

IGF-Forschungsvorhaben Nr. 17788 N

Laufzeit: 01.05.2013 – 30.04.2015

gefördert durch das



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

über die



Anwendung wirkmedienbasierter Verfahren zum Tiefziehen vom Papier und Karton

Schlussbericht

Juli 2015

Technische Universität Darmstadt
Fachgebiet Papierfabrikation und
Mechanische Verfahrenstechnik

Technische Universität Darmstadt
Institut für Produktionstechnik
und Umformmaschinen

Prof. Dr.-Ing. Samuel Schabel

Projektbearbeiter:
Dipl.-Ing. Paul Post

Prof. Dr.-Ing. Peter Groche

Projektbearbeiter:
M. Sc. Wilken Franke

1 Hintergrund und Motivation

Konsumenten sind heute an eine große Verpackungsvielfalt mit einem hohen Form- und Variantenreichtum gewöhnt. Studien belegen in diesem Zusammenhang, dass Verbraucher bereits anhand der Verpackung auf die Qualität der Ware schließen [2]. Neben Basisfunktionen, wie dem Schutz des Produktes und der Zweckmäßigkeit, müssen Verpackungen also insbesondere emotionale Reize auslösen. Während „die faktischen Eigenschaften die Kaufimpulse am POS [point of sale] nur zu ca. einem Drittel beeinflussen, [tragen] die emotionalen Eigenschaften der Verpackung [...] mit ca. zwei Dritteln den größten Anteil zum Kaufimpuls bei“ [3]. Die Verpackung ist somit ein Marketinginstrument und muss Kommunikationsfunktionen erfüllen, die gleichermaßen Werbung und Wiedererkennbarkeit umfassen. Dies hat dazu geführt, dass Verpackungen immer aufwändiger geworden sind. Komplizierte Formen, hochauflösende, teils Sonderfarben umfassende Drucke sowie die Verwendung von Materialkombinationen sind heute bei zahlreichen Verpackungen anzutreffen.

Die Herstellung von mehrdimensionalen Verpackungslösungen (oder auch Konstruktionsbauteilen) mit geschwungenen Geometrien aus Papier und Karton ist bislang jedoch nicht zufriedenstellend möglich.

Für die Produktion von geschwungenen Papierformteilen kommen prinzipiell Faserguss- oder Tiefziehverfahren in Frage. Letztere bieten energetisch sowie in Bezug auf die Stabilitäts- und Oberflächeneigenschaften des fertigen Produktes Vorteile, sind allerdings bislang kaum erforscht. Industrielle Papier-Tiefziehteile besitzen daher meist nur eine einfache Geometrie. Die Entwicklung neuer Formteile beruht auf Erfahrungen sowie auf kosten- und zeitintensiven Experimenten. Sie bewegt sich besonders im Hinblick auf die Erschaffung komplexerer Geometrien in engen Grenzen [4].

Der Einsatz von Simulationswerkzeugen zur Entwicklung neuer Produkte und zur Auslegung der Umformprozesse, wie z. B. in der Metallindustrie mittlerweile üblich, erfolgt bei Papier bisher nicht. Auch der Tiefziehprozess selbst hat sich seit Jahrzehnten nicht grundlegend verändert. Neue Prozessvarianten, wie z. B. wirkmedienbasiertes Tiefziehen, werden in der Papierumformung nicht industriell eingesetzt. Im Bereich der Metall- und Kunststoffverarbei-

tung zeigt sich jedoch, dass mit diesen Verfahren komplexere Geometrien in Verbindung mit höheren Umformgraden hergestellt werden können [5]¹.

Derzeitig verfügbare Papier- und Kartonqualitäten genügen nicht den Anforderungen, die moderne Umformverfahren zur Produktion anspruchsvoller Geometrien stellen. Sie besitzen eine stark begrenzte plastische Verformbarkeit, haben kaum thermoplastische Eigenschaften und sind stark anisotrop. Der nachhaltige Werkstoff Papier kann daher auf vielen Gebieten der Verpackungstechnik nicht bzw. nicht mehr mit Kunststoffen oder Metallen konkurrieren [6].

Bleiben Innovationen im Bereich der Produktentwicklung und der Produkteigenschaften aus, so besteht die Gefahr, dass tiefgezogene Papiergüter zusehends durch alternative Materialien ersetzt werden. Dies hätte negative wirtschaftliche Folgen für die papiererzeugenden und papierverarbeitenden Firmen. Auch wären negative Auswirkungen auf die hohe Altpapier-Einsatzquote der deutschen Papierindustrie, die einen erheblichen Beitrag zur Ressourcenschonung liefert, zu erwarten.


Ein Schlüssel zu innovativen Verpackungen und somit zum Erhalt und Gewinn wichtiger Marktanteile ist die Erweiterung der bisher stark begrenzten Formgebungsmöglichkeiten von Papier und Karton. Es ist davon auszugehen, dass optimierte Herstellverfahren und Umformprozesse zu einer erheblichen Verbesserung des Papierumformvermögens beim Tiefziehen führen können [7]. Hierzu bedarf es Verbesserungen des Werkstoffs, Erweiterungen der Produktgrenzen sowie verbesserter Produktentwicklungs- und Produktionsverfahren. All dies sind Ziele dieses Projekts.

