

I. Virtuelle Absicherung des Umformprozesses von Holz-Oberflächen für Zierteile im Fahrzeug-Innenraum

David Zerbst¹, Sebastian Clauß²

¹ Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik, Lilienthalplatz 7, 38108 Braunschweig

² Mercedes-Benz AG, Research and Development, Benz-Straße 1, 71063 Sindelfingen

E-Mail: david.zerbst@dlr.de

Die dreidimensionale Formgebung von vliesstoffkaschierten Furnieren als Oberflächen von Zierteilen im Fahrzeug-Innenraum erfolgt über einen Umformprozess. Im folgenden Beitrag werden numerische Methoden zur Vorhersage der Umformbarkeit von Zierteil-Geometrien zur Reduzierung von Material- und Zeitaufwand im Fahrzeugentwicklungsprozess vorgestellt. Das lokale Verformungs- und Versagensverhalten ist stark abhängig von der individuellen Verteilung der Jahrringstruktur, die entsprechend im Modell zu berücksichtigen ist. Dazu wurde eine Mapping-Methode zur Übertragung von Früh- und Spätholz-zonen auf Basis von Grauwertbildern auf Finite-Elemente-Modelle entwickelt. Der eingeführte Modellierungsansatz wurde anhand des Umformprozesses eines Bauteils nach dem gängigen Verfahren der Serienfertigung bei der Mercedes-Benz AG validiert. Die numerische Analyse von digitalen Zwillingen der Umformproben zeigten dabei in hoher Übereinstimmung die charakteristische Faltenbildung, die sich auch in der realen Umformung einstellte.

Schlüsselwörter: Furnier, Umformung, numerische Simulation

Einleitung

Holzoberflächen werden hauptsächlich in Form von Zierteilen im Fahrzeug-Innenraum integriert. Als gängiger Aufbau für Zierteile haben sich Dekoroberflächen aus vliesstoffkaschiertem Furnier auf einem hintspritzten Kunststoffträger durchgesetzt. Die dreidimensionale Formgebung des Verbundes aus

Furnier und Vliesstoff erfolgt in einem Umformprozess. Grundsätzlich werden die kaschierten Furniere unter erhöhter Feuchte und Temperatur in einem Stahlwerkzeug, bestehend aus einer Positiv- und einer Negativform, umgeformt (Abb. 1).

