



Dennis Kleinschmidt, M.Sc.

Simulative Auslegung von Kautschukextrusionswerkzeugen unter der Berücksichtigung der Belastungshistorie im Extruder sowie Fließanomalien

Kautschukmischungen sind komplexe Vielstoffsysteme, welche sich neben dem Rohpolymer aus weiteren Bestandteilen wie Füllstoffen, Weichmachern sowie weiteren Kleinchemikalien und dem Vernetzungssystem zusammensetzen. Die Extrusion von Elastomerprodukten stellt dabei ein wichtiges Verfahren dar, mit dem bspw. Reifen, Dichtungen und Schläuche sowie Ummantelungen hergestellt werden. Im Rahmen der Auslegung von Kautschukextrusionswerkzeugen wird grundsätzlich zwischen der analytisch-empirischen und der numerischen Werkzeugauslegung differenziert. Die analytisch-empirische Auslegung basiert oftmals auf der Anwendung von Erfahrungswerten und dem Trial-and-Error Verfahren. Komplexe Werkzeuggeometrien werden oftmals iterativ durch einfache Blendenwerkzeuge substituiert, wobei Abweichungen von der gewünschten Produktgeometrie zeit- und kostenintensive Korrekturen zur Folge haben. Daher gewinnt die numerische Werkzeugauslegung zunehmend an Bedeutung.

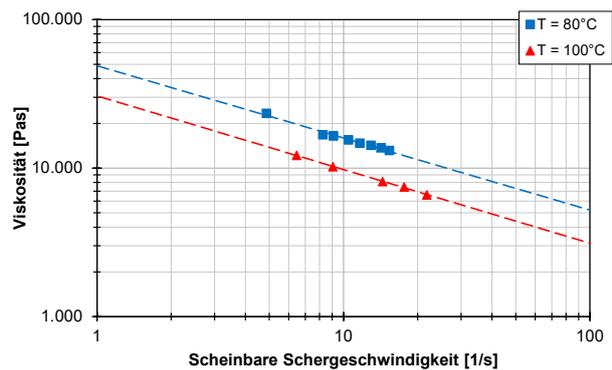
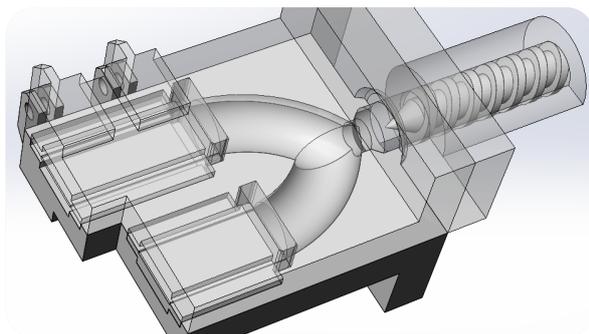
Zur Durchführung einer numerischen Strömungssimulation sind aufgrund des viskoelastischen Materialverhaltens komplexe Materialmodelle sowie umfangreiche Materialdaten erforderlich. Die Bestimmung der Materialparameter erfolgt i.d.R. mittels laboranalytischer Methoden. Dies hat zur Folge, dass u.a. der Einfluss der Belastungshistorie im Extrusionsprozess vernachlässigt wird. Weiterhin neigen Kautschukmischungen in Abhängigkeit der Mischungszusammensetzung sowie des Verarbeitungsprozesses zu Fließanomalien wie Shark-Skin, Stick-Slip-Effekten und Wandgleiten. Diese Fließphänomene werden bei der Auslegung von Kautschukextrusionswerkzeugen nicht oder nur teilweise berücksichtigt, da oftmals keine geeigneten Materialparameter und -modelle vorliegen.

Das Ziel des Kooperationsprojektes mit dem Institut für Kunststoffverarbeitung in Industrie und Handwerk (IKV) an der RWTH Aachen ist die Verbesserung der analytischen und simulativen Methoden zur Auslegung von Kautschukextrusionswerkzeugen durch empirisch ermittelte Korrekturfaktoren und Kennfelder. Es wird untersucht, unter welchen Bedingungen Fließphänomene für die Auslegung von Extrusionswerkzeugen für Kautschuke relevant und wie diese zu berücksichtigen sind.

Zur Bereitstellung von empirisch ermittelten Korrekturfaktoren und Kennfeldern, mittels derer die Auslegung von Kautschukextrusionswerkzeugen verbessert werden soll, sind umfangreiche experimentelle Untersuchungen notwendig. Diesbezüglich werden praxisrelevante EPDM-Kautschukmischungen mit einem in drei Stufen variiertem Rußgehalt (60, 80, 100 phr) verwendet. Zur Durchführung der Untersuchungen stehen an der

