

Simboard

Verbesserte Prozessstabilität bei der dreidimensionalen Papierumformung durch numerische Abbildung der Materialinhomogenität

Projektverantwortliche	Yuchen Leng M. Sc.
Laufzeit	Mai 2021 – April 2024
Abteilung	Funktions- und Verbundbauweisen
Förderlinie	DFG

Abstract

Im Rahmen dieses Projekts wurde die inhomogene Materialstruktur von faserbasierten Materialien eingehend untersucht, wobei der Schwerpunkt auf der makroskopischen numerischen Darstellung lokaler Dicke, Dichte und Faserorientierung lag. Mithilfe einer durchlichtbasierten Methode konnten Bereiche mit ausgeprägter Inhomogenität identifiziert und anschließend vermessen werden. Die stochastischen Eigenschaften der Papierstruktur wurden durch mathematische Modelle zur Abbildung der Strukturverteilung angenähert und repräsentiert. Zusätzlich wurde eine Methode entwickelt, um die lokale Struktur in numerische Simulationsprogramme zu integrieren und in 3D Umformprozesse wie Tiefziehen und Hydroforming umgesetzt.

Projektbeschreibung

Die Vorhersage von Umformprozessen ist mit zunehmender Unsicherheit behaftet, wenn die Mikrostrukturen im Vergleich zur Makrostruktur erheblich variieren. Dies führt zu Schwankungen im Materialverhalten, was insbesondere für die numerische Modellierung von Papier in Finite-Elemente-Simulationen von Bedeutung ist. Die inhomogene Verteilung von Eigenschaften wie Dichte, Dicke und Faserorientierung, bedingt durch Faktoren wie Mahlgrad, Faserverteilung, Faserzusammensetzung und Prozessbedingungen, führen zu stochastischen Materialcharakteristiken. Daher ist es unerlässlich, die Auswirkungen der Materialinhomogenität auf die Charakterisierung und die Umformprozesse zu berücksichtigen. Ziel dieses Projekts ist eine detaillierte Analyse der lokalen Materialstruktur sowie die numerische Abbildung stochastischer Strukturen und deren Einfluss auf das Materialverhalten. Dadurch sollen Ansätze für die Prozess- und Werkzeugauslegung entwickelt, sowie Zielgrößen für die Papierherstellung und -charakterisierung abgeleitet werden, was die Prozessstabilität verbessern wird.

Die Projektziele sind:

- Charakterisierung der Materialstruktur: Identifizierung und Charakterisierung des maßgeblichen Inhomogenitätszustands von Papier, um ein umfassendes Verständnis der Materialstruktur zu erlangen.
- Numerische Modellierung mit Inhomogenität: Entwicklung eines numerischen Modells, das das Materialverhalten unter Berücksichtigung inhomogener Verteilungen der Materialdaten abbildet und eine realitätsnahe Simulation von Umformprozessen ermöglicht.
- Optimierung der Umformprozesse und Validierung: Ent-

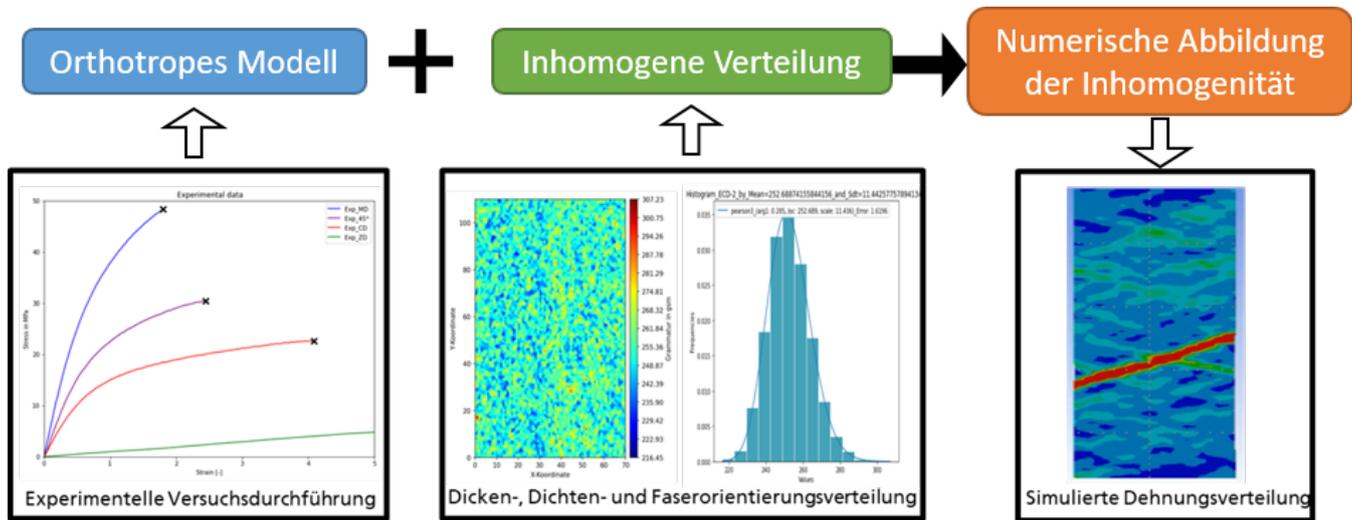
wicklung von Ansätzen zur Verbesserung der Zuverlässigkeit von Umformprozessen für Papier durch Variation von Material- und Prozessparametern unter Berücksichtigung inhomogener Materialeigenschaften. Im Anschluss erfolgt eine Validierung der Methode anhand ausgewählter Prozesse und Materialien.

