

Kuratorium für Forschung und Technik  
der Zellstoff- und Papierindustrie im VDP e.V.



**AiF-Forschungsvorhaben Nr. 18331 N**

Laufzeit: 01.12.2015 – 30.11.2017

gefördert durch das BMWi aufgrund eines Beschlusses des  
Deutschen Bundestages über die



***Neue Produkte aus Papier durch hydromechanische  
Papierumformung***

**Schlussbericht**

**April 2018**

Technische Universität Darmstadt  
Institut für Produktionstechnik und  
Umformmaschinen (PtU)

Professor Dr.-Ing. Peter Groche  
Projektbearbeiter:  
M. Sc. Wilken Franke

# Schlussbericht

---

zu IGF-Vorhaben Nr. 18331 N

## Thema

Neue Produkte aus Papier durch hydromechanische Papierumformung

## Berichtszeitraum

01.12.2015 bis 30.11.2017

## Forschungsvereinigung

Kuratorium für Forschung und Technik der Zellstoff- und Papierindustrie im VDP e.V.

## Forschungseinrichtung(en)


Technische Universität Darmstadt, Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen (PtU)

Darmstadt, 19.04.2018

---

Ort, Datum

Wilken Franke, M. Sc.

  
Name und Unterschrift aller Projektleiterinnen und Projektleiter der  
Forschungseinrichtung(en)

---

## 1. Kurzfassung

---

### Ausgangssituation

Aus dem IGF-Projekt 17788 N mit dem Titel „Anwendung wirkmedienbasierter Verfahren zum Tiefziehen von Papier und Karton“ ist bekannt, dass die hydrostatische Drucküberlagerung während des wirkmedienbasierten Tiefziehens von Papier eine Erweiterung der Prozessgrenzen bewirkt. Die bisherigen Prozessausführungen wiesen gegenüber dem konventionellen Tiefziehen allerdings eine deutlich langsamere Prozessgeschwindigkeit auf. Daher war es das Ziel in diesem Projekt, die Vorteile der wirkmedienbasierten Drucküberlagerung hinsichtlich der Formgebungsgrenzen mit der erhöhten Prozessgeschwindigkeit des konventionellen Tiefziehens in dem Prozess des hydromechanischen Tiefziehens zu kombinieren.

### Forschungsergebnis

Zur Erreichung dieses Zieles wurde zunächst ein Werkzeugkonzept bestehend aus einem soliden Tiefziehstempel und einem Fluidkissen konstruiert. Über eine Druckregelung ist es möglich den Gegendruck im Fluidkissen zu kontrollieren und bei Bedarf anzupassen. Anschließend konnten in Versuchsreihen die Prozessgrenzen ermittelt werden. Um Grundlagen für die industrielle Etablierung des Prozesses legen zu können, wurden zusätzlich mit Hilfe von numerischen Simulationen Auslegungsstrategien für die Entwicklung neuer Produkte aus Papier entwickelt. Für die numerische Modellierung eines Materials werden Materialdaten, die das Materialverhalten abstrahiert beschreiben, benötigt. Hierzu konnten aufbauend auf den Erkenntnissen vorangegangener Forschungsprojekte gezielte Materialcharakterisierungen sowie Tests zum Reibverhalten durchgeführt werden. In diesem Zusammenhang haben sich Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den zwei durch den projektbegleitenden Ausschuss ausgewählten Materialarten (Recyclingkarton und Frischfaserkarton) insbesondere in der Festigkeit gezeigt. Ausgeprägt richtungsabhängige Eigenschaften konnten im Zugversuch beobachtet werden. Der Frischfaserkarton erwies sich als fester hinsichtlich seiner maximal ertragbaren Lasten, jedoch nur minimal besser dehnbar.

Die ermittelten Daten dienen dem Aufbau numerischer Simulationsmodelle, welche zur Auslegung von Werkzeugen und Machbarkeitsanalysen geeignet sind. Hier erwies sich ein zweidimensionaler Ansatz als zielführend, um grundlegende Aussagen über die geometrische Werkzeuggestaltung, Prozessparameter und Prozessführung zu treffen. In Abgleich mit experimentellen Umformversuchen wurden die Modelle auf drei Dimensionen erweitert, überprüft und weiter optimiert. Es zeigte sich, dass insbesondere die Abbildung der richtungsabhängigen Eigenschaften sowie des Verhaltens bei Überbeanspruchung (Schädigung) zur Erhöhung des Aufwands bei der Datengenerierung, Modellbildung und Berechnung führen.