¹ S. 349ff

5 Schlussfolgerungen

Ziel des Projektes war es, das Anwendungsspektrum von Tiefziehverfahren für den Werkstoff Papier durch die Schaffung rohstoff-, prozess- und auslegungsseitiger Grundlagen zu erweitern. Durch die vorliegenden Untersuchungen wurden hierzu wesentliche Informationen gewonnen. Mittels der wirkmedienbasierten Umformung ist es möglich, dreidimensionale Werkstücke aus Papier herzustellen und so das Anwendungsspektrum des nur bedingt formbaren Werkstoffs zu erweitern. Weiteres Steigerungspotential ergibt sich aus einer Drucküberlagerung im Umformprozess. Es konnte gezeigt werden, dass die zurzeit für Papier übliche experimentelle und damit kostenaufwendige Vorgehensweise bei der Entwicklung neuer Umformprodukte durch die gezielte Untersuchung der Bereiche Material, Werkstoffcharakterisierung, Prozessauslegung und Simulation verbessert werden kann. Anhand von vereinfachten Ansätzen der Materialmodellierung können – verbunden mit den entsprechenden Verfahren der Materialcharakterisierung – numerische Simulationen durchgeführt werden, die eine gezielte Auslegung der Prozesse und eine Optimierung der herzustellenden Geometrien ermöglichen. Für die Abbildung der Umformung in der Simulation genügt es, einen Tensile-Stiffness-Orientations-Test (TSO) sowie Zugversuche bei vier verschiedenen Feuchten durchzuführen und außerdem die Reibung zu untersuchen, wozu die Minima und Maxima des Parameterraums aus Feuchte, Temperatur, Flächenpressung und Geschwindigkeit benötigt werden. Schließlich empfiehlt es sich, ein sogenanntes Grenzformänderungsschaubild über die Hauptorientierungen zu bilden. Dies erlaubt es, anschaulich und schnell Aussagen über die Produzierbarkeit eines spezifischen Bauteils zu tätigen.

Basierend auf den vorliegenden Untersuchungsergebnissen lassen sich zudem Optimierungen des Papierherstellungsprozesses mit Blick auf die Umformung durchführen. Als vielversprechend haben sich hier insbesondere eine Kräuselung der Fasern mithilfe eines Dispergers sowie eine enzymatische Behandlung erwiesen. Auch eine – technisch allerdings besonders in Maschinenrichtung schwierig darstellbare – Schrumpfungsförderung während der Trocknung erhöht die Umformfähigkeit des Materials. Stärke, verschiedene Füllstoffe sowie Melassezugabe zeigten dagegen nur einen kleinen Effekt. Der Einfluss der Temperatur auf die Umformung konnte leider nicht abschließend bewertet werden. Tendentiell zeigten sich jedoch bessere Umformergebnisse mit steigender Werkzeugtemperatur. Eine erweiterte Abbildung der komplexen Wechselwirkung zwischen Temperatur und Feuchte auf die mechani-



schen Eigenschaften von Papier könnte die Vorhersage des Verhaltens in Umformprozessen weiter verbessern. Eine Wachsbeschichtung stellt eine hervorragende Möglichkeit dar, günstigen Einfluss auf den für die Umformung entscheidenden Parameter der Reibung zu nehmen. Hier wäre es zukünftig interessant, lokale Veränderungen des Reibwertes durch gezielten, stellenweisen Wachsauftrag zu untersuchen.

Der entwickelte Demonstrator verdeutlicht abschließend die Möglichkeiten des wirkmedienbasierten Umformens von Papier. Insbesondere werden die z.T. deutlich erweiterten Umformgrenzen bei gleichbleibender Oberflächengüte sichtbar. Bei der Herstellung des Demonstrators traten keine Falten auf. Ebenso wurde eine schädigungsfreie Demonstratoroberfläche erzeugt. Trotz der teils relativ stark gekrümmten Übergänge und der asymmetrischen Geometrie wurde Formfüllung erreicht.

Inhaltsverzeichnis

1	Hintergrund und Motivation.....	1
2	Stand der Forschung	3
2.1	Das Material Papier	4
2.2	Materialcharakterisierung und Beschreibung des Materialverhaltens von Papier ..	7
2.3	Umformprozess (Tiefziehen von Papier)	11
2.4	Eigene Arbeiten	14
3	Zielsetzung und Lösungsweg	18
3.1.1	Angestrebte Forschungsergebnisse	19
3.1.2	Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse	20
3.2	Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels.....	21
4	Versuchsdurchführung und Ergebnisse.....	22
4.1	Variation der einflussreichsten Materialparameter	22
4.2	Erweiterte Charakterisierung der Materialeigenschaften vor, während und nach der Umformung	30
4.3	Betrachtung des tribologischen Systems Papier-Werkzeug	44
4.4	Werkzeugauslegung und Entwicklung einer Versuchsgeometrie	50
4.5	Identifikation signifikanter Prozessparameter.....	54
4.6	Abbildung der Materialeigenschaften in der Simulation	57
4.7	Vergleich der Prozessvarianten	62
4.8	Entwicklung eines Demonstrators.....	67
5	Schlussfolgerungen	74
6	Mittelverwendung und Transfer in die Wirtschaft.....	75
6.1	Verwendung der Zuwendung	75
6.2	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	76
6.3	Nutzen und wirtschaftliche Bedeutung der Forschungsergebnisse für KMU	77

Voraussichtliche Nutzung der Forschungsergebnisse in KMU.....	77
6.4 Ergebnistransfer in die Wirtschaft.....	80
7 Tabellenverzeichnis.....	LXXXIV
8 Abbildungsverzeichnis	LXXXV
9 Literaturverzeichnis.....	XCI