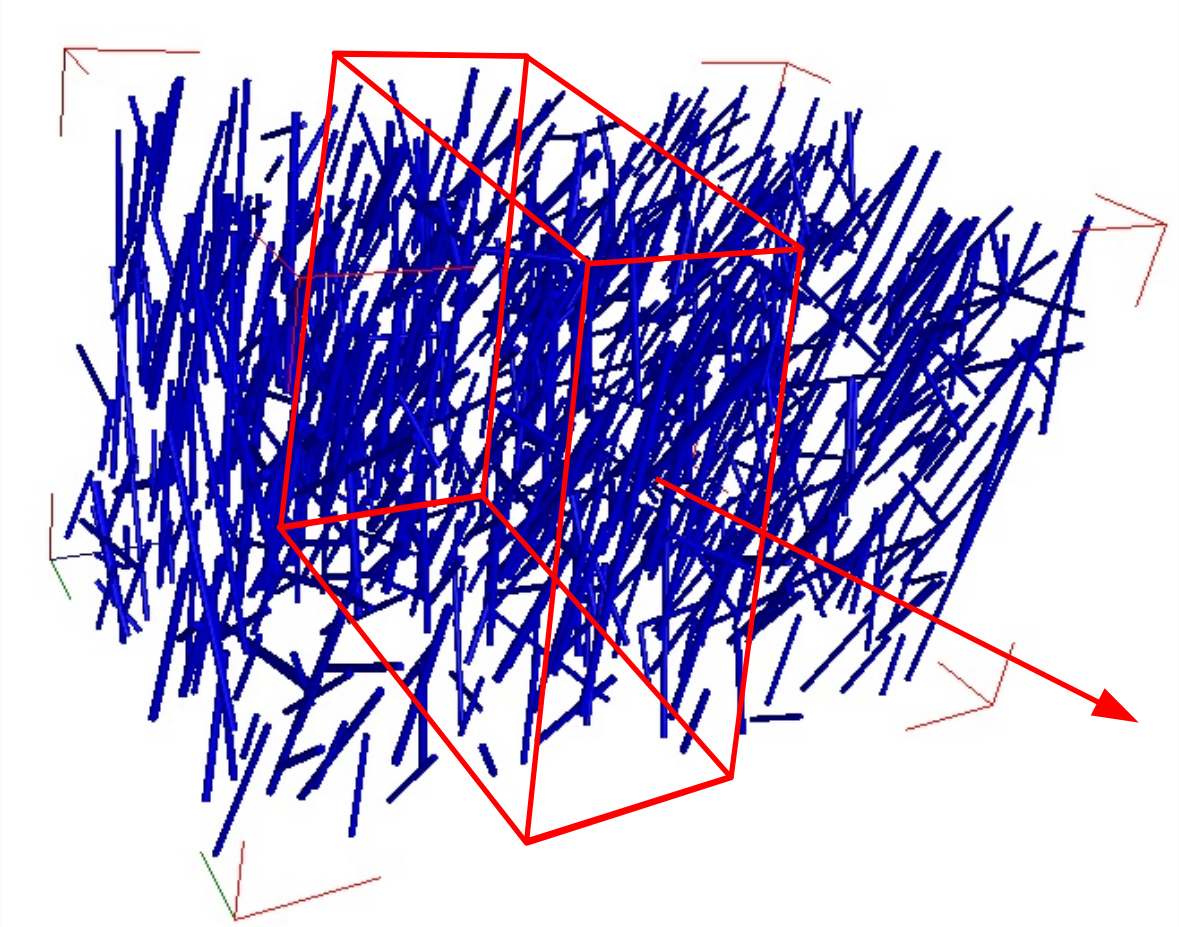
- Maximaler Fasergehalt (Stand 01/2012): 30%
- Maximale Auflösung: 1,6 µm
- Dauer (Präparation/Scan/Auswertung): 20 min / 60 min pro 1,6 mm Probenhöhe / bis zu 12 h