Ergebnisse

Der erste Schritt ist die Ermittlung der lokalen Eigenschaftsverteilung durch zerstörungsfreie Methoden. Die Bestimmung des lokalen Flächengewichts, der Dicke und der Faserorientierungsverteilung kann einfach und schnell durch hochauflösende Durchlichtmessung und Grauwertmessung erfolgen. Die Korrelation dieser Parameter mit der μ -Strahlung und dem Profilometer wurde für die ersten beiden Parameter bestätigt, für die Faserorientierung wurde die Richtungsdetektion basierend auf Bildverarbeitung durchgeführt. Die aus den Messdaten abgeleiteten mathematischen Modelle zur Abbildung der Strukturverteilung ermöglichten es, die stochastischen Eigenschaften des Materials zu erfassen und in den Simulationsprogrammen zu berücksichtigen.

Der zweite Schritt ist die Materialcharakterisierung und -modellierung. Zunächst wurde ein elastisch-plastisches, orthotropes Materialmodell entwickelt, welches das Verhalten von Papier in der Ebene beschreibt. Durch den einachsigen Zugversuch in drei Richtungen (MD, 45° und CD) und den Druckversuch in Dickenrichtung in Verbindung mit empirischen Formeln kann das auf der Hill-Anisotropie basierende Materialmodell abgebildet werden. Anschließend erfolgt die Modellierung des Delaminationsverhaltens außerhalb der Ebene. Zur Untersuchung der Verformung und Delamination in Dickenrichtung sind Druck-, Scher- und Zugversuche in Dickenrichtung zur Bestimmung des Elastizitätsmoduls, des Schubmoduls und der Delaminationsparameter erforderlich. Für die Modellierung des Delaminationsverhaltens wird ein Zwischenschichtmodell verwendet, bei dem kohäsive Elemente mit Null-Dicke und eine Traktions-Trennungs-Beschreibung oder eine kohäsive Kontaktinteraktion für die Klebeschnittstellen verwendet werden.

Die Verbindung der lokalen physikalischen Eigenschaften mit dem bereits etablierten Materialmodell ermöglicht die Simulation von Inhomogenitäten. Abbildung [1] zeigt die Vorgehensweise zur numerischen Abbildung der Inhomogenität mit der stochastischen FEM und die Umsetzung im Zugversuch.



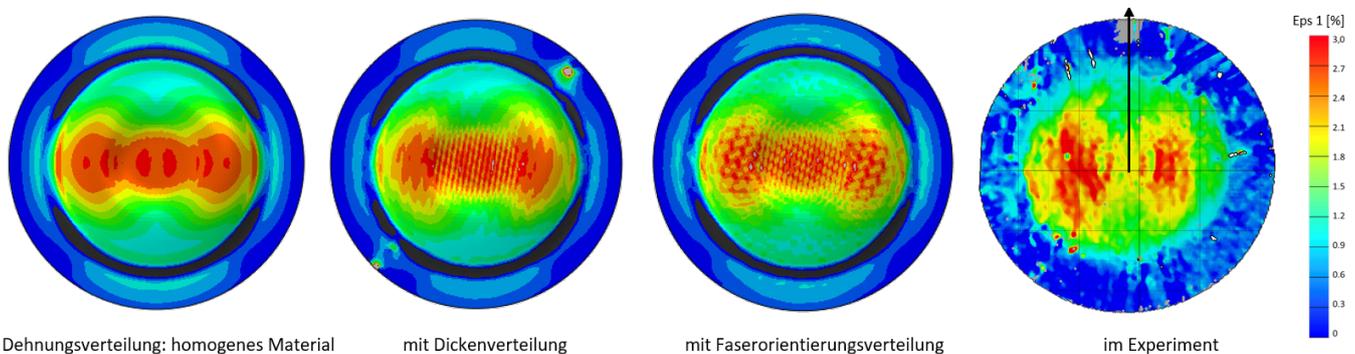
[1] Vorgehensweise bei der Modellierung inhomogener Materialien

Die Ergebnisse der numerischen Untersuchungen haben gezeigt, dass Materialien mit lokalen, stark ausgeprägten inhomogenen Eigenschaften tendenziell lokal hohe Dehnungen aufweisen und somit frühzeitig versagen. Dies legt nahe, dass die Homogenität der Materialstruktur einen signifikanten Einfluss auf das mechanische Verhalten und die Bruchdehnung des Materials hat. Durch die detaillierte Analyse und Modellierung der inhomogenen Struktur konnten weitere Erkenntnisse über das Versagen von Materialien und die Zusammenhänge zwischen Materialstruktur und mechanischem Verhalten gewonnen werden.

Die entwickelten Materialmodelle dienen der Simulation von Prozessmodellen für 3D-Umformprozesse am Beispiel von konventionellen (Tiefziehen) und wirkmedienbasierten (Hydroforming) Umformprozessen. Für den Tiefziehprozess wurde ein automatisiertes Verfahren zur Faltenerkennung entwickelt, um experimentelle Ergebnisse schnell und quantitativ vergleichen zu können. Eine experimentelle und numerische Parameterstudie hat gezeigt, dass eine Erhöhung der Niederhalterkraft und des Ziehspaltes zu einer Erhöhung der Faltenanzahl führt, während eine Erhöhung des Reibungskoeffizienten zu einer Verringerung der Faltenanzahl führt. Dagegen haben die Stempelgeschwindigkeit und die Ziehtiefe praktisch keinen Einfluss auf die Faltenzahl.

Beim Hydroforming führt eine Erhöhung des Umformdrucks bis zu einem bestimmten Grenzwert zu einer größeren Umformung ohne Schädigung. Bei konstantem Druck wurde mit zunehmender Niederhalterkraft zunächst eine Zunahme und dann eine Abnahme der Umformung beobachtet. Dies deutet darauf hin, dass es für einen bestimmten Material und einen bestimmten Umformdruck eine optimale Niederhalterkraft gibt. Eine Verringerung des Reibungskoeffizienten erhöht die Umformbarkeit des Papiers geringfügig. Abbildung [2] zeigt die Hauptformänderungsverteilung des homogenen Materials in der Simulation, das Material mit Dicken- und Faserorientierungsverteilung sowie einen Vergleich mit den experimentellen Ergebnissen. Obwohl ein gewisses Messrauschen vorhanden ist, darf die Inhomogenität des Materials selbst nicht außer Acht gelassen werden. Mithilfe der stochastischen FEM lassen sich die Ergebnisse des Umformprozesses genauer vorhersagen.

Die Ergebnisse des Projektes ermöglichen ein vertieftes Verständnis der Materialcharakterisierung und Umformprozesse unter Berücksichtigung der Inhomogenität von Papier. Das entwickelte numerische Modell birgt insbesondere das Potenzial, die Zuverlässigkeit des Papierumformungsprozesses zu verbessern und die Anwendungsfelder der Papierumformung zu erweitern.



[2] Vergleich der inhomogenen Dehnungsverteilung in der Simulation mit der homogenen Verteilung und dem Ergebnis im Hydroforming

Danksagung

Das vorgestellte Forschungsprojekt wurde gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) – 415796511. Zusätzlich geht der Dank an den Projektpartner Fraunhofer Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV für die Kooperation bei der Durchführung des Projekts.

Gefördert durch



Projektpartner

