

# Characterization of Process Influences on Microstructure and Mechanical Properties of Long Glas Fiber Reinforced Polyamide 6 Plates in Compounding and Compression Molding

Dr.-Ing. Christoph Schelleis

Fraunhofer Institut für Chemische Technologie ICT, Karlsruher Institut für Technologie KIT

## Einleitung und Motivation

Gute mechanische Eigenschaften positionieren langfaserverstärkte Thermoplaste (LFT) Fließpressmaterialien in einem breiten Anwendungsfeld zwischen den Vorteilen des Spritzgießens (z.B. komplexe Formbarkeit) und glasmattenverstärkter Thermoplaste. In der LFT Direktverarbeitung (LFT-D), dargestellt in Abb. 1 a), werden in zwei Zweischneckenextrudern (ZSE) aus Polymergranulat und direkt eingezogenen Faserrovings der FVK compoundingiert und zu Bauteilen urgeformt. Das sogenannte Plastifikat ist hierbei das Bindeglied der Prozesse und wird unmittelbar nach der kontinuierlichen Bereitstellung am Ende des ZSE2 in das Werkzeug eingelegt und diskontinuierlich geformt (Abb. 1 b).

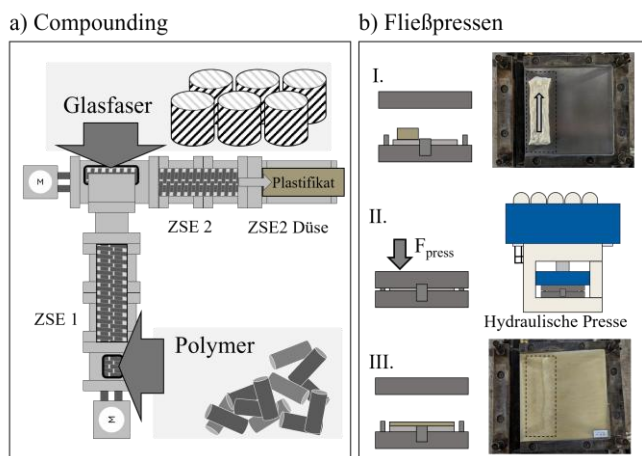


Abb. 1 Schematische Darstellung LFT-D Fließpressprozess.

Die Mikrostruktur aus Fasermassegehalt  $w_f$ , -länge  $l_f$  und -orientierung  $\varphi_f$  beeinflusst die mechanischen Eigenschaften. Der Fasergehalt wird durch die Kombination der Prozessfaktoren; Schneckendrehzahl  $n_{TSE}$ , Anzahl der Faserrovings  $n_{rov}$  und Polymerdurchsatz  $m_p$  definiert und kann nicht unabhängig eingestellt werden<sup>2</sup>. Faserscherung im ZSE2 verkürzt  $l_f$  in Abhängigkeit von  $n_{TSE}$  und Gesamtdurchsatz der Anlage<sup>3</sup>. Die bestehende, helikale, Vororientierung der Fasern im Plastifikat wirkt sich lt. Stand der Technik auf die Faserorientierung während des Fließpressens aus<sup>4</sup>.

*Prozessfaktoren interagieren komplex und beeinflussen die Fasermikrostruktur.* Eine Optimierung mechanischer Eigenschaften setzt somit eine genaue

Kenntnis dieser Einflüsse voraus. Eine durchgehende Betrachtung existiert bis dato nicht. Simulationsmethoden können nur erfolgreich implementiert und angewandt werden, wenn die Fasermikrostruktur präzise beschrieben und reproduziert werden kann.

## Zielsetzung und methodischer Ansatz

*Die Einflüsse der Prozessfaktoren auf die Ausbildung der Fasermikrostruktur sollen beschrieben werden.*

Eine DoE Studie der Faktoren  $n_{TSE}$ ,  $n_{rov}$  und  $m_p$  wird durchgeführt. In Abb. 2 werden mikrostrukturelle Eigenheiten des LFT-D Prozess‘ gezeigt. Die Extrusionsrichtung (schwarzer Pfeil) liegt in der Regel orthogonal zur Fließrichtung. Eine Umorientierung von  $\varphi_f$  während der Formgebung findet entlang der Fließrichtung statt und wird anhand des Probekörpers „Fließfront“ quantifiziert. Eine Zunahme von  $w_f$  entlang der Fließrichtung ist aus dem Spritzguss bekannt<sup>5</sup> und wird für die Diskussion der mechanischen Eigenschaften berücksichtigt. Zusammen mit  $\varphi_f$  entstehen zwei verschiedene Bereiche auf dem Probekörper „Platte“, Einlege- und Fließbereich. Der Probekörper „Plastifikat“ wird hinsichtlich Faserorientierung und Dichte  $\rho$  berücksichtigt.

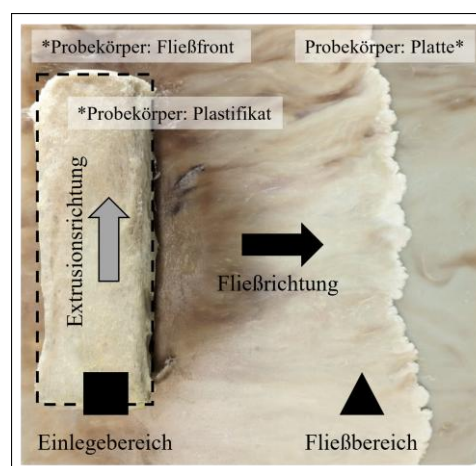


Abb. 2 Probekörper LFT-D und distinktive Bereiche.

*Charakterisierungsmethoden zur Beschreibung der Mikrostruktur sollen entwickelt werden.* Mechanische Eigenschaften werden als Qualitätskriterien der DoE ermittelt und zusammen mit der Mikrostruktur diskutiert.

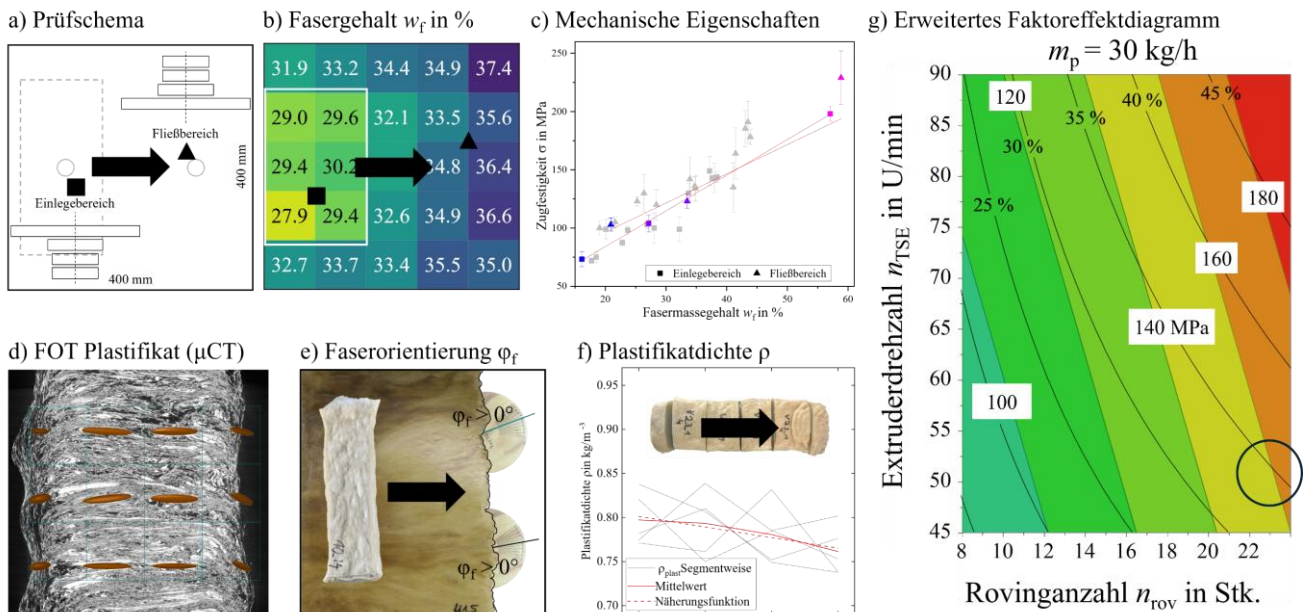


Abb. 3 Ergebnisüberblick. a)-c) Klassische Charakterisierungen. d)-g) Erweiterte Charakterisierungen und Diskussion.