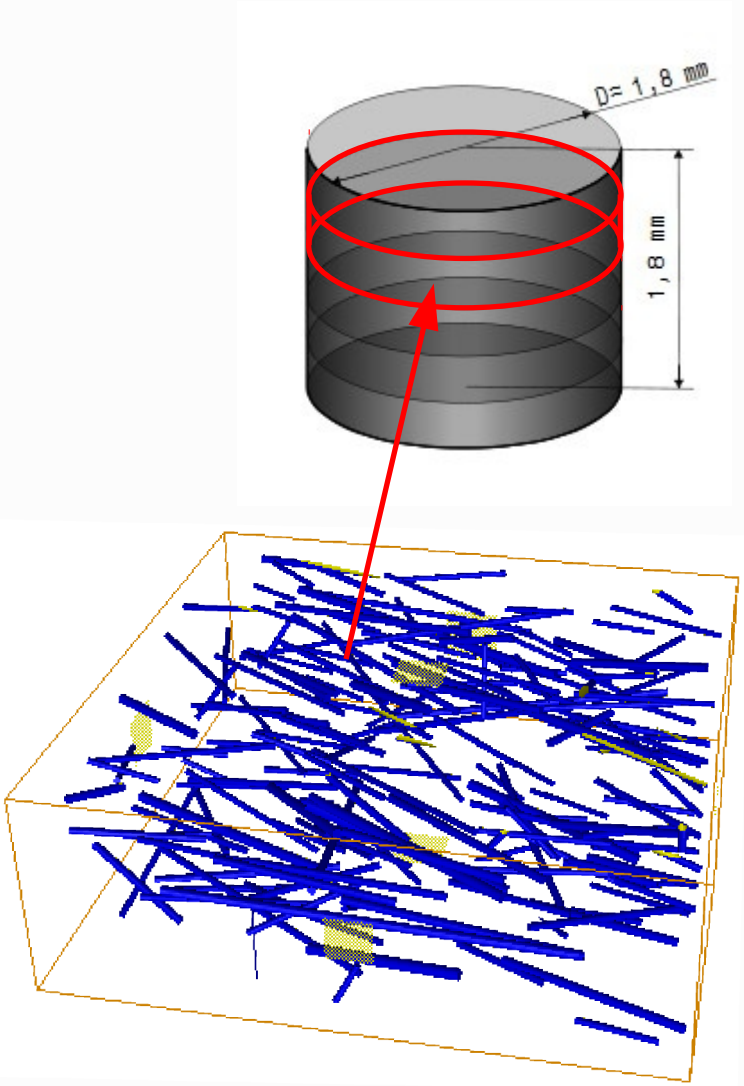
Auswertung der µCT-Analyse





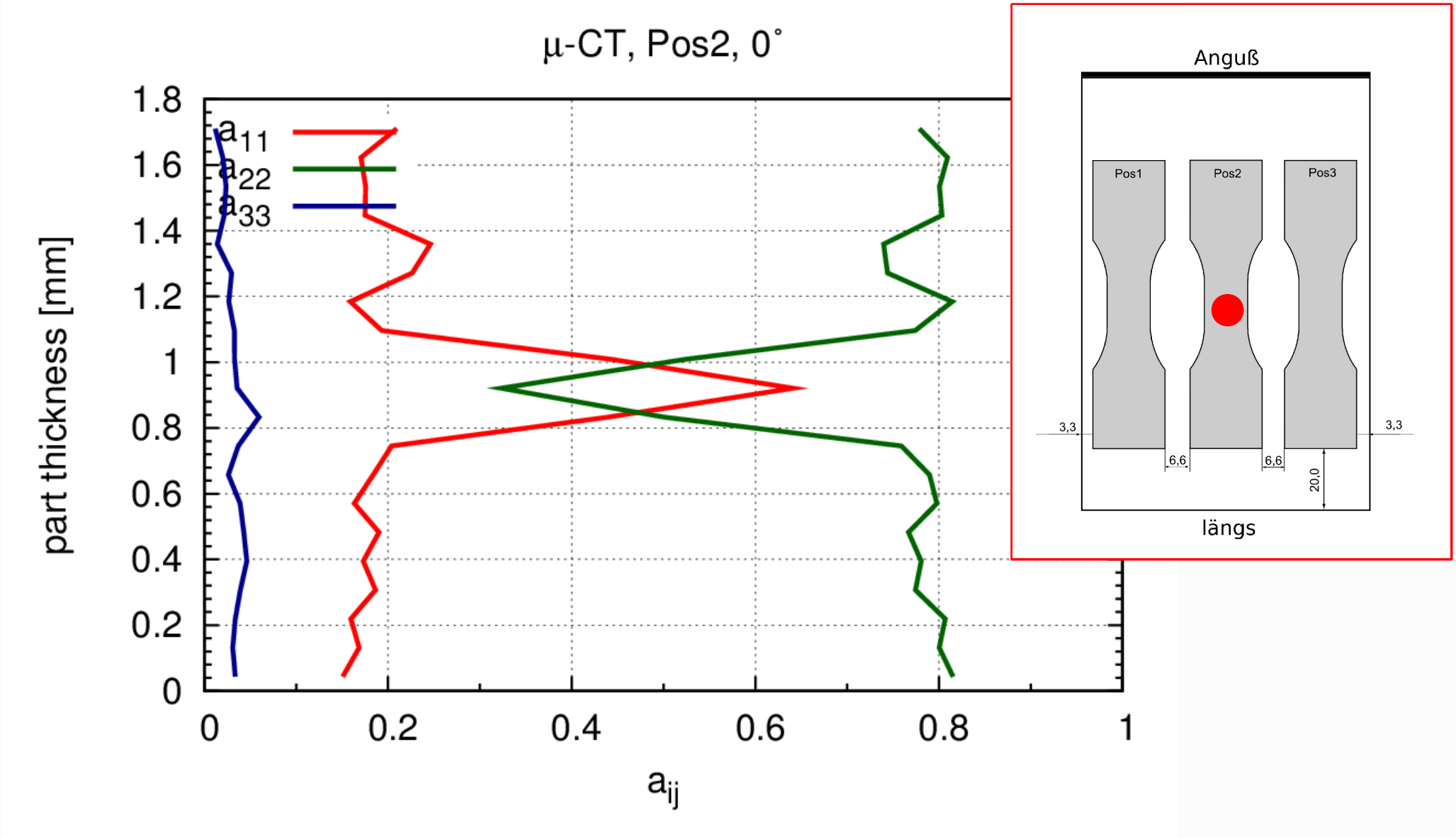
Bestimmung des Orientierungstensors

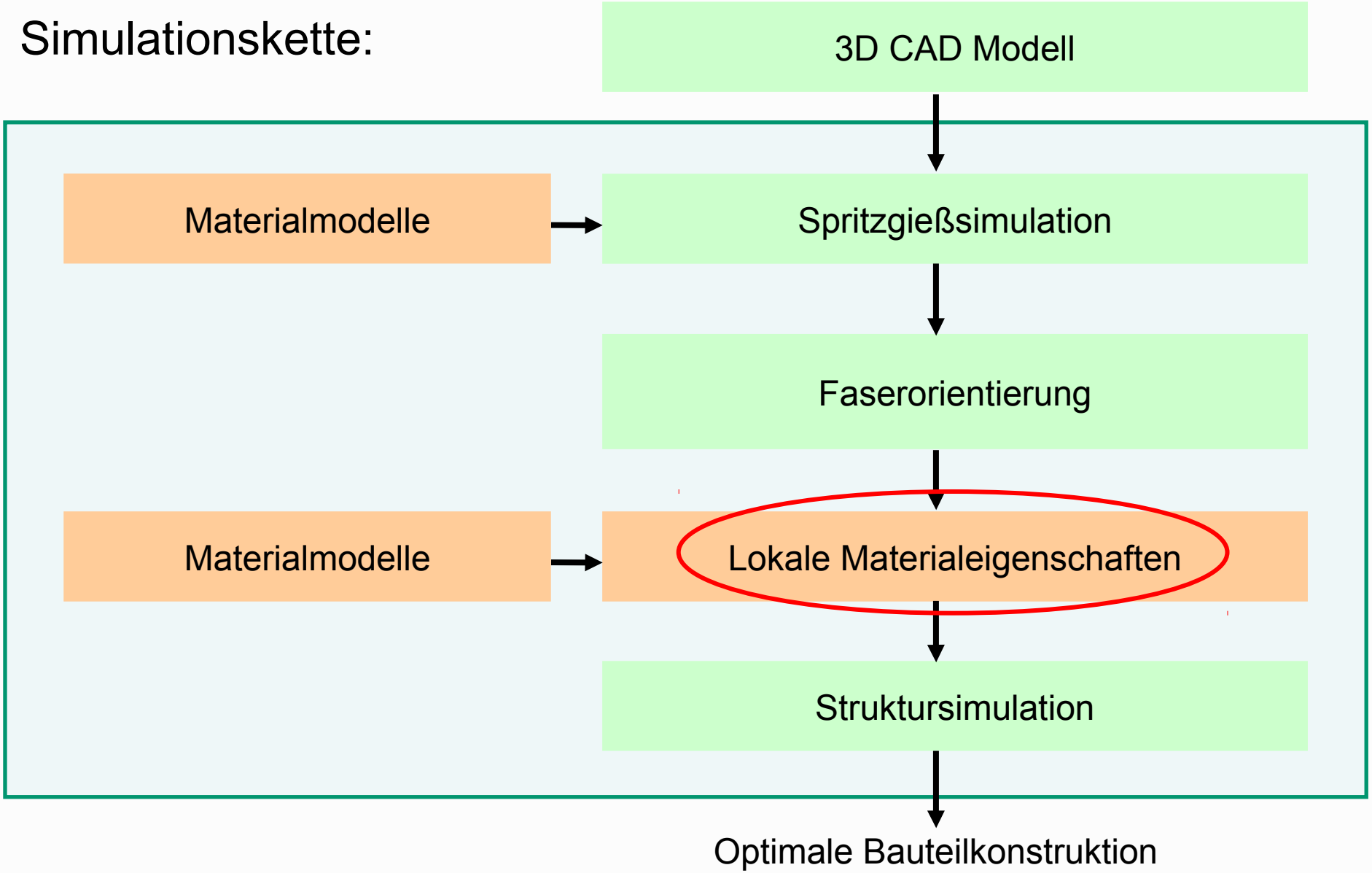




- Mathematische Beschreibung jeder einzelnen Faser.
- Bestimmung des vollständigen Orientierungstensors.
- Einfache Bestimmung von Faserlängenverteilung und Fasergehalt.

SG-Simulation vs. Realbauteil



Simulationskette

Simulationskette: