

# Flow birefringence and velocity measurements for polymer melts in a cross-slot flow channel

**Doctoral Thesis**

**Author(s):**

Soulages, Johannes M.

**Publication date:**

2007

**Permanent link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005397356>

**Rights / license:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Diss. ETH No. 17180

# **Flow Birefringence and Velocity Measurements for Polymer Melts in a Cross-Slot Flow Channel**

A dissertation submitted to  
ETH Zürich

for the degree of  
Doctor of Natural Sciences

presented by

Johannes Matthieu Soulages  
Diplôme d'ingénieur - Master of Science  
Ecole Européenne de Chimie Polymères et Matériaux de Strasbourg  
Université Strasbourg 1

born 14.06.1979  
citizen of France

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. H. C. Öttinger, examiner  
Prof. Dr. M. Kröger, co-examiner  
Prof. Dr. D. C. Venerus, co-examiner

2007

# Abstract

The goal of this thesis is to develop a new isothermal lubricated cross-slot channel rheometer capable of creating two-dimensional (2D) complex flows of combined shear and planar elongation. In this work, the birefringence and velocity data are derived from flow-induced birefringence and particle tracking velocimetry measurements, respectively. For the study of complex flows of birefringent polymer melts, end effects cannot be eliminated by increasing the aspect ratio of the experimental geometry. Consequently, the channel front and back viewing windows are lubricated to guarantee the absence of variations of the optical properties along the light path. This allows us to work with an aspect ratio of 0.5 which further offers enhanced temperature control and increased optical accuracy due to an improved laser beam shaping. Capabilities and performances of this unique type of lubricated rheometer are shown in the case of a general purpose low density polyethylene. Careful attention is given to the lubrication efficiency and to the viewing windows optical properties in order to guarantee reliable birefringence data. As both the velocity and birefringence fields are generally affected by the confining walls of the experimental geometry, the novel lubrication design used in this study allows to reach planar flow conditions. This can be effectively validated by birefringence and particle tracking velocimetry measurements. Accordingly, 2D birefringence and velocity field data are recorded. In this context, the numerical predictions of the eXtended Pom-Pom (XPP) model for branched polymers of Verbeeten et al. as well as its modified version (mXPP) and those of the Giesekus model are analyzed in 2D mixed flows at two Weissenberg numbers ( $Wi = 21$  and  $29$ ). Three particular streamlines involving different combinations of shear and planar extensional deformations are selected. All model predictions are in qualitative agreement with the experimental data. It is not possible however to determine which model fits the data best. Indeed, particle tracking velocimetry data in the vicinity of the channel walls and close to the stagnation region are not accurate enough because of oil film light reflections making the tracking of the markers unreliable. Consequently, the computed optical quantities from constitutive modeling are not rigorous in these parts of the flow cell. In addition, multiple orders of retardation occurring within the laser beam diameter make the birefringence data useless close to the stagnation point where no comparison with

numerical simulation predictions can be reasonably done. Nevertheless, this preliminary study shows the promising potential of this new type of lubricated rheometer as a unique tool for testing the performances of constitutive equations in mixed shear and extensional flows.

# Zusammenfassung

Das Ziel dieser Dissertation ist die Entwicklung eines neuen isothermen kreuzförmigen Rheometers mit geschmiertem Kanal zur Erzeugung komplexer zweidimensionaler (2D) kombinierter Scher- und planarer Dehnströmungen. In dieser Arbeit wird die Doppelbrechung aus der strömungsinduzierten Doppelbrechung und das Geschwindigkeitsfeld aus Teilchenverfolgungs-Geschwindigkeitsmessungen bestimmt. Bei der Untersuchung komplexer Strömungen von doppelbrechenden Polymerschmelzen können Randeffekte mit einem geringeren Breite zu Dicke Verhältnis der experimentellen Geometrie nicht vermieden werden. Infolgedessen sind die beiden Sichtfenster des Kanals geschmiert, damit sich die optischen Eigenschaften entlang des Lichtwegs nicht ändern. Das erlaubt uns, mit einem Breite zu Dicke Verhältnis von 0.5 zu arbeiten, was zusätzlich eine bessere Kontrolle der Temperatur und eine erhöhte optische Genauigkeit dank gleichmässigerer Laserstrahlform mit sich bringt. Eigenschaften und Leistung dieses einzigartigen geschmierten Rheometers werden am Beispiel eines verzweigten Allzweck-Polyethylens veranschaulicht. Besonderes Augenmerk gilt dabei der Gleichmässigkeit der Schmierung und den optischen Eigenschaften der Sichtfenster, um zuverlässige Doppelbrechungsdaten zu erhalten. Da sowohl die Doppelbrechung, als auch das Geschwindigkeitsfeld von den Begrenzungswänden des Kanals beeinflusst werden, erlaubt es das neuartige Schmierungskonzept planare Strömungsbedingungen zu erhalten, was mittels Doppelbrechungs- und Geschwindigkeitsmessung auch verifiziert wird. Dementsprechend werden 2D Doppelbrechungs- und Geschwindigkeitsfeld-Daten aufgenommen. In diesem Zusammenhang werden die numerischen Vorhersagen des eXtended Pom-Pom (XPP) Modells für verzweigte Polymere von Verbeeten et al., dessen modifizierter Version (mXPP) und des Giesekus Modells für gemischte 2D Strömungen bei zwei Weissenberg Zahlen ( $Wi = 21$  and  $29$ ) analysiert. Drei besondere Stromlinien mit unterschiedlichen Kombinationen von Scherung und planarer Dehnung werden ausgewählt. Alle Modellvorhersagen stimmen qualitativ mit den experimentellen Daten überein. Es ist allerdings nicht möglich zu entscheiden, welches Modell die Daten am besten beschreibt. Tatsächlich sind Teilchengeschwindigkeitsdaten in der Nähe der Kanalwände und des Staupunktes nicht präzise genug, weil Lichtreflexe vom Ölfilm das Verfolgen der Teilchen ungenau machen. Folglich sind

die mit den Modellgleichungen berechneten optischen Grössen in diesen Bereichen des Strömungskanal nicht exakt. Das Auftreten mehrerer Ordnungen der Retardation innerhalb des Strahldurchmessers machen die Doppelbrechungsdaten in der Nähe des Staupunktes nutzlos, da kein vernünftiger Vergleich mit den Vorhersagen der numerischen Simulationen durchgeführt werden kann. Dennoch zeigt diese Pilotstudie das vielversprechende Potenzial dieses neuen Typs eines geschmierten Rheometers als einzigartiges Werkzeug zur Überprüfung von Modellgleichung in kombinierten Scher- und planarer Dehnströmungen.