## Ergebnisse und Diskussion

In Abb. 3 sind Ergebnisse der Arbeit dargestellt. Der Fasergehalt wird in 25 Segmenten der Platte bestimmt (Abb. 3 b). Die Zunahme des  $w_f$  zum Fließwegende und initiale Position des Plastifikates sind gut zu erkennen. Die Faserorientierung im Fließbereich wird mit Zugronden bestimmt, runden Prüfkörpern deren maximale Belastbarkeit in Richtung der (Haupt-) Faserorientierung liegt (Abb. 3 e). Diese  $\varphi_f$  sind klar aus der nominellen Fließrichtung gedreht. Eine prozessbedingt zeitabhängige und folglich unsymmetrische Materialverteilung im Plastifikat (Abb. 3 f) sorgt für einen schiefen Materialfluss, an dem sich die Fasern orientieren. Das kann mit Formfüllexperimenten, sogenannten Fließfronten, gezeigt werden. Die Faservororientierung des Plastifikates,  $\mu\text{CT}$ -Scans in Abb. 3 d, spielt hier eine untergeordnete Rolle.

In Abb. 3 a) sind die Positionen der mechanischen Prüfkörper gezeigt. Ein Vergleich mit den Ergebnissen der  $w_f$  und  $\varphi_f$  Charakterisierung verdeutlicht die Bedeutung einer bewussten Wahl der Probenposition. Eine Aufteilung der Ergebnisse nach Einlege- und Fließbereich und  $w_f$  trägt den thematisierten Besonderheiten der Prozessroute Rechnung. Derart aufgetragen kann ein, im Gegensatz zu einschlägiger Literatur<sup>6</sup>, lineares Verhältnis der meisten mechanischen Eigenschaften mit  $w_f$  bestätigt werden (Abb. 3 c) Zugfestigkeit). Zu untersuchten Faktoren kann so noch keine genauere Aussage gemacht werden.

Das erweiterte Faktoreffektdiagramm wird in Abb. 3 g) vorgestellt, welches die Modellvorhersage (Farbgradient) der DoE mit  $w_f$  (schwarze Linien) kombiniert. So wird die enge Verbindung von  $w_f$  mit den untersuchten Faktoren berücksichtigt. Im Rahmen einer

Prozessparameteroptimierung unter den fiktiven Randbedingungen  $m_p = 30 \text{ kg/h}$  und  $w_f = 35 \%$ , kann hier entlang der Linie des konstanten  $w_f$  klar abgelesen werden, dass eine Verarbeitung bei geringer Drehzahl und erhöhter Rovinganzahl vorteilhaft ist (Kreis).

Dies scheint die gängige These zu stützen, LFT-D Materialien bei geringer Drehzahl zu verarbeiten. Diese pauschale Aussage ist bei Betrachtung der Faktoreffektdiagramme für Biege- und Schlageigenschaften nicht zu halten. Eine Prozessparameteroptimierung kann sich in Zukunft an weiteren Qualitätskriterien wie der Streuung von  $w_f$  oder  $\varphi_f$  orientieren.

## Zusammenfassung

In dieser Dissertation wurden einfache, aber effektive Charakterisierungsmethoden entwickelt, die eine strukturierte und zugleich niederschwellige Bewertung von Prozessparametereinflüssen im LFT-D Fließpressen ermöglichen. Die konsequente Berücksichtigung des Plastifikates als Bindeglied zweier Prozesse ermöglicht erstmalig eine durchgängige Diskussion der Auswirkungen einer Parametervariation im Extruder auf die resultierende Mikrostruktur. Neue Materialentwicklungen können entlang dieser definierten Vorgehensweise durchgeführt und mit bestehenden verglichen werden.

## Literatur

- [1] Schelleis, 2025: <https://doi.org/10.5445/IR/1000186066>.
- [2] Schelleis et al., 2023: <https://doi.org/10.3390/polym15092041>.
- [3] Kohlgrüber, 2016. München, Deutschland: Hanser.
- [4] Osswald, 2016: <https://doi.org/10.3139/9781569905241>.
- [5] Goris et al., 2018: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2017.11.024>.
- [6] Thomason, 2002: [https://doi.org/10.1016/S1359-835X\(02\)00179-3](https://doi.org/10.1016/S1359-835X(02)00179-3).