Deformationsverhalten von talkumgefülltem PP unter dynamischer Belastung

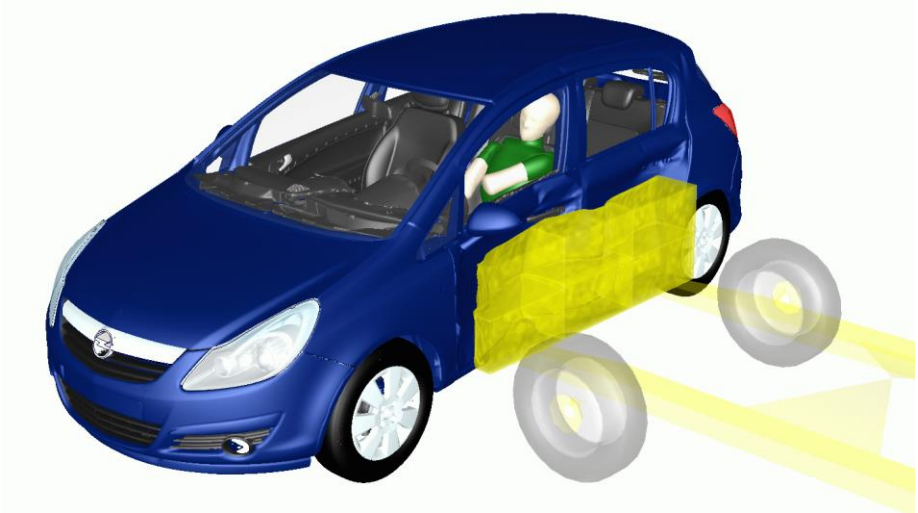
Frank Kunkel , Stefan Kolling, Holm Altenbach

Motivation

Besonderheiten Kunststoffe

Spritzgießen:
- Orientierung Molekülketten
- Orientierung Füllstoffe
- Ausbildung Bindenähte

Kunststoffe:
- Dehnratenverfestigung
- Dehnungsentfestigung
- Anisotropie
- Zug-Druck-Asymmetrie



Ziele

Beschreibung des Deformationsverhaltens von talkumgefüllten Thermoplasten

Erklärung / Veranschaulichung von „Auffälligkeiten“ des Deformationsverhaltens

Aufbereiten der Messdaten für die Struktursimulation

Gliederung

Einführung

Probenherstellung

Versuchsdurchführung

Ergebnisse der Untersuchung

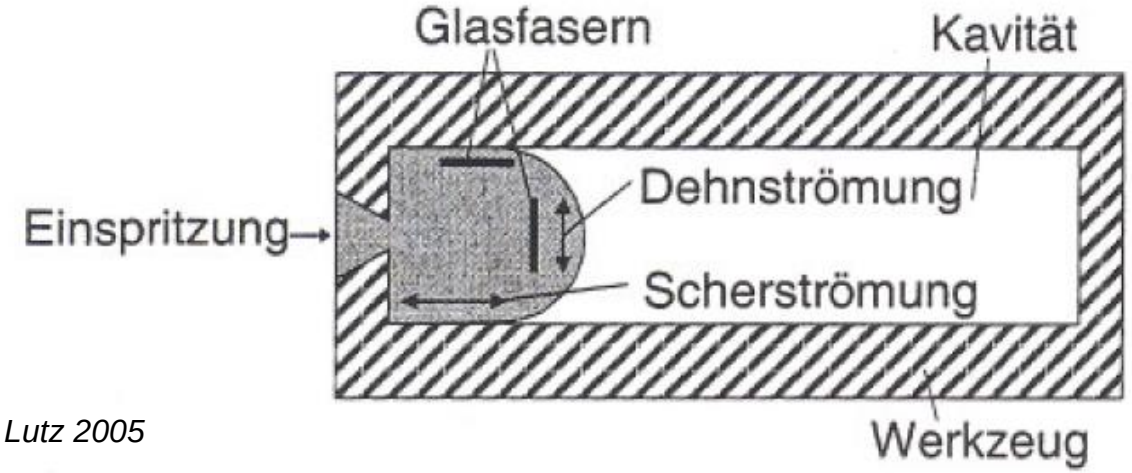
Auswertung: Ansatz- und Parameteridentifikation

Zusammenfassung

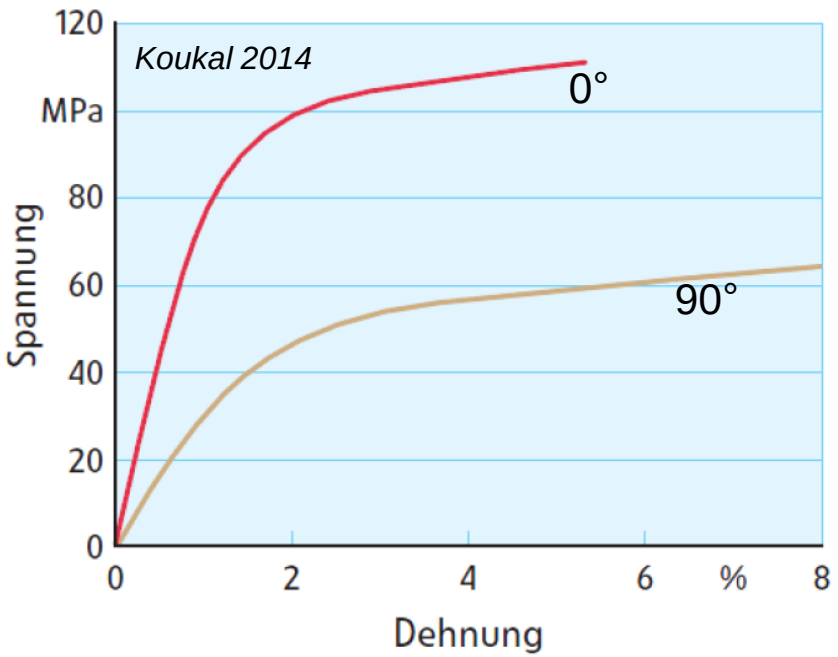
Einführung
Kunststoffschmelzen / Faserorientierung

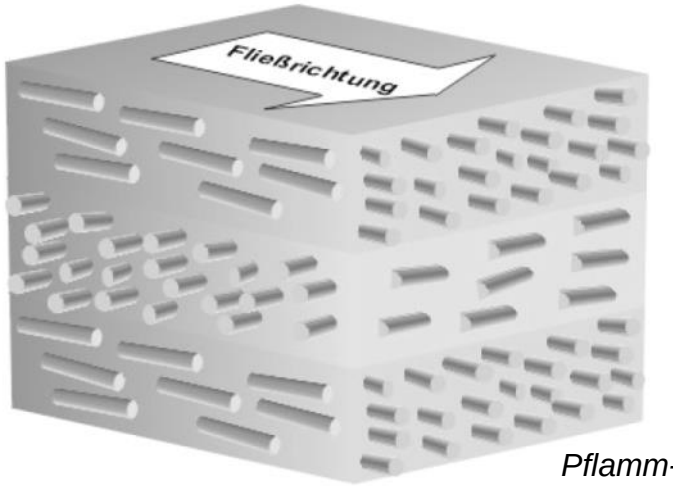
Typisches Strömungsbild bei der Verarbeitung von Kunststoffschmelzen: Quellfließen

Orientierung von Glasfasern
Anisotropes Materialverhalten



Lutz 2005



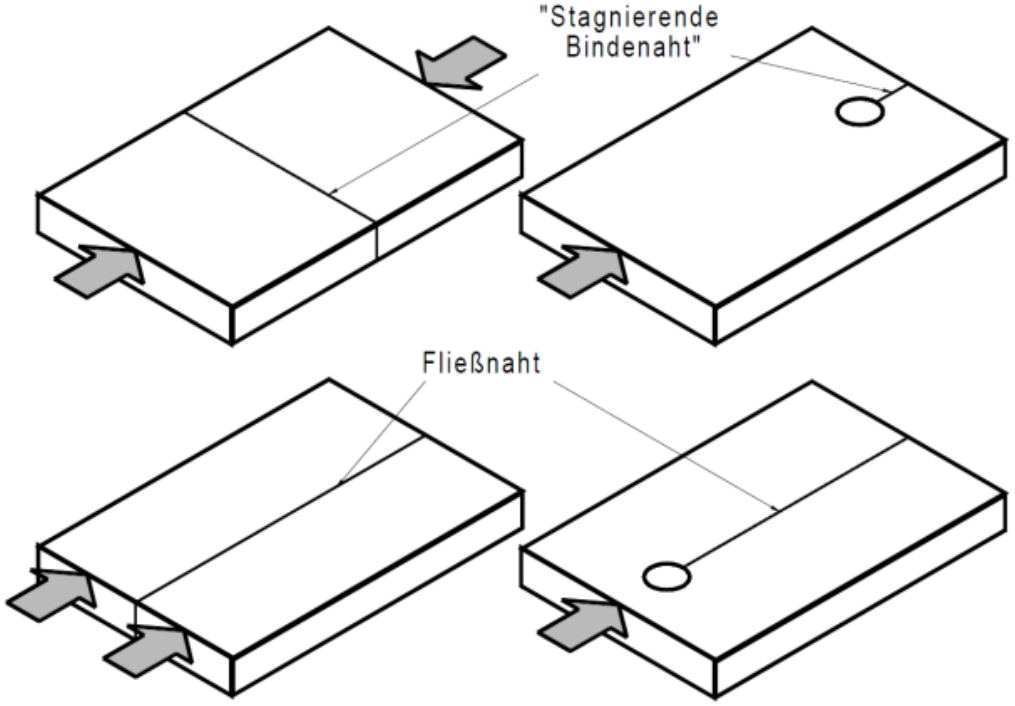


Pflamm-Jonas 2001

Einführung
Binde- und Fließnähte

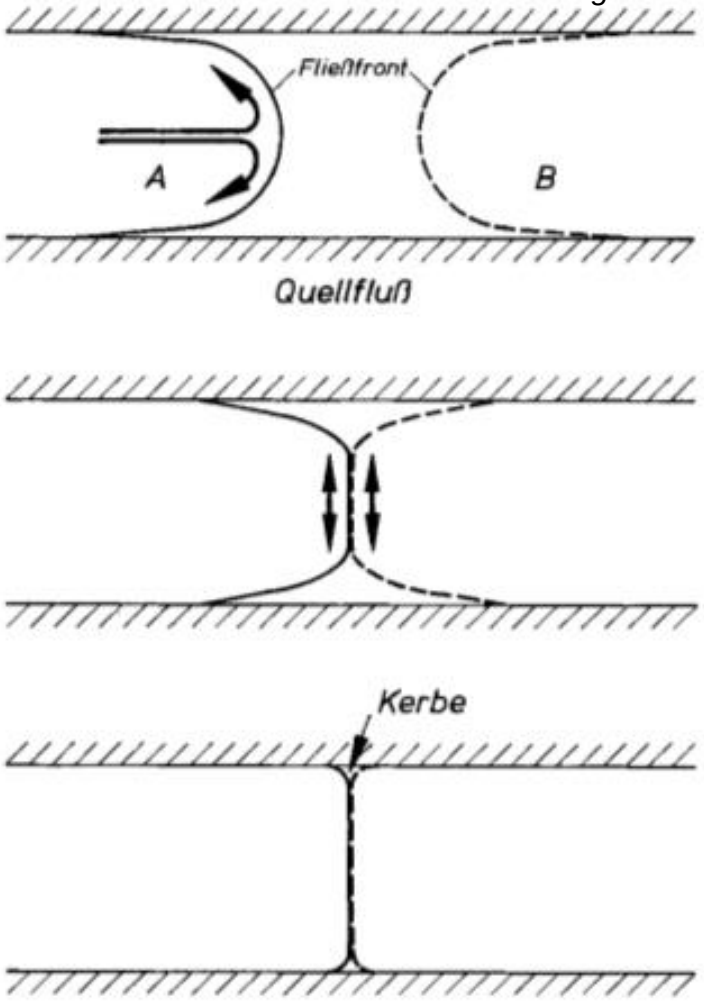
Ausbildung von Binde- und Fließnähten

Beeinflussung der mechanischen Eigenschaften des Bauteils
- Ausbildung einer Kerbe
- Niedrigere Temperaturen beim Zusammentreffen der Schmelzefronten