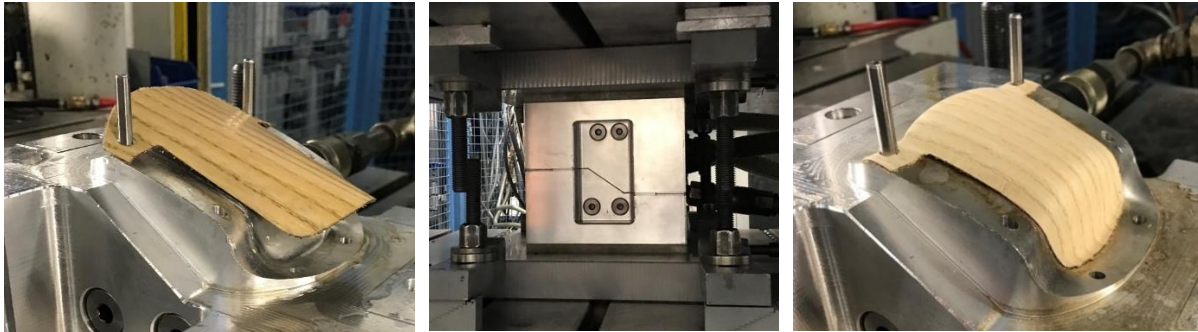


Abb. 1: Umformung einer Zierteiloberfläche aus kaschiertem Eschenholz-Furnier

Die Gestaltung und die technologische Umsetzung neuer Bauteilgeometrien mit Furnier wird durch die mechanischen Eigenschaften der Hölzer begrenzt. Das Verformungsverhalten von Holz ist stark abhängig von der Orientierung der Fasern sowie der Materialfeuchte und -temperatur. Zudem unterliegen die physikalischen Parameter von Holz, als biologischem, gewachsenen Material starken natürlichen Schwankungen. Insbesondere die wachstumsbedingten Dichteveränderungen der Jahrringe führen zu lokalen Riss- und Faltenbildungen während der Umformung. Dennoch unterliegt auch das Naturmaterial Holz bei der Entwicklung neuer Fahrzeuggenerationen dem gestalterischen Wunsch, immer wieder neue Designs und Formen darzustellen. Insbesondere für die Ausformung stark dreidimensionaler Geometrien mit großen Tiefziehwegen und engen Radien ist die Abschätzung der Herstellbarkeit sehr aufwendig. In der Entwicklungsphase müssen bisher bei komplexen Geometrien Prototypenwerkzeuge erstellt werden, um ein riss- und faltenfreies Umformergebnis abzusichern. Bis zur Erstellung von Werkzeugen für den serienreifen Prozess mit großen Stückzahlen können mehrere Iterationsschleifen mit Anpassungen der Prototypenwerkzeuge zur Formfindung notwendig sein.

Dieser Entwicklungsprozess ist sehr zeit- und kostenaufwendig. Die Vorhersage mit Methoden der numerischen Simulation zur virtuellen Auslegung der Umformgeometrie birgt daher großes Potenzial für Einsparungen von Entwicklungszeit und dem Einsatz von materiellen Ressourcen. Existierende Methoden

zur Modellierung von Holz beschränken sich bisher eher auf bauingenieurwissenschaftliche Fragestellungen, wie zum Beispiel die Vorhersage von Steifigkeiten und Festigkeiten von Tragwerken (*Füssl et al., 2019*). Im Rahmen einer Forschungsarbeit bei der Mercedes-Benz AG wurden daher Methoden für die numerische Simulation des Umformvorgangs zur realitätsnahen Erfassung des Werkstoffverhaltens von kaschierten Furnieren auf Basis der finite-Elemente-Methode entwickelt. In dieser Arbeit wird die Anwendung der Methodik zur virtuellen Auslegung des Umformprozesses in der Fahrzeugentwicklung anhand einer Zierteilgeometrie demonstriert.

Die Furnierstruktur im FE-Modell

Die mechanischen Eigenschaften von Holz werden im Allgemeinen als orthotrop angenommen. Dabei unterscheiden sich die mechanischen Eigenschaften longitudinal zur Ausrichtung der Fasern (L), und radial (R), sowie tangential (T) zu den Jahrringen. Somit rotiert das orthotrope Koordinatensystem mit den Jahrringen im Stammquerschnitt (Abb. 2). Für dünne Furnierschichten ist der Jahrringwinkel relativ zur Furnierebene jedoch nicht mehr zu unterscheiden. Zudem sind die elastischen Konstanten über die geringe Dicke des Furniers nur mit hohem Aufwand zu bestimmen und unterscheiden sich weiterhin in den Einzelschichten des Laminats – Vliesstoff und Furnier. Daher wird das Material als transversal-isotrop angenommen, mit den beiden Hauptrichtungen parallel (1) und senkrecht (2) zur Holz-Faserrichtung in der Materialebene und der Dickenrichtung (3). Die Materialeigenschaften in den Richtungen 2 und 3 werden als gleich angenommen und sind somit rotationssymmetrisch um die Faserlängsachse (Abb 2).