### Anwendung/Wirtschaftliche Bedeutung

Auf Basis der experimentellen Erkenntnisse und der Simulationsdaten wurden Werkzeuge zur hydromechanischen Umformung von Papier entwickelt. Die Ergebnisse der damit durchgeführten Umformversuche dienen dem Abgleich mit den numerischen Daten. Ferner wurde ein System zur Dampfeinbringung in den Niederhalterbereich integriert. Hierdurch ist es möglich, das Umformmaterial während des Prozesses zu bedampfen. Mithilfe des Dampfes wird der Widerstand gegen die Faltenbildung des Papiers verringert, wodurch sich ein deutlich feineres Faltenbild erzeugen lässt. Darüber hinaus kann die Maßhaltigkeit des Napfdurchmessers um bis zu 79 % verbessert werden. Damit offenbaren die Ergebnisse ein großes Potential des Einsatzes von Dampf in der industriellen Umformtechnik von Papier hinsichtlich der Verbesserung der Produktqualität und Prozessführung.

---

## Inhaltsverzeichnis

---

1.....Kurzfassung	i
Inhaltsverzeichnis	ii
2.....Hintergrund und Motivation (Einleitung)	1
2.1.    Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung	1
2.2.    Wirtschaftliche Bedeutung der angestrebten Forschungsergebnisse für KMU	2
3.....Stand der Forschung und Entwicklung	3
3.1.    Papier als Halbzeug	3
3.2.    Herstellungsverfahren dreidimensionaler Geometrien aus Papier	3
3.3.    Materialcharakterisierungsverfahren	4
3.4.    Beschreibung von Formgebungsgrenzen	4
3.5.    Reibungsverhalten von Papier	4
3.6.    Abbildung des Materialverhaltens	5
3.7.    Eigene Vorarbeiten des PtU	5
4.....Arbeitshypothese und Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels	8
4.1.    Bearbeitungsschritte und Personaleinsatz	8
5.....Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse im Berichtszeitraum	10
5.1.    Materialauswahl	11
5.1.1.  Papier	11
5.1.2.  Folienwerkstoff	11
5.1.3.  Werkzeugmaterial	11
5.2.    Werkzeugkonstruktion	12
5.2.1.  Vorversuchswerkzeug	12
5.3.    Materialerfassung, numerische Simulation und Modelloptimierung	13
5.3.1.  Mechanische Kenngrößen im Zugversuch	13
5.3.2.  Mechanische Kenngrößen im Tiefungsversuch	15
5.3.3.  Ermittlung von Kenngrößen mit Gegendruck	16
5.3.4.  Ermittlung der Reibwerte	18
5.3.5.  Einfluss der Temperatur auf das Verhalten von Papier	19
5.3.6.  Aufbau des numerischen Modells und Optimierung	21
5.4.    Modellabgleich	27
5.4.1.  Anpassung der hydraulischen Steuerung und Inbetriebnahme	27
5.4.2.  Experimentelle Untersuchungen der Prozesseinflüsse	28
5.4.3.  Numerische Untersuchung risskritischer Bereiche und der Prozesseinflüsse	32
5.4.4.  Untersuchung am dreidimensionalen Modell und Optimierung dessen	35
5.5.    Demonstrator	41
5.5.1.  Materialdatenaufnahme	41
5.5.2.  Demonstrator- und Werkzeugauslegung	45
5.5.3.  Demonstratorbauteil	47
6.....Zusammenfassung und Ausblick	49
7.....Verwendung der Zuwendung	50

7.1.	Verwendung der Zuwendung für das Jahr 2015	50
7.2.	Verwendung der Zuwendung für das Jahr 2016	50
7.3.	Verwendung der Zuwendung für das Jahr 2017	50
8.....	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	50
9.....	Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft	51
9.1.	Durchgeführte Transfermaßnahmen	51
9.2.	Geplante Transfermaßnahmen nach der Projektlaufzeit	52
9.3.	Einschätzung zur Realisierbarkeit des vorgeschlagenen und aktualisierten Transferkonzepts	53
10. ..	Darstellung des wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Nutzens der erzielten Ergebnisse insbesondere für KMU sowie ihres innovativen Beitrags und ihrer industriellen Anwendungsmöglichkeiten	53
	Abbildungsverzeichnis	54
	Literaturverzeichnis	56