Nguyen-Chung 2001

Mennig 1988



Gliederung

Einführung

Probenherstellung

Versuchsdurchführung

Ergebnisse der Untersuchung

Auswertung: Ansatz- und Parameteridentifikation

Zusammenfassung

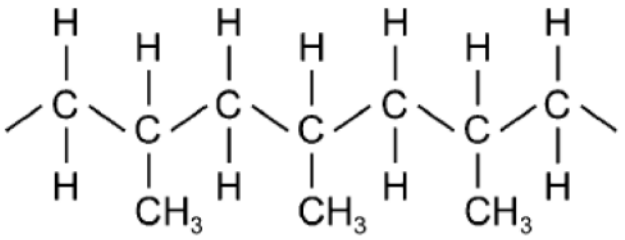
Probenherstellung
Materialien

PP: PP 576 (Sabic)
- Isotaktisches Homopolymer

PP-T20 Hostacom XBR169G (LyondellBasel)
- PP mit 20 Gew.-% Talkum und EPDM
- Einsatz im Innenraum in Automobilindustrie

Talkum $Mg_3[Si_4O_{10}(OH)_2]$ - Schichtsilikat
- Füllstoff (kein Verstärkungsstoff)
- Niedrigere Verarbeitungsschwindung
- Bessere Oberflächenqualität
- Höhere Wärmeformbeständigkeit
- Plättchenförmiger Füllstoff
  - ∅ ≈ 20 µm
  - h ≈ 1 µm

Domininghaus 2012

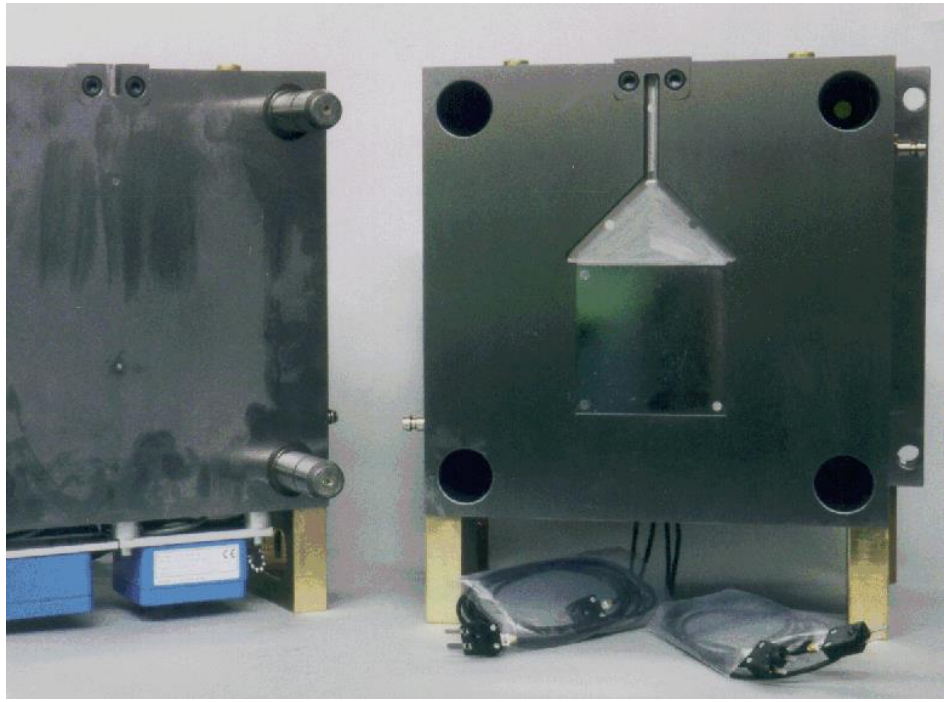


isotaktisches Polypropylen

Probenherstellung
Platten & Bindenahtproben

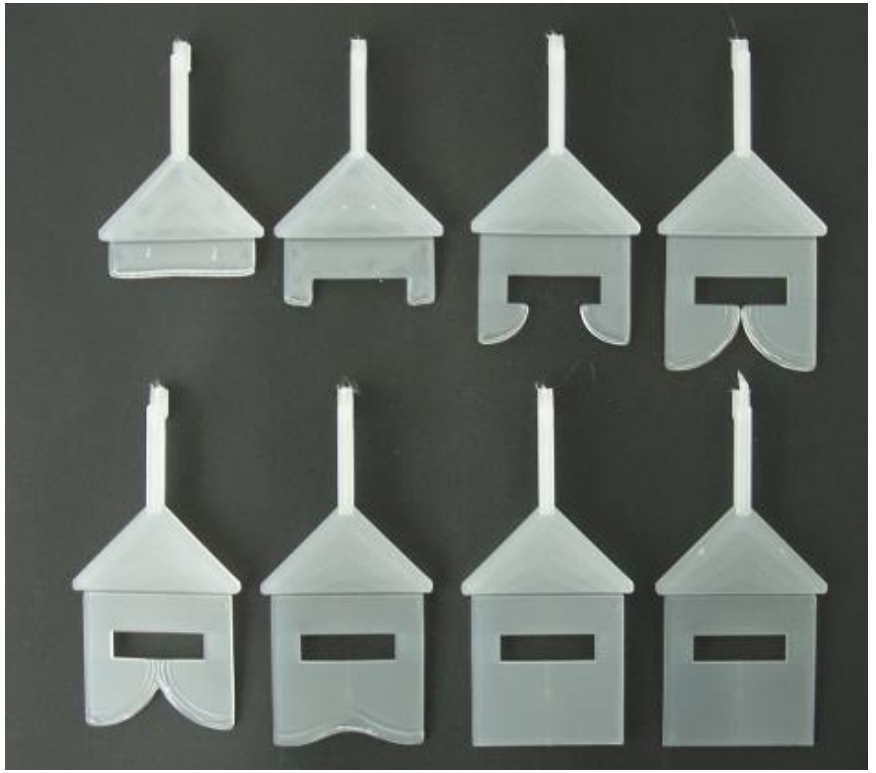
Spritzgießen von Platten 80 x 80 x 2,5 mm³

Verwendung eines abgestuften Dreieckverteilers
→ Gleichmäßiges Füllen



Verwendung eines Schmelzestromteilers

Breite: 2,5 mm bzw. 50 mm

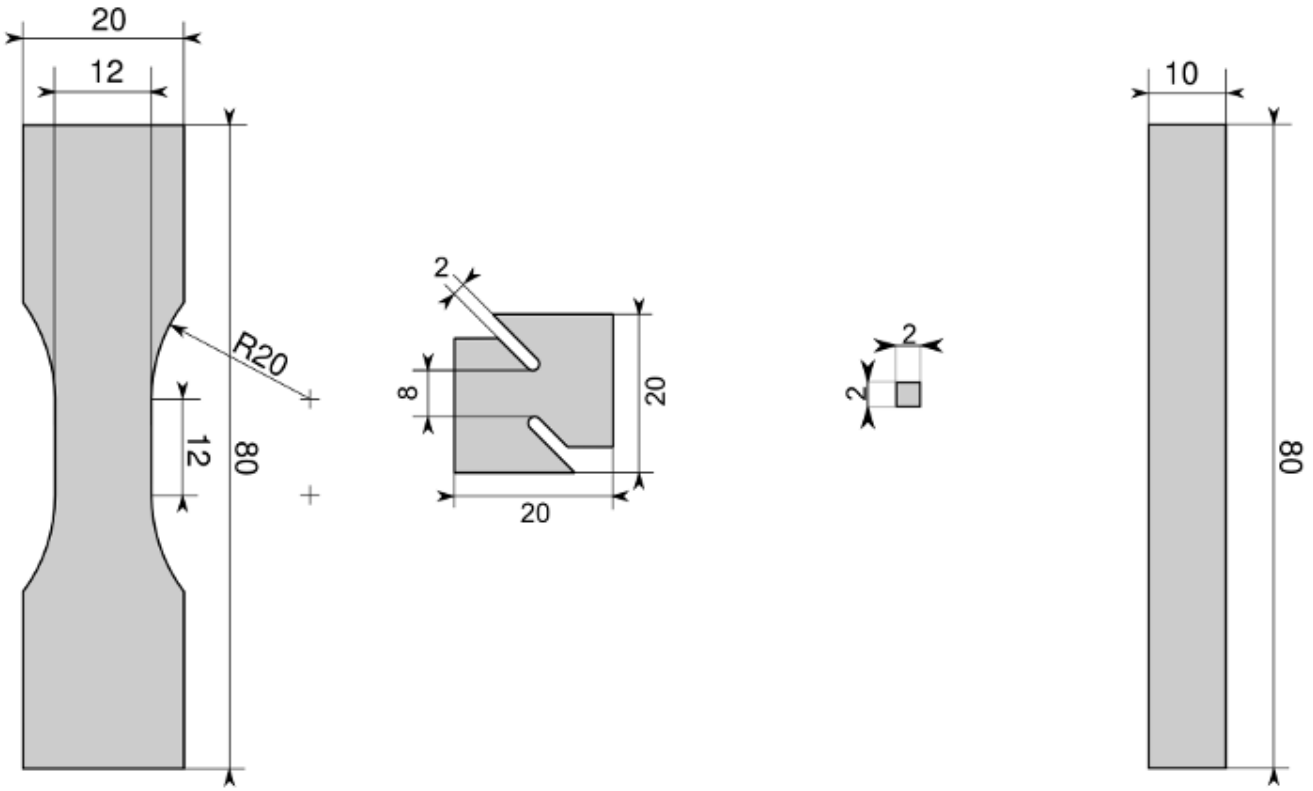


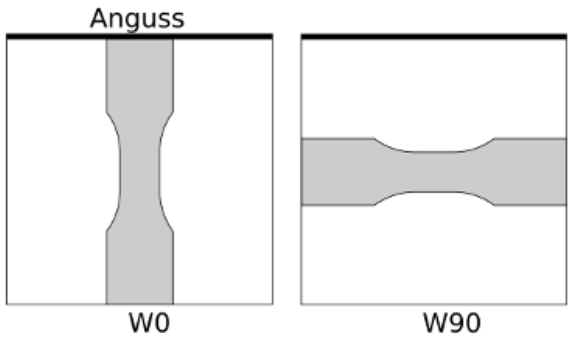
Probenherstellung
Verwendete Prüfkörper

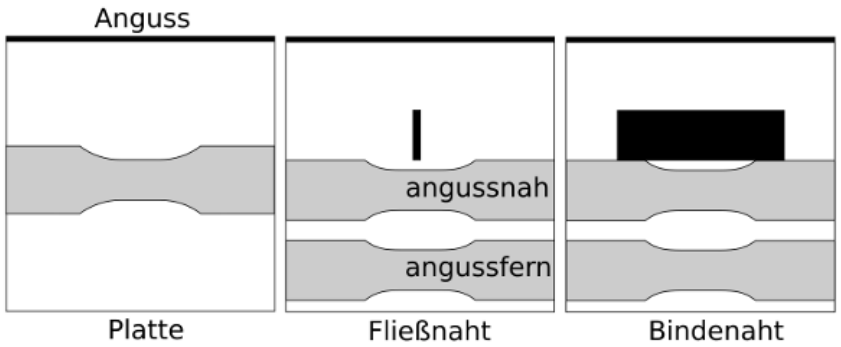
Herausfräsen der Prüfkörper

Verwendung angepasster Prüfkörper
- Zug: Becker-Zugstab
- Schub: Z-Probe
- Druck: Würfel
- Biegung: Streifen

Unterschiedliche Positionen und Entnahmerichtungen







Gliederung

Einführung

Probenherstellung

Versuchsdurchführung

Ergebnisse der Untersuchung

Auswertung: Ansatz- und Parameteridentifikation

Zusammenfassung

Versuchsdurchführung: Übersicht

Material	Versuch	Prüfgeschwindigkeit	Temperatur	Entnahmewinkel 0°	22,5°	45°	67,5°	90°
PP	Schwindung		170 °C	x				x
PP-T20			170 °C	x				x
PP	Zug	5 mm/min	23 °C	x				x
PP-T20	Zug	5 mm/min	23 °C[1]	x	x	x	x	x
			−35 °C	x				x
			80 °C	x				x
PP-T20	Zug	0,01 m/s	23 °C	x				x
		0,5 m/s		x				x
		3,0 m/s		x				x
		6,0 m/s		x				x
PP-T20	Biegung	0,0001 m/s	23 °C	x				x
		0,001 m/s		x				x
		1,0 m/s		x				x
		4,4 m/s		x				x
PP-T20	Schub Druck	1 mm/min	23 °C	x				x
		0,2 mm/min		x				x
PP-T20	Zug	5 mm/min	23 °C			Bindenaht: 90 °		

Versuchsdurchführung
Quasistatische und dynamische Zugversuche

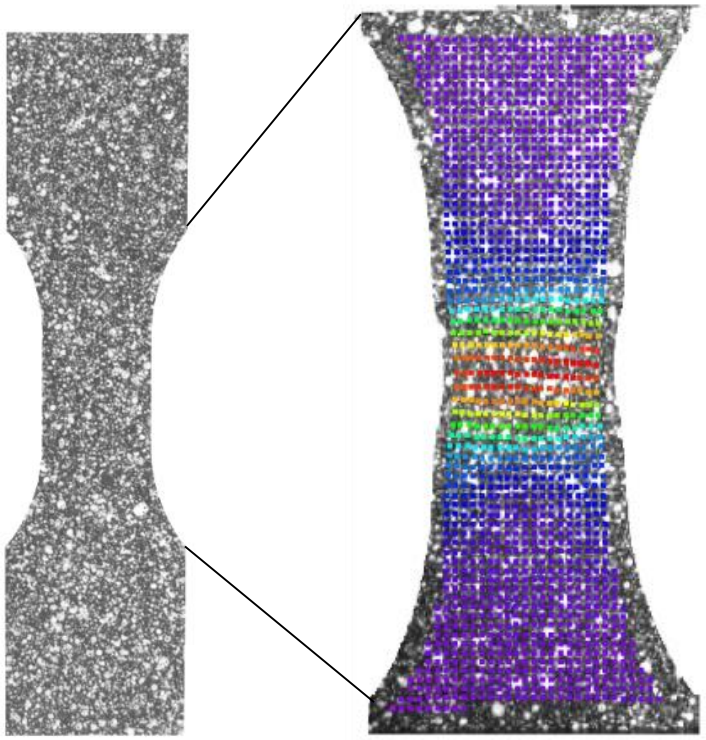
Quasistatische Zugversuche: 5 mm/min
Dynamische Zugversuche: 0,01 m/s; 0,5 m/s; 3 m/s; 6 m/s

Dehnungsmessung mittels Grauwertkorrelation

Mittelung der Dehnungsinformation 2 mm
ums Dehnungsmaximum

Filterung des Kraftsignals bei dynamischen Versuchen

Zusammenführung von Dehnung und Spannung



Versuchsdurchführung Biegeversuche

Quasistatische Biegeversuche:
0,0001 m/s; 0,001 m/s

Dynamische Biegeversuche mit *4a impetus*:
1 m/s; 4,4 m/s

Messung Kraft – Zeit

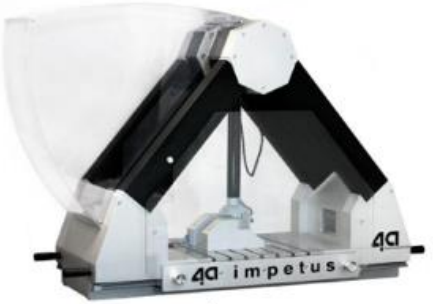
Materialparameteridentifikation mittels Optimierungssoftware (*Reverse Engineering*)

Materialmodell
z.B. G'Sell-Jonas

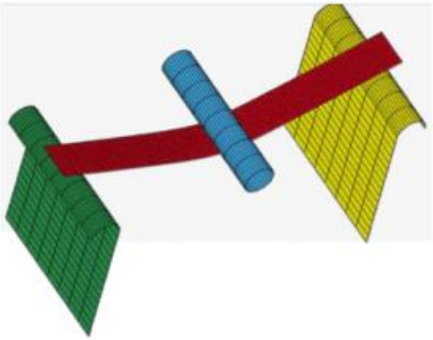
$$\sigma(\varepsilon,\dot{\varepsilon}) = \underbrace{K\cdot\left[1-\exp\left(-\frac{\varepsilon}{\varepsilon_v}\right)\right]}_{f(\varepsilon_{el})}\cdot\underbrace{\exp\left(h\,\varepsilon^2\right)}_{f(\varepsilon_{pl})}\cdot\underbrace{\left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0}\right)^m}_{f(\dot{\varepsilon})}$$

$$\sigma(\varepsilon_n,\dot{\varepsilon}) = \sigma_0(\varepsilon_n)\cdot\left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0}\right)^m$$

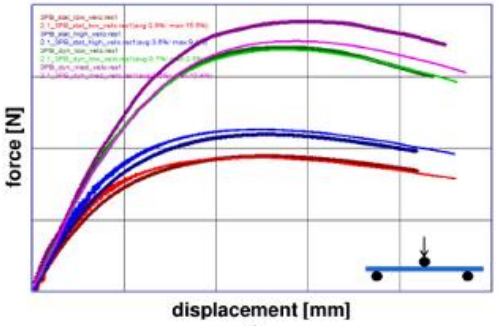
Durchführung statische und dynamische Biegeversuche



FE-Modell der Versuche



Parameteroptimierung, bis Simulation die realen Versuche abbildet



Materialkarte

Gliederung

Einführung

Probenherstellung

Versuchsdurchführung

Ergebnisse der Untersuchung

Auswertung: Ansatz- und Parameteridentifikation

Zusammenfassung

Ergebnisse der Untersuchungen
Quasistatische Zugversuche von PP

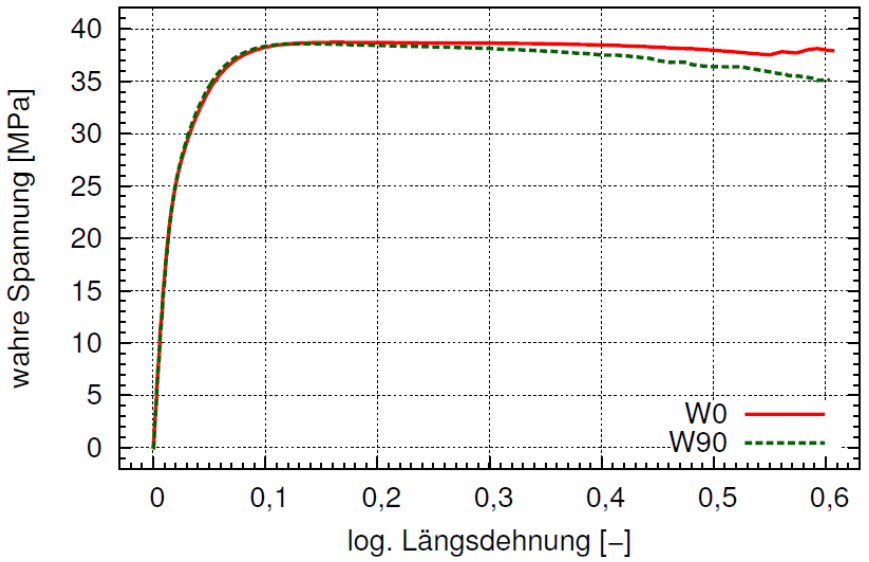
Zugversuche bei verschiedenen Entnahmerichtungen

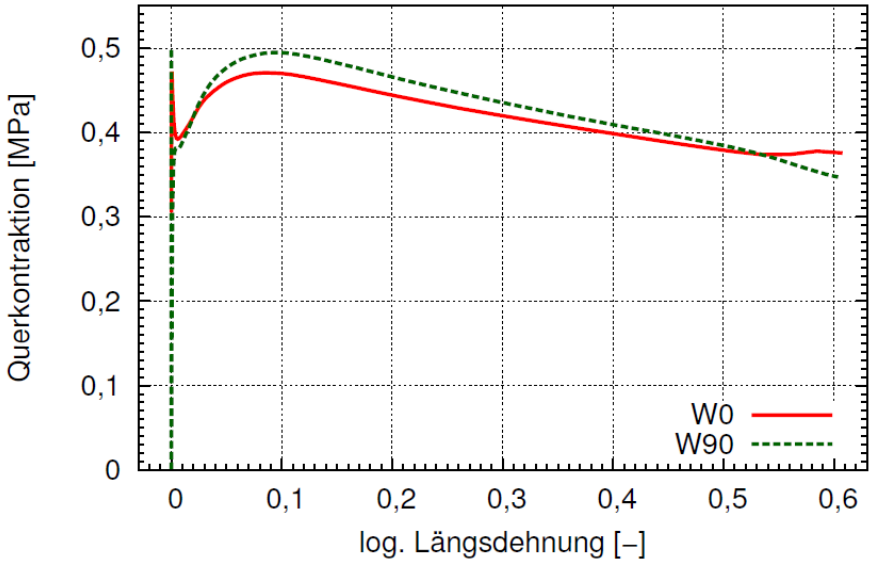
Messungenauigkeit im Bereich der Liniendicke
Ende der Auswertung bei $\varepsilon = 0{,}6$ (kein Bruch)