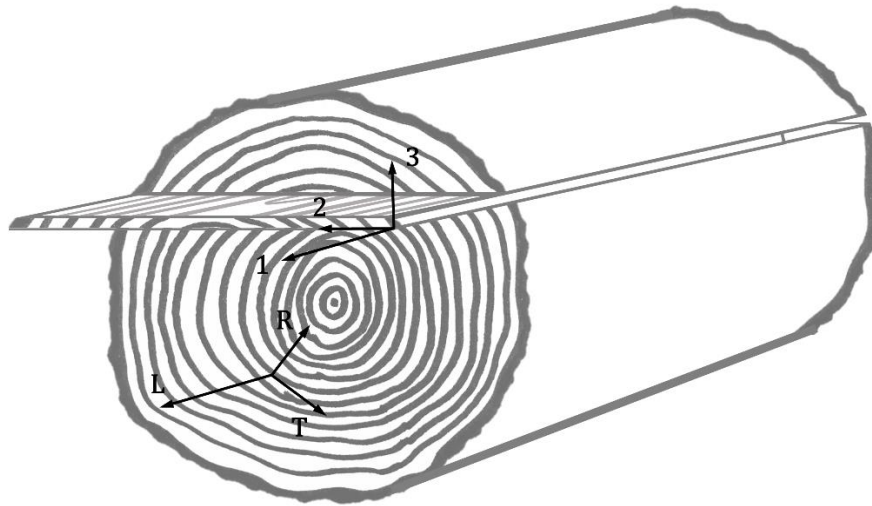


Abb. 2: Orthotropes Koordinatensystem am Stamm und transversal-isotropes Koordinatensystem am Furnierblatt

Neben der globalen Richtungsabhängigkeit, ist das Materialverhalten von Holz, insbesondere für ringporige Holzarten wie Esche, stark abhängig von der Verteilung der Früh- und Spätholzzonen. Die Frühholzzone eines Eschenholz-Furnierlaminates unterscheidet sich vom Spätholz durch die niedrigere Dichte und damit verbundene niedrigere Steifigkeit und Festigkeit.

In dieser Arbeit wurde ein Mapping-Schema angewandt, um diese unterschiedlichen Eigenschaften von Früh- und Spätholz im FE-Modell zu berücksichtigen. Die Frühholzzone von Eschenholzfurnieren erscheinen dunkler gegenüber dem helleren Spätholz. Grund dafür sind vor allem größere Gefäßdurchmesser. Die visuelle Unterscheidung der beiden Wachstumszonen kann also über deren Helligkeit bzw. deren Grauwert erfolgen. Auf diesem Prinzip basierend wurde in *Zerbst et al. (2020b)* eine Programmroutine für das Mapping-Tool Envyo (DYNAMORE GmbH) entwickelt, um Früh- und Spätholzzonen von Furnierblättern zu diskretisieren (Abb. 3). Folgende Prozessschritte werden dabei durchlaufen:

1. Aufnahme eines Bildes einer Furnieroberfläche,
2. Erstellung eines Grauwertbildes im PGM-Format,
3. Erzeugung einer Punktwolke aus den Grauwerten der Pixel,
4. Ausrichtung mit dem Zielnetz und
5. Zuweisung von Elementen zu Zonen (bzw. Parts) für Früh- und Spätholz auf Basis eines Schwellwertes für den Grauwert.