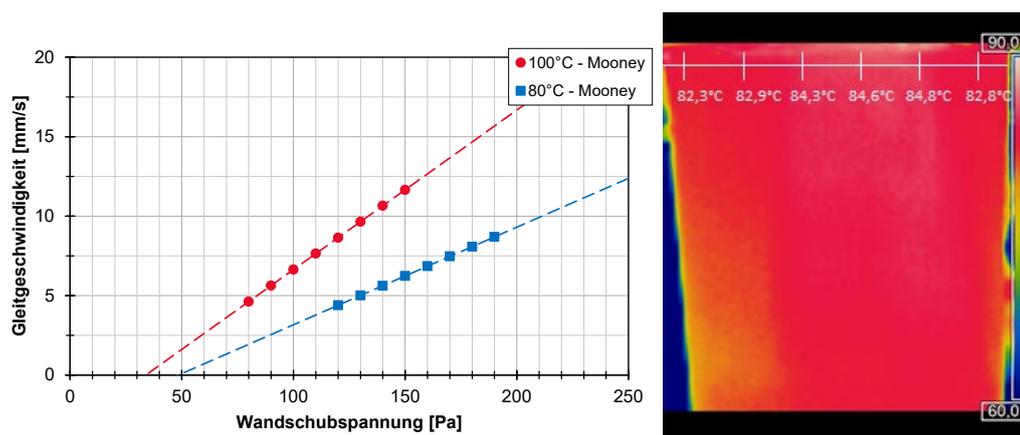
Kunststofftechnik Paderborn zwei Kautschukextruder unterschiedlichen Schneckendurchmessers (32 mm, 60 mm) zur Verfügung.

Zur Berücksichtigung der Belastungshistorie im Extruder werden experimentelle Untersuchungen anhand von Doppelflachkanal-Extrusionsrheometern durchgeführt, wobei das Prinzip in der nachfolgenden Abbildung (links) skizziert ist. Die Extrusionsrheometrie ermöglicht die Ermittlung prozessnaher Viskositätsdaten unter Einbeziehung der Vorscherung des Materials (s. Abbildung rechts). Zur Erzeugung unterschiedlicher Belastungszustände werden im Rahmen der Untersuchungen zwei unterschiedliche Schneckenkonzepte (Fördergewinde, Schnecke mit Stegdurchbruch) verwendet.



Schematische Darstellung des Extrusionsrheometers für einen 32 mm Kautschukextruder (links) und Viskositätskurven für zwei Temperaturen (rechts)

Auf Basis der Viskositätskurven erfolgt die Beschreibung des Wandgleitverhaltens mittels der Methodiken nach MOONEY und GEIGER, welche in der nachfolgenden Abbildung für eine EPDM-Mischung dargestellt sind. Anhand der ermittelten Gleitgeschwindigkeiten und -anteile steht anschließend die Ermittlung eines Kennfeldes als Funktion der Temperatur und des Rußgehalts im Vordergrund, mit dem die Viskositätsdaten für die Simulation angepasst werden können.

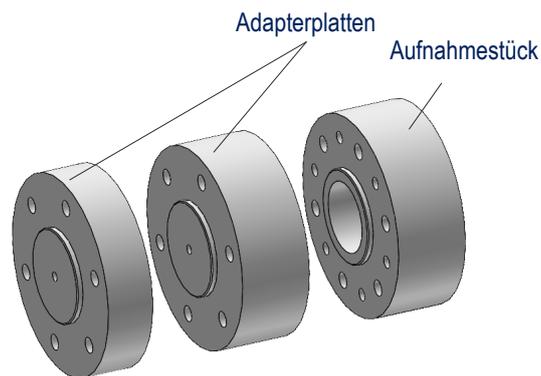


Wandgleitgeschwindigkeiten für eine EPDM-Kautschukmischung nach MOONEY (links) und radiales Temperaturprofil am Werkzeugaustritt bei einer Soll-Extrudattemperatur von 80 °C (rechts)

Neben Wandgleiteffekten neigen Kautschukmischungen zu ausgeprägten nicht-isothermen Effekten. Die Austrittstemperatur der Extrudatstränge aus dem Rheometerwerkzeug werden im Rahmen der experimentellen Untersuchungen durch IR-Wärmebildkameras und IR-

Pyrometer aufgezeichnet, wie in der vorstehenden Abbildung (rechts) dargestellt. Ziel ist die Entwicklung eines analytischen Berechnungsmodells, mit dem die Austrittstemperatur der Extrudatstränge abgeschätzt werden kann, um darauf aufbauend eine Korrektur der Viskositätsdaten durchzuführen.

Anhand der empirisch ermittelten Kennfelder und Korrekturfaktoren hinsichtlich des Vorscherungseinflusses, Wandgleitens und nicht-isothermer Effekte werden numerische Strömungssimulationen mit der Software openFOAM durchgeführt. In ersten Simulationen wird ein einfaches Strangwerkzeug simuliert, welches im Aufbau dem Hochdruck-Kapillarrheometer entspricht und in der nachfolgenden Abbildung skizziert ist.



Schematische Darstellung des Strangwerkzeugs für die Simulationen

Auf Basis der numerischen Strömungssimulationen erfolgt eine experimentelle Validierung der Ergebnisse. Hierfür werden neben dem Durchsatz ebenfalls der axiale Druckverlauf sowie der axiale und radiale Temperaturverlauf herangezogen. Die Ergebnisse werden abschließend in einem Leitfaden dokumentiert.

Danksagung

Wir danken der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) (IGF-Nr. 21531 N) für die finanzielle Förderung der Arbeiten, die aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) erfolgt. Zudem bedanken wir uns für die Unterstützung der Unternehmen aus dem projektbegleitenden Ausschuss sowie dem Institut für Kunststoffverarbeitung in Industrie und Handwerk (IKV) an der RWTH Aachen als Projektpartner.