Keine Richtungsabhängigkeit trotz Orientierung der Molekülketten

- Transversal-isotroper elastischer Bereich
- Transversal-isotroper plastischer Bereich
- Transversal-isotropes Querdehnverhalten

Kein Einfluss der Molekülorientierung auf das Deformationsverhalten





Ergebnisse der Untersuchungen
Quasistatische Zugversuche von PP-T20

Zugversuche bei verschiedenen Entnahmerichtungen

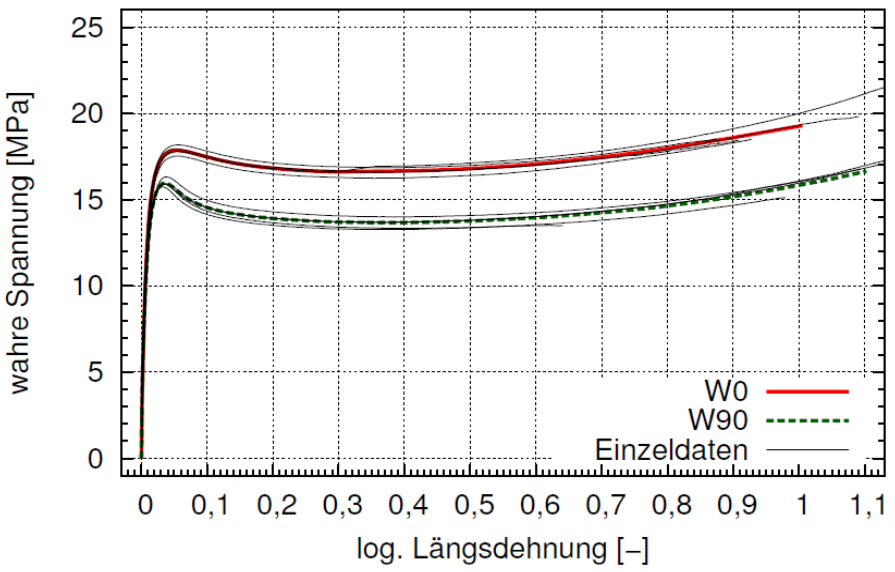
Messungenauigkeit im Bereich der Liniendicke

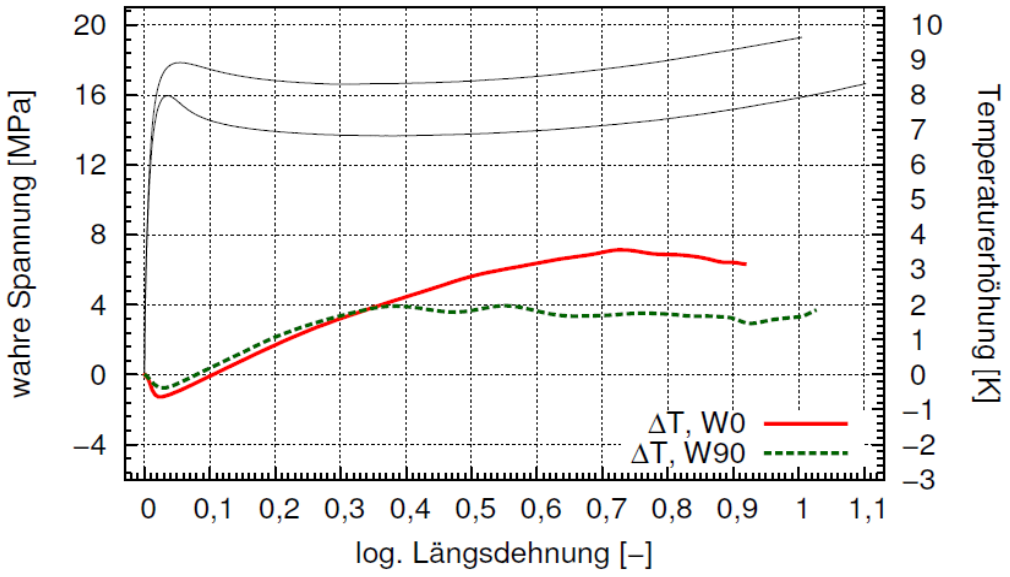
Richtungsabhängigkeit:
- Transversal-isotroper elastischer Bereich
- Anisotroper plastischer Bereich $\Delta\sigma \approx$ 20%

Ausgeprägte Dehnungsentfestigung

Messung der Temperaturerhöhung mit IR-Kamera

Dehnungsentfestigung im plastischen Bereich
- Temperaturerhöhung $\Delta T < 4K$
- Crazing bzw. Schädigung





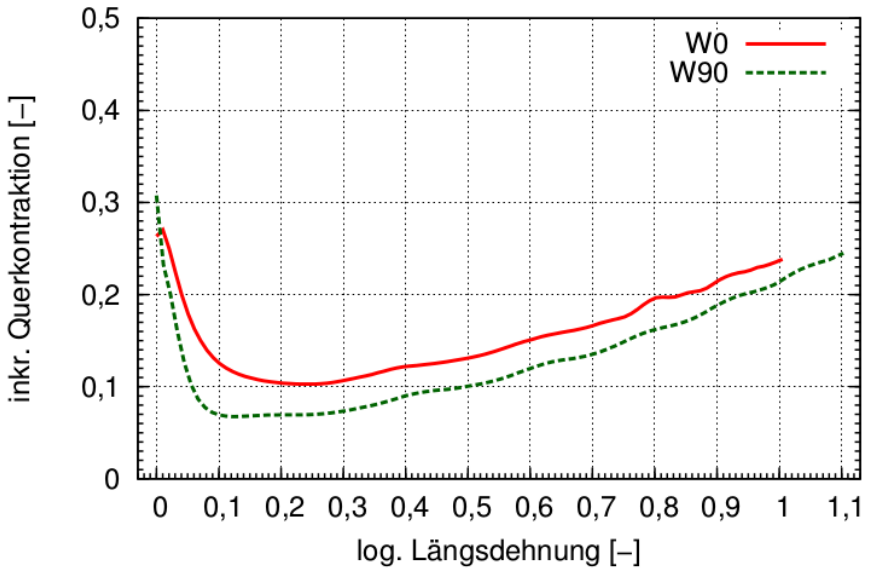
Ergebnisse der Untersuchungen
Quasistatische Zugversuche von PP-T20

Zugversuche bei verschiedenen Entnahmerichtungen

Richtungsabhängiges Querdehnverhalten

Sehr geringe Querkontraktion
- Crazing
- Ablösung der Matrix vom Füllstoff

Hohe anisotrope Volumenzunahme



Ergebnisse der Untersuchungen
Quasistatische Zugversuche von PP-T20: Zusammenfassung

Transversal-isotroper elastischer Bereich

Anisotroper plastischer Bereich

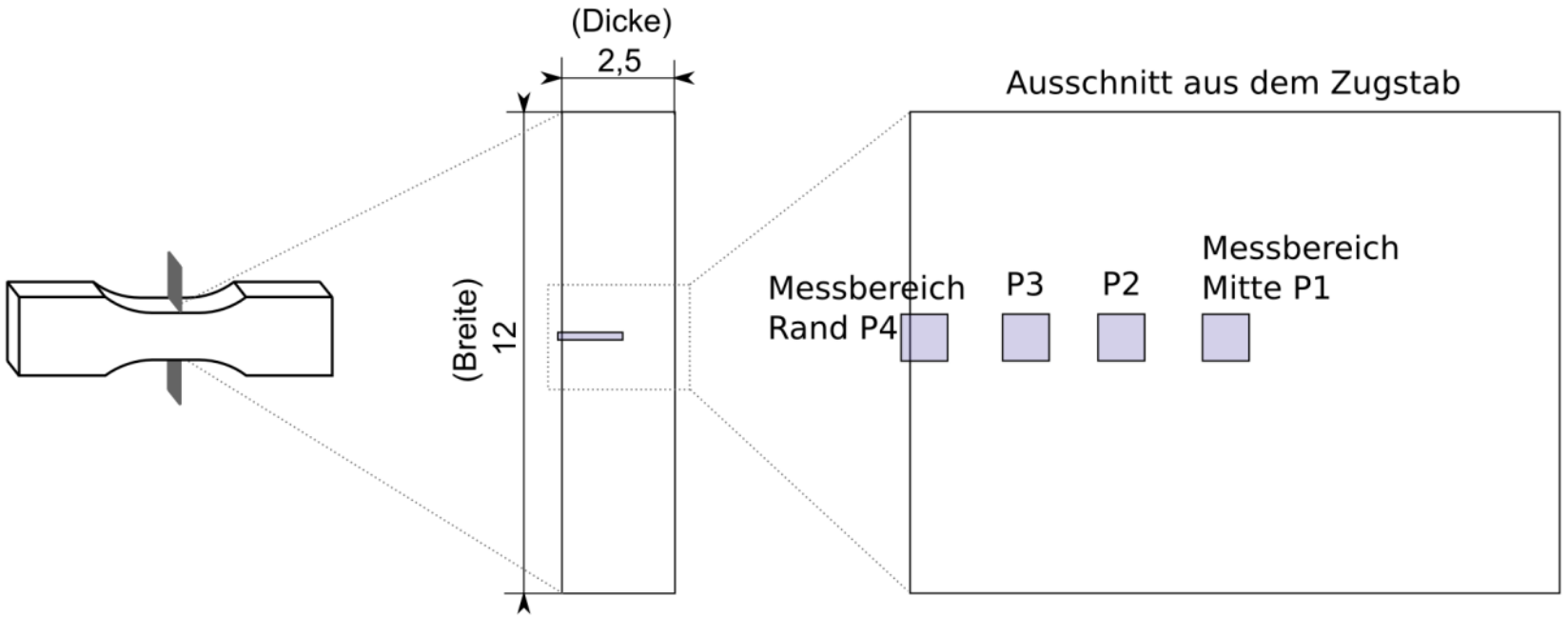
Anisotropes Querdehnverhalten

Hohe Volumenzunahme

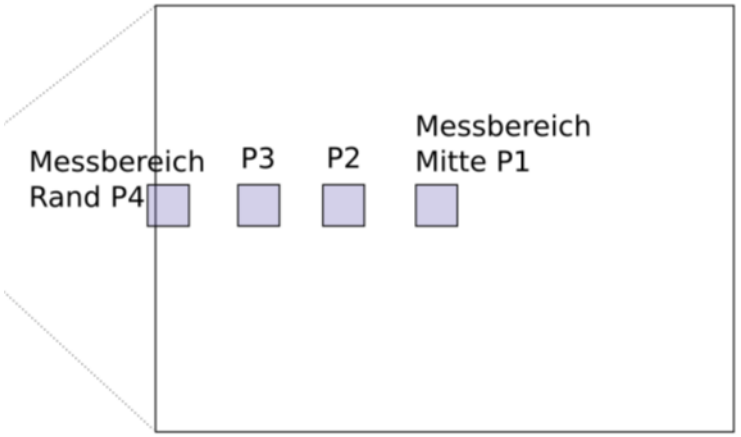
Temperaturerhöhung im plastischen Bereich

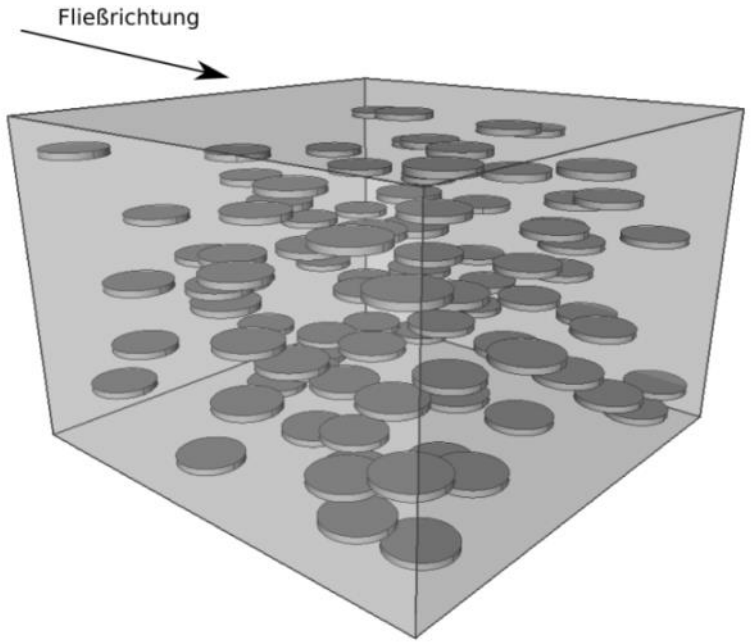
?

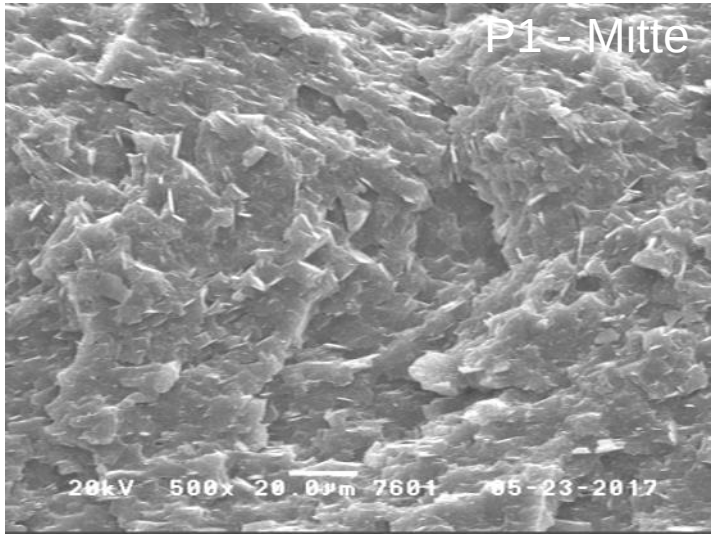
Ergebnisse der Untersuchungen
REM: Orientierung des Talkums

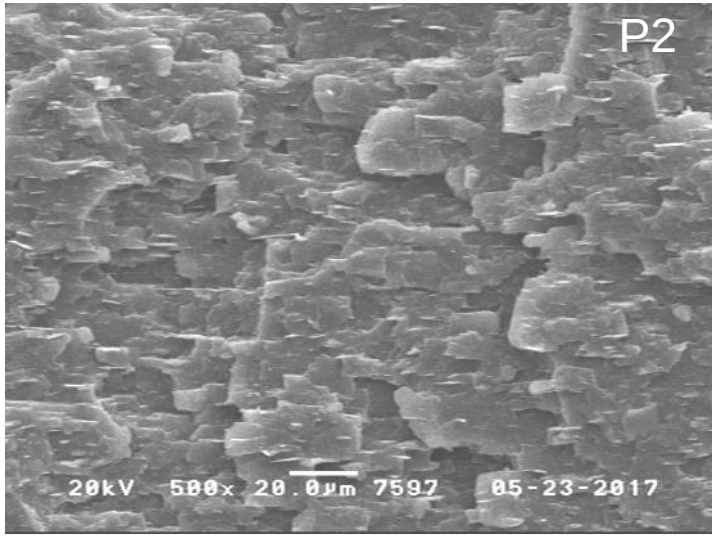


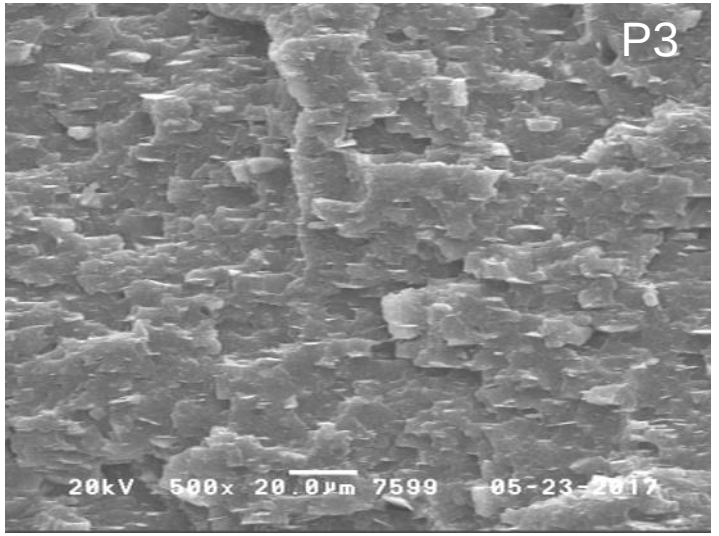
Ergebnisse der Untersuchungen
REM: Orientierung des Talkums

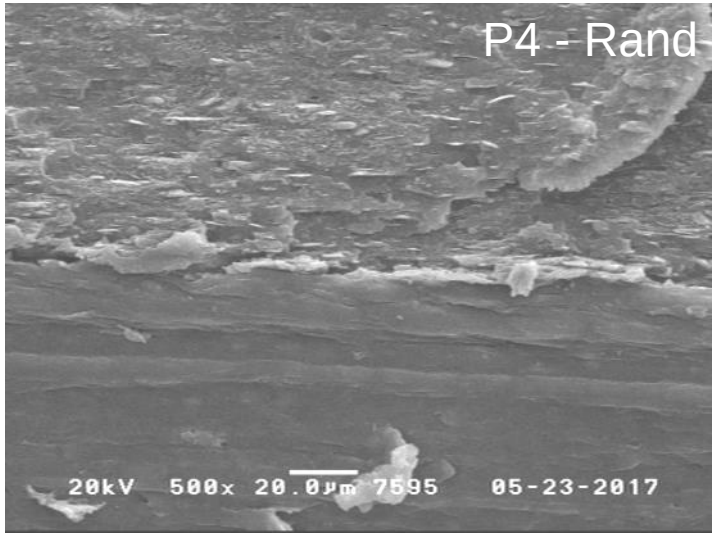




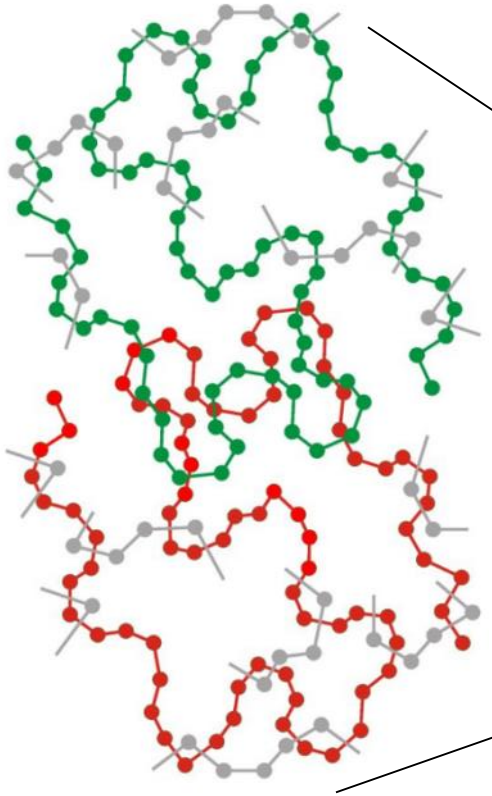


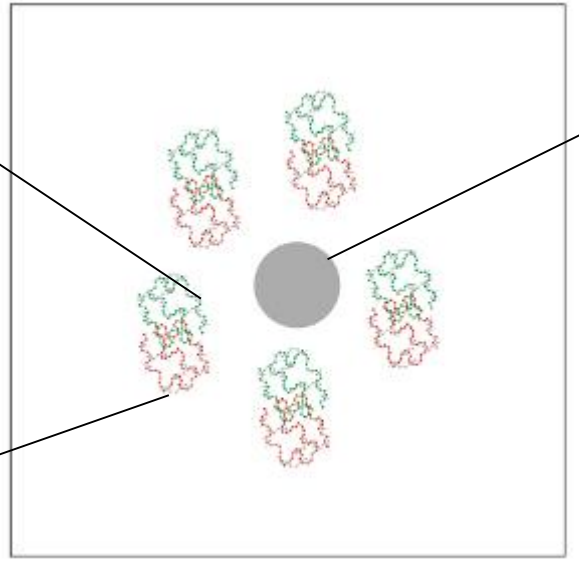






Ergebnisse der Untersuchungen
Das Füllstoff-Ketten-Modell





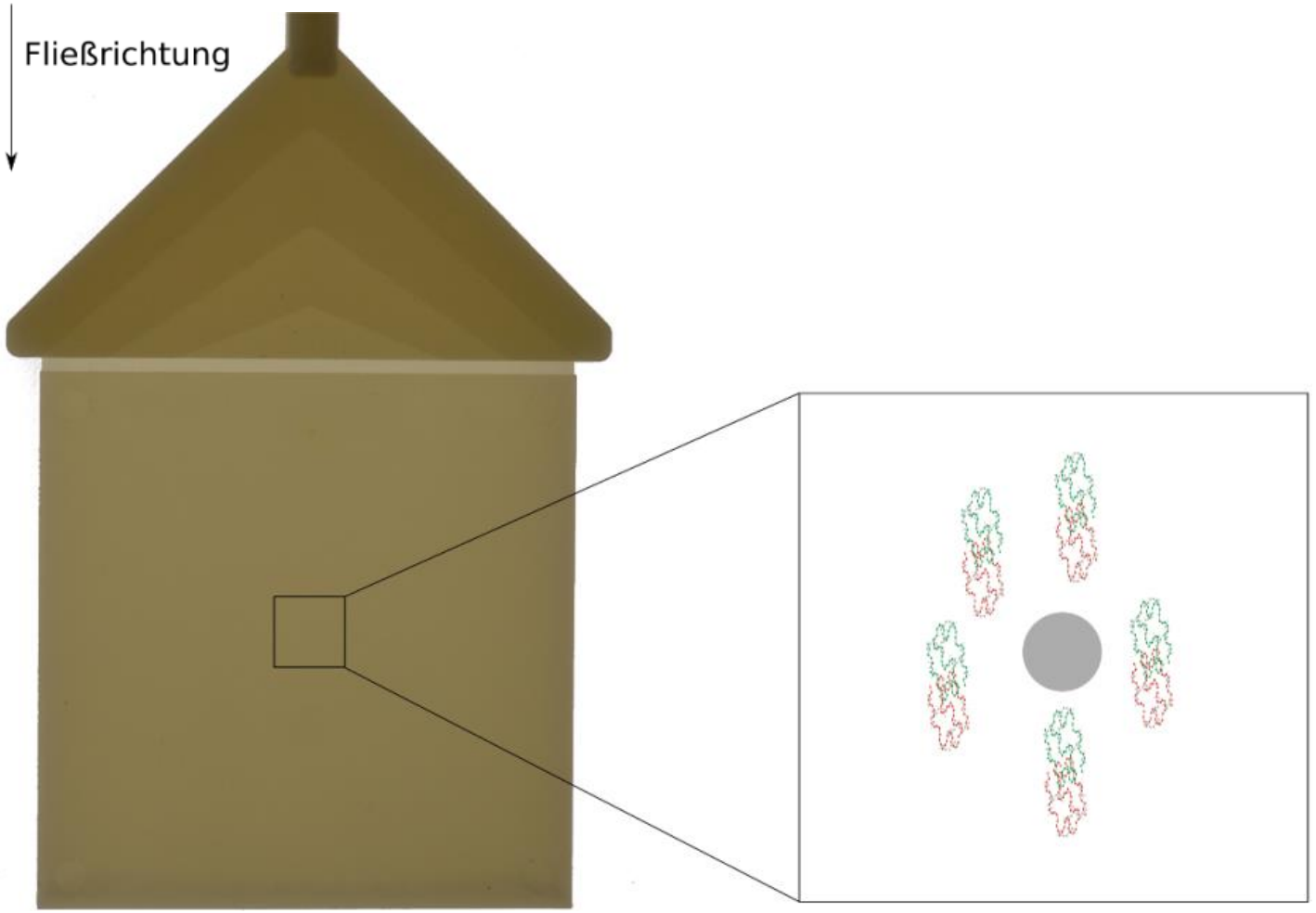
Schlaufennetzwerk aus PP-Makromolekülen

Unorientiertes Molekülnetzwerk bei isothermer Kristallisation

Ergebnisse der Untersuchungen
Das Füllstoff-Ketten-Modell

Verstrecktes Molekülnetzwerk durch Spritzgießen

Orientierung / Verstreckung der Makromoleküle in Fließrichtung

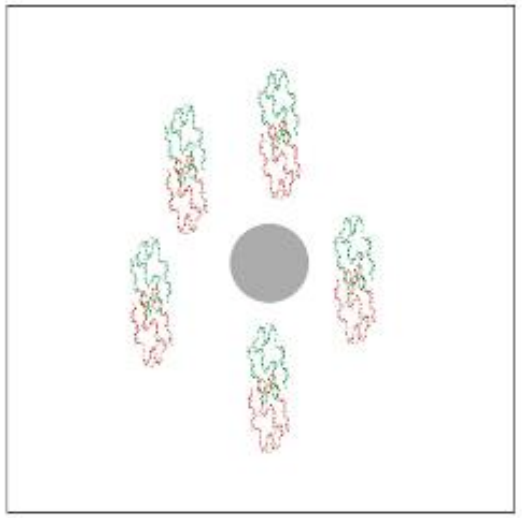


Ergebnisse der Untersuchungen
Das Füllstoff-Ketten-Modell

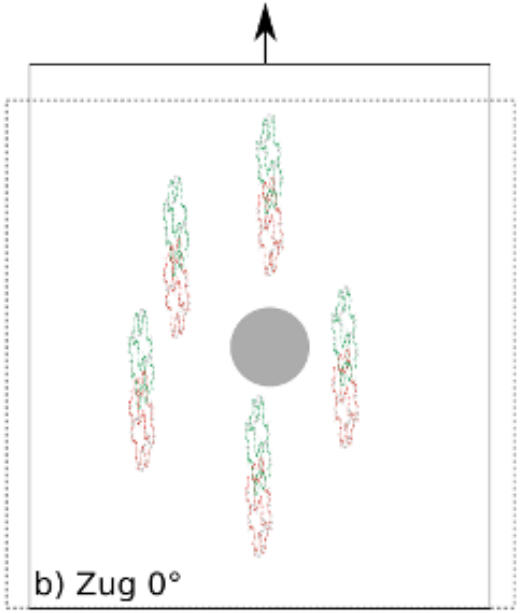
Belastung in Fließrichtung:
- Abgleiten der Schlaufennetzwerke
- Deformation der gesamten Molekülsegmente
- Mikrorissbildung bzw. Crazing

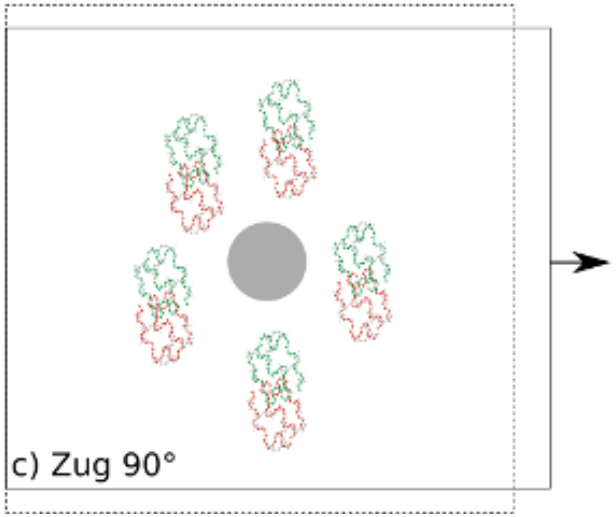
Belastung quer zur Fließrichtung:
- Partielles Entdehnen der Molekülsegmente
- Verstärkung des Effekts durch Talkum
- „Weichere“ Materialantwort

Anisotroper plastischer Bereich durch
- **Orientierung der Molekülketten**
- **gleichzeitiger Beeinflussung der Deformation durch Talkum**



a) Unbelasteter Ausschnitt der Platte





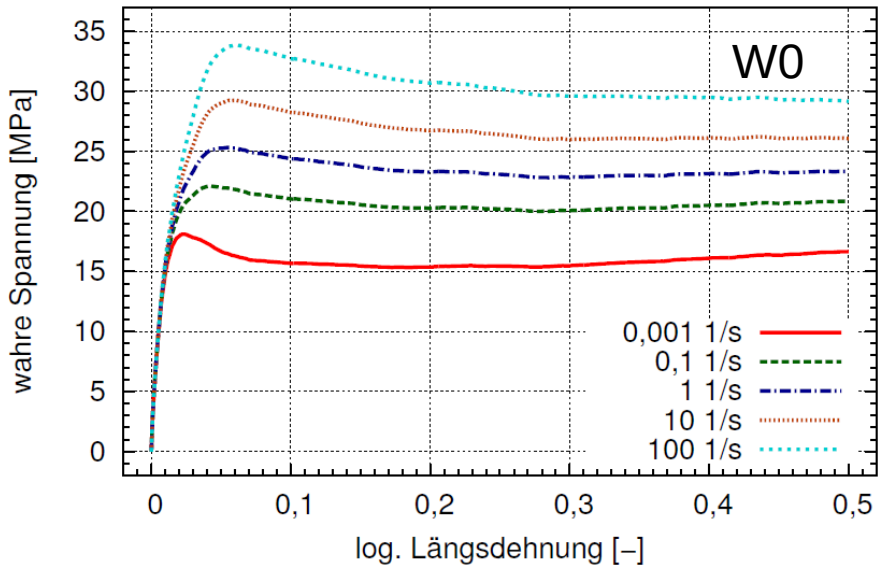
Ergebnisse der Untersuchungen
Dynamische Zugversuche von PP-T20

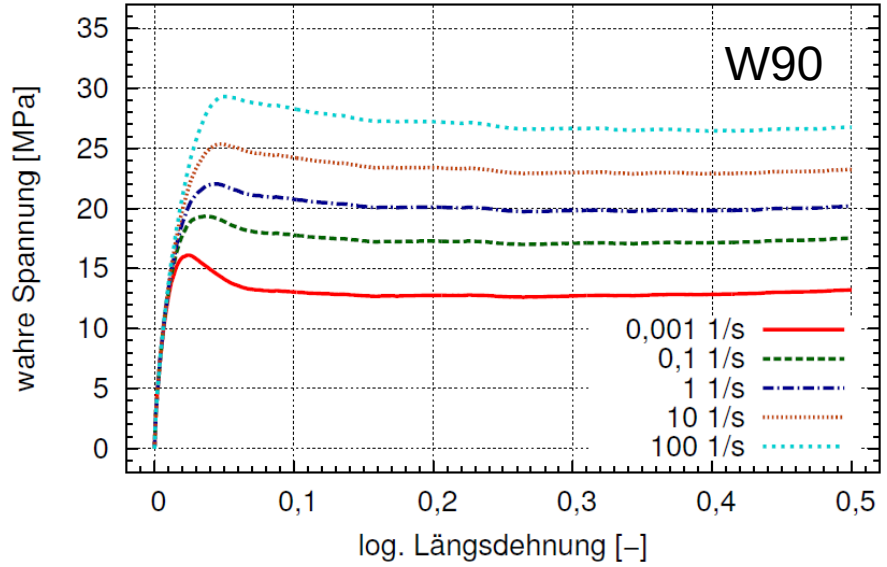
Durch konstante Abzugsgeschwindigkeit keine dehnratenkonstante Spannungs-Dehnungs-Daten

Anpassung der Messdaten notwendig
z.B. nach *G'Sell-Jonas*

Stark ausgeprägte Dehnratenverfestigung

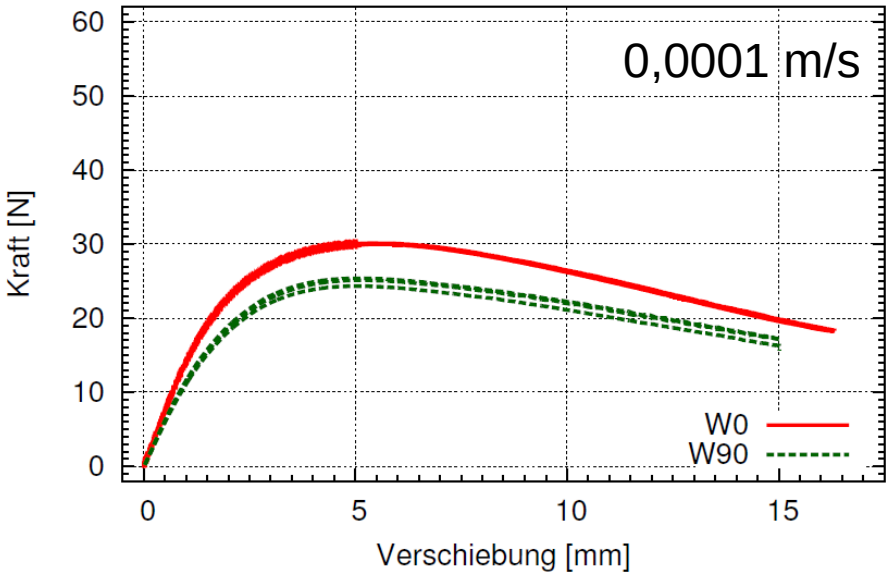
Anisotroper plastischer Bereich bei allen Abzugsgeschwindigkeiten

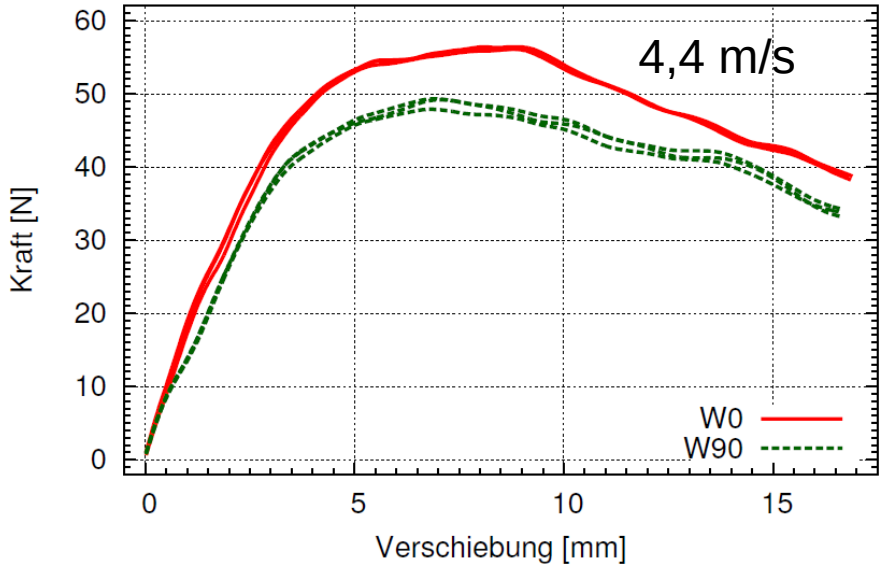




Ansatz- und Parameteridentifikation
Auswertung der dynamischen Biegeversuchen

Ergebnisse der Biegeversuche:
Kraft-Verschiebungs-Daten





Ansatz- und Parameteridentifikation
Auswertung der dynamischen Biegeversuchen

Ergebnisse der Biegeversuche:
Kraft-Verschiebungs-Daten

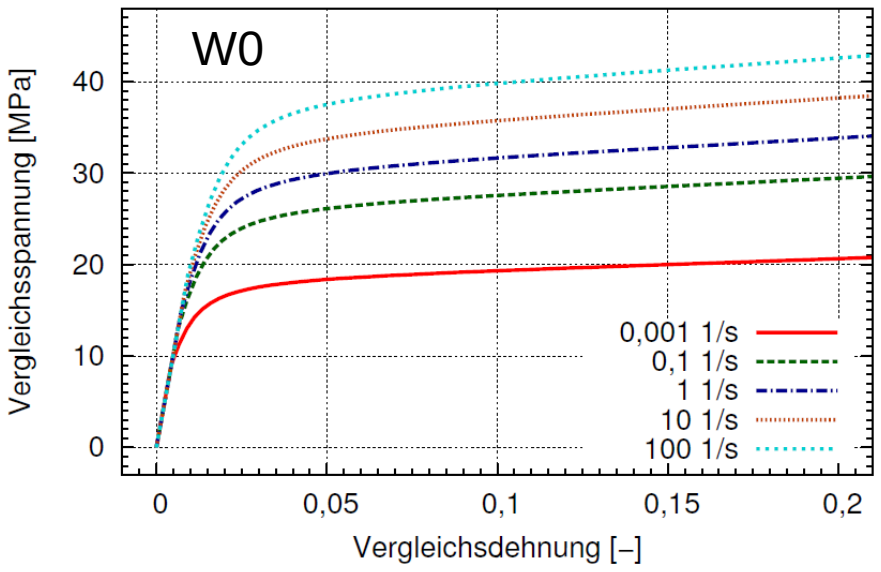
Berechnung von Spannungs-Dehnungs-Werten mittels Reverse Engineering

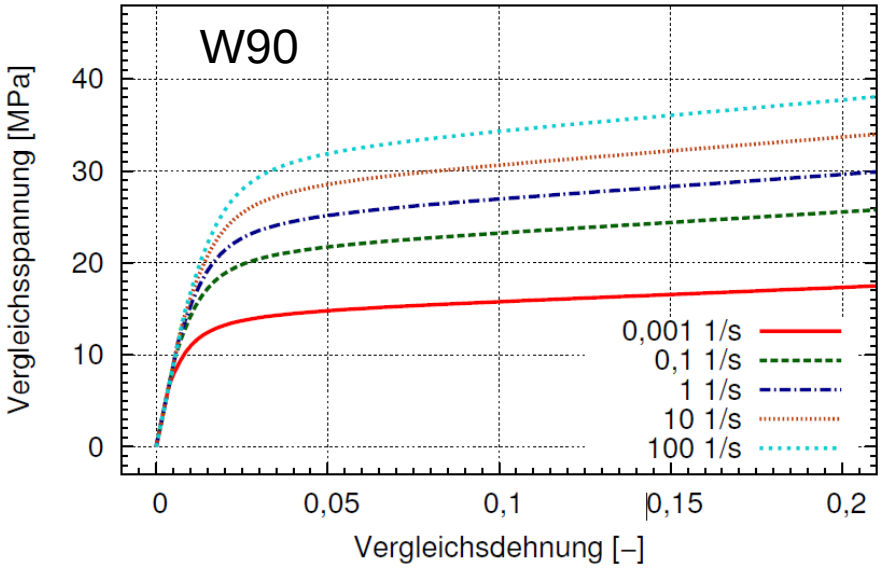
- Materialansatz: *MAT_024
- Verfestigungsansatz von 4a
- Parameteroptimierung mit *LS-OPT*

Dehnratenkonstante Spannungs-Dehnungs-Werte nach Ansatz von *Johnson-Cook*

Anisotroper plastischer Bereich

Ähnliche Tendenzen wie bei den Zugversuchen

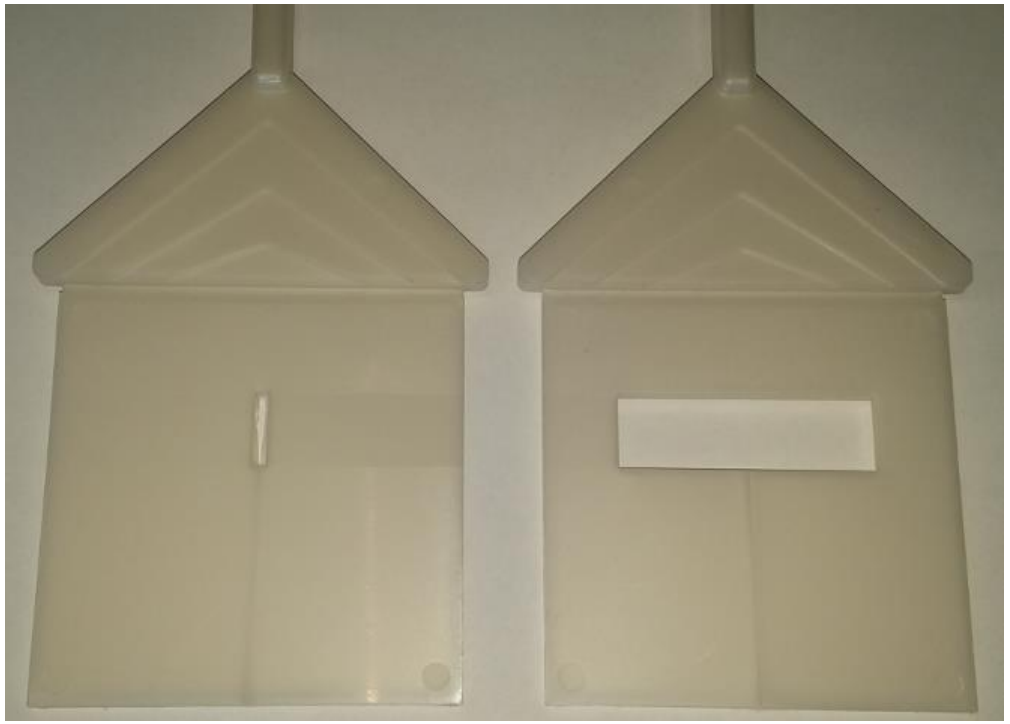


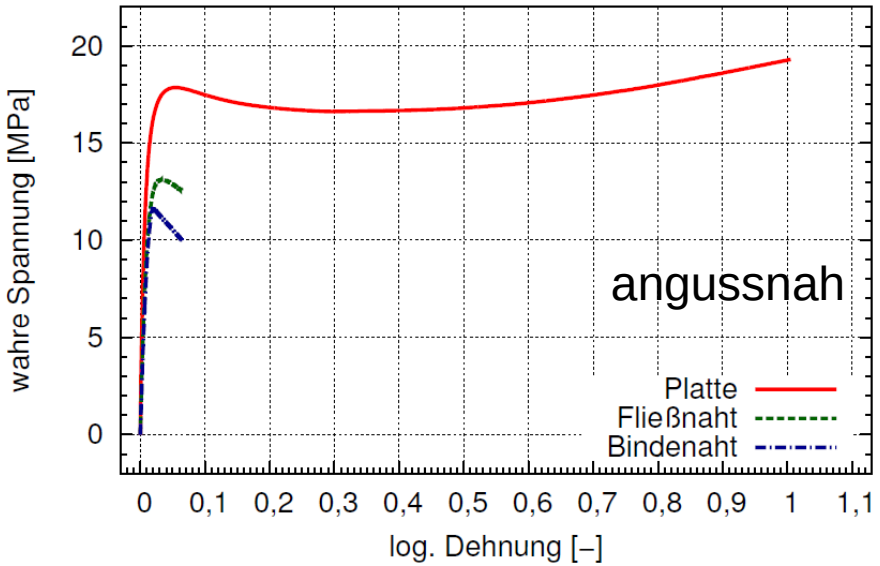


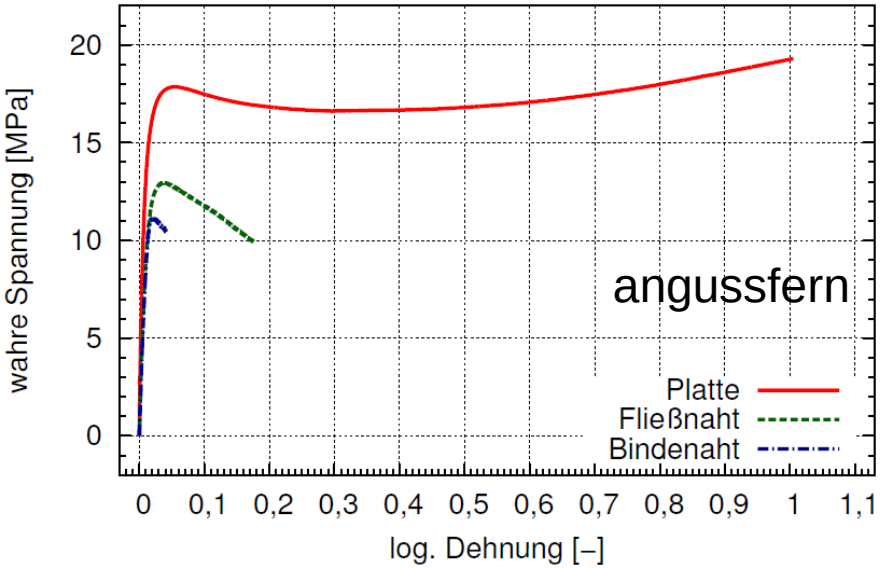
Ergebnisse der Untersuchungen
Zugversuche an Fließ- und Bindenaht

Dramatische Reduzierung der Bruchdehnung bei vorhandener Fließ- oder Bindenaht

Einfluss der Entnahmeposition bei Fließnaht stark ausgeprägt







Gliederung

Einführung

Probenherstellung

Versuchsdurchführung

Ergebnisse der Untersuchung

Auswertung: Ansatz- und Parameteridentifikation

Zusammenfassung

Ansatz- und Parameteridentifikation
Vergleich zwischen Zug- und Biegeversuchen

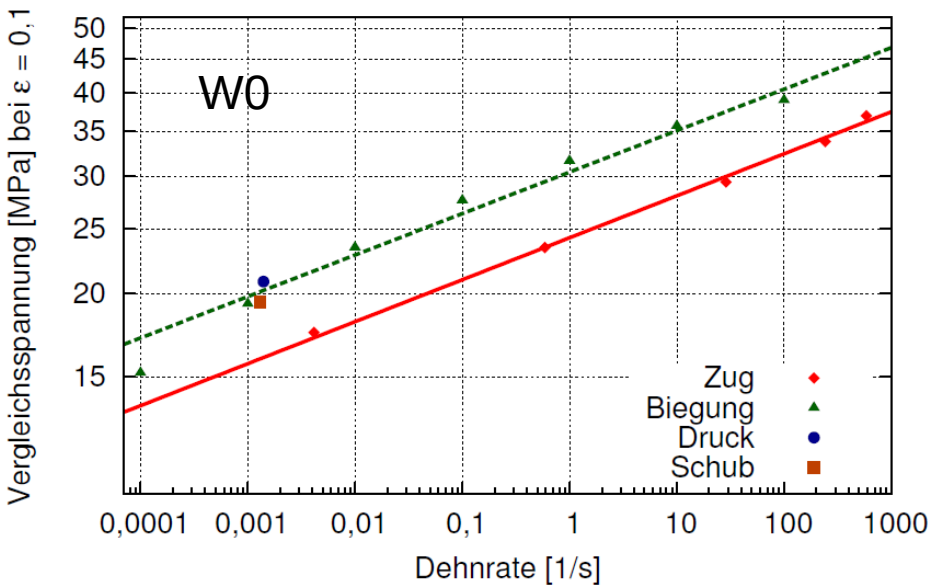
Auswertung der durchgeführten Versuche bei Vergleichsdehnung $\varepsilon = 0{,}1$

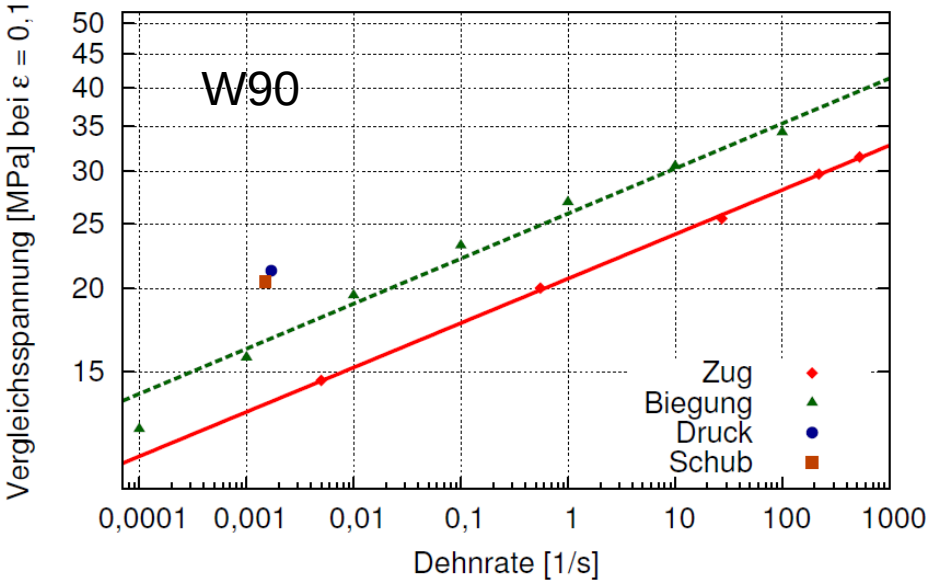
Vergleichsspannungskonzept nach *von Mises*

Unterschiede Biegeversuche / Zugversuche:
Berechnung der wahren Spannung beim Zugversuch unter Annahme eines einachsigen Spannungszustands

Gleiche Richtungsabhängigkeit in Biege- und Zugversuchen

Materialkarte aus Biegeversuchen kann direkt in der FEM verwendet werden





Gliederung

Einführung

Probenherstellung

Versuchsdurchführung

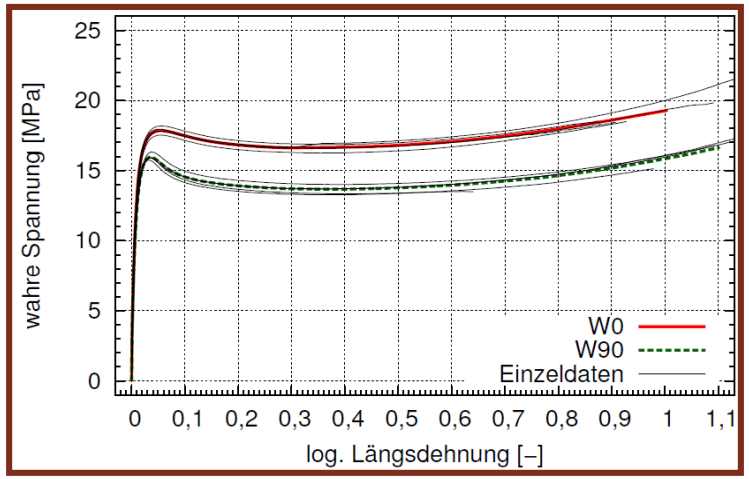
Ergebnisse der Untersuchung

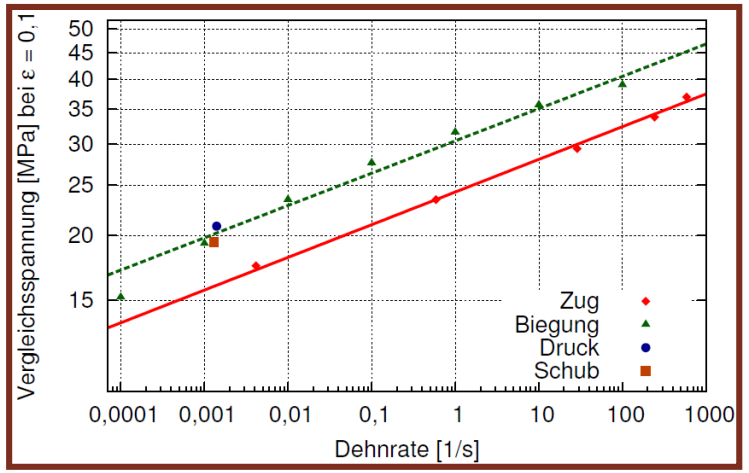
Auswertung: Ansatz- und Parameteridentifikation

Zusammenfassung

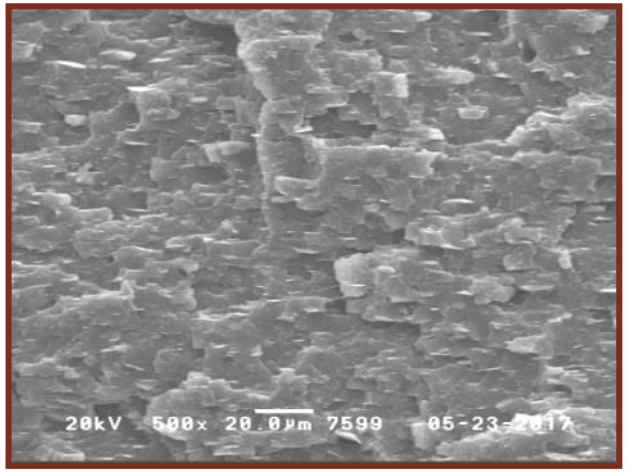
Zusammenfassung

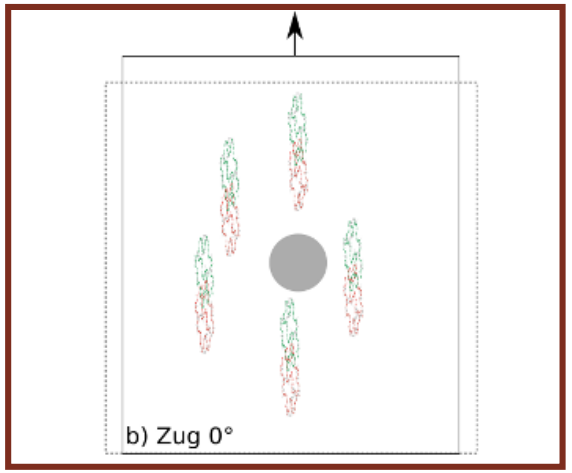
Mechanische Charakterisierung



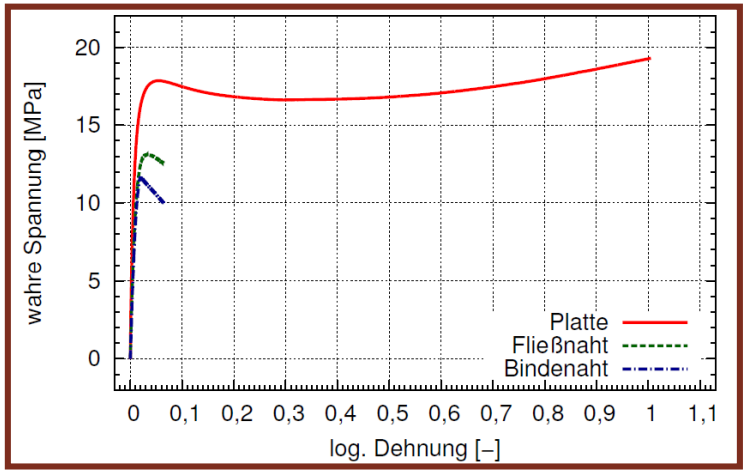


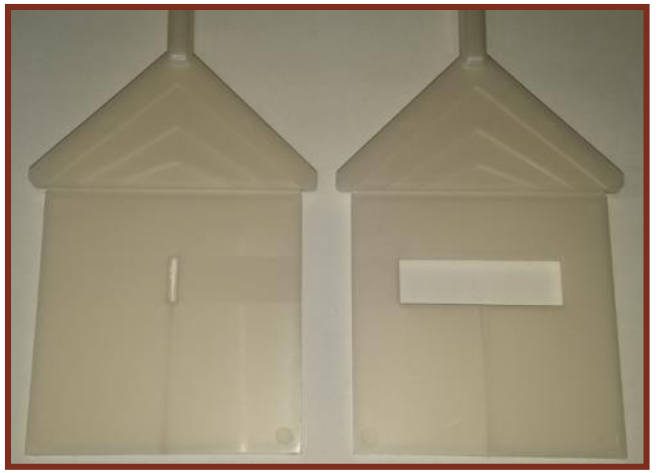
Anisotropie: FK-Modell





Bindenahteigenschaften





Zum Deformationsverhalten von spritzgegossenen Bauteilen aus talkumgefüllten Thermoplasten unter dynamischer Beanspruchung