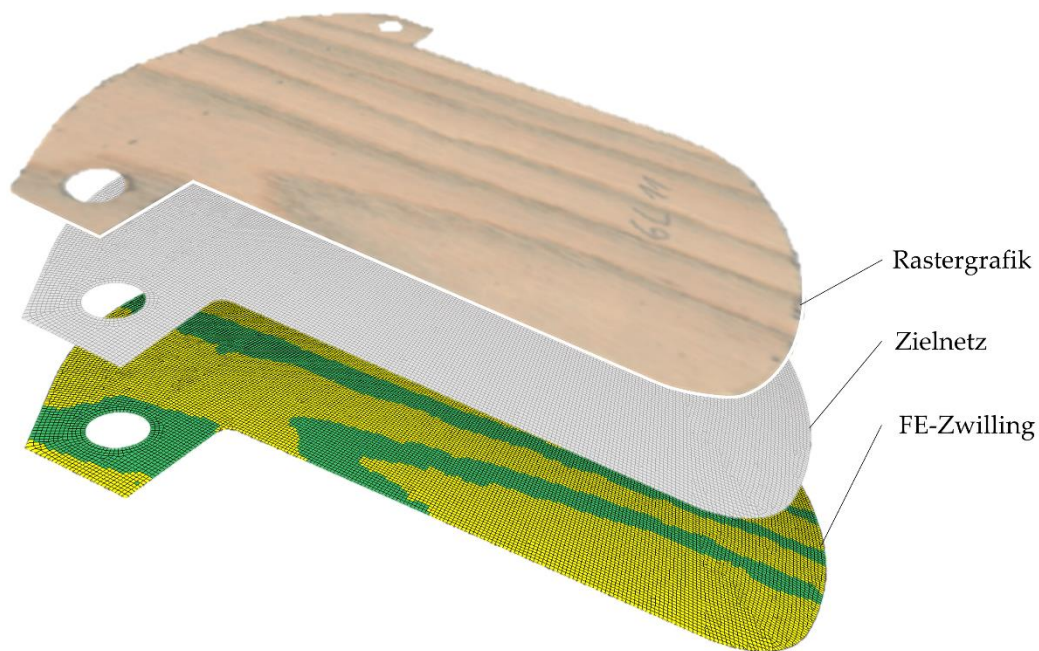


Abb. 3: Mapping-Prozess von Früh- und Spätholz auf FE-Netz

Die Diskretisierung des Jahrringes in zwei Zonen erfordert separate Materialparameter, um die lokalen mechanischen Eigenschaften in der Simulation zu berücksichtigen. Zudem müssen die Parameter auf den verwendeten Diskretisierungsansatz kalibriert werden. Daher wurden Reverse-Engineering-Methoden eingesetzt, um auf Basis von Versuchsdaten Parameter für Früh- und Spätholz-Materialkarten abzuleiten (Zerbst *et al.*, 2020b). Als Zieldaten für die Kalibrierung der lokalen Materialkarten wurden Zugversuche unter erhöhter Feuchtigkeit aus Zerbst *et al.* (2020a) verwendet, um einen Zustand nahe an den Umformbedingungen abzubilden.

Umformung Experiment vs. Simulation

Die entwickelte Prozesskette für den Modellaufbau wurde in der Umformsimulation eines Bauteils angewendet (Zerbst *et al.*, 2021). Für die Validierung der eingeführten Methoden in einem konkreten Umformszenario wurde ein Bauteil aus dem laufenden Serienprozess der Baureihe Mercedes-Benz X167 (GLS) gewählt. Zunächst wurden vliesstoffkaschierte Proben umgeformt. Diese Umformung stellt den Absicherungsprozess dar, der simulativ zu ersetzen ist (Abb. 1). Für die Proben wurden 10 Eschenholz-Furniere mit unterschiedlicher Ausprägung der Holztextur ausgewählt, um den Einfluss der individuellen Anordnung von Früh- und Spätholzzonen auf die Umformergebnisse zu analysieren.

Über das Grauwert-Mapping wurden Finite-Elemente-Zwillinge der Umformproben erstellt. Die Simulation des Umformvorgangs erfolgte in zwei Stufen. Über eine Schwerkraftsimulation wurde zunächst die realitätsnahe Positionierung und Durchbiegung des Rohteils im Umformwerkzeug realisiert. Das Schließen der als Starrkörper modellierten Werkzeughälften induzierte die Umformung des Rohteils. Die Ergebnisse der Umformsimulationen wurden dann mit den Einzelergebnissen der realen Umformung verglichen, um die entwickelten Methoden final auf ihre Anwendbarkeit im Absicherungsprozess von Zerteilen mit Holzoberflächen zu bewerten.

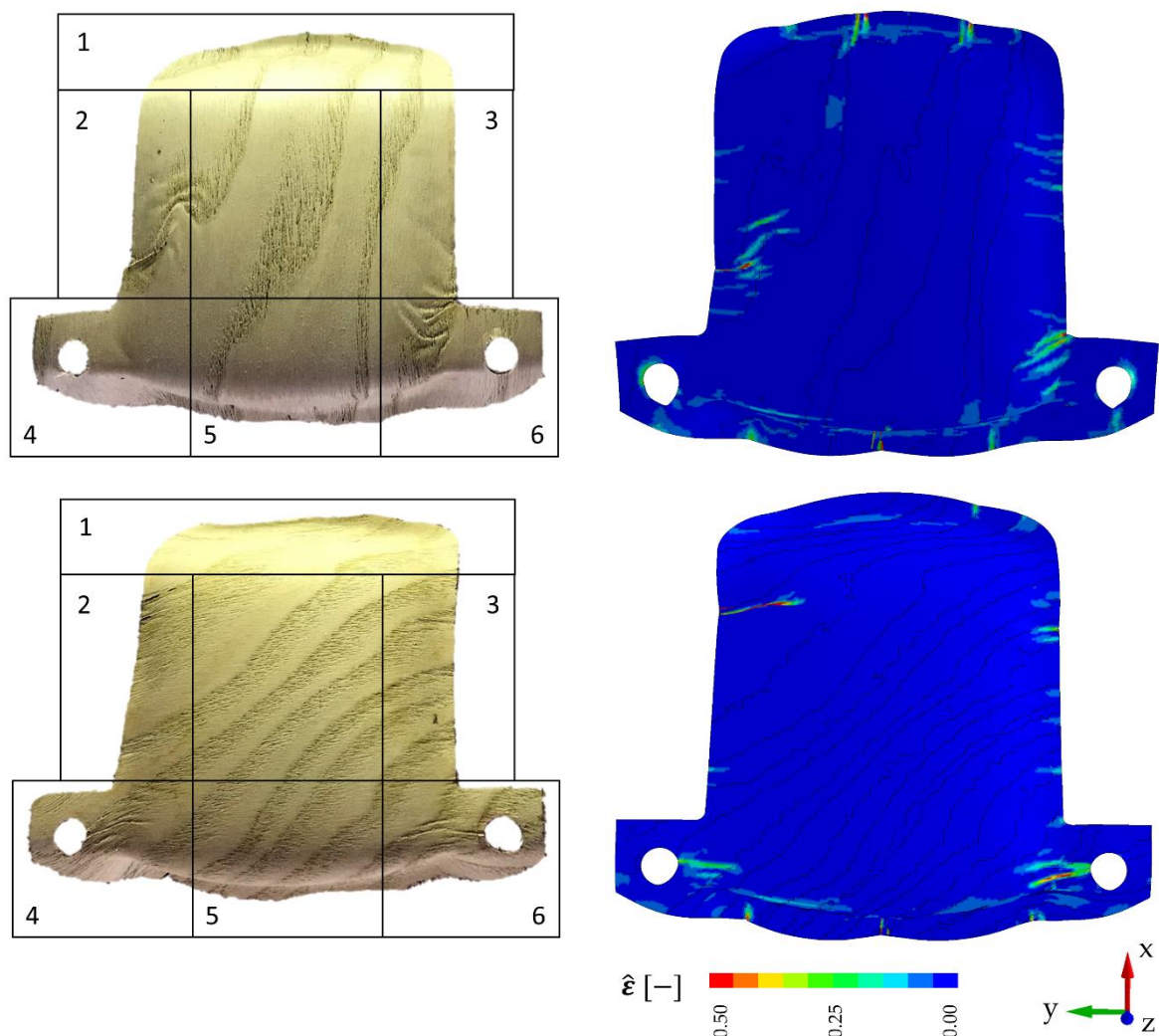


Abb. 4: Gegenüberstellung der Umformergebnisse von Versuch und Simulation

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Anwendung der entwickelten Methoden in der Umformsimulation eines Bauteils zeigte eine sehr gute Korrelation mit realen Umformversuchen. Die

Parameter der kalibrierten Materialkarten sichern das Werkstoffverhalten unter erhöhter Feuchtigkeit und damit den kritischeren Fall ab, da im Prozess die Dehngrenzen durch die erhöhte Werkzeugtemperatur zusätzlich erhöht werden. Die grundsätzliche Umformbarkeit der Proben konnte in der Simulation sehr gut abgebildet werden, indem die kritischen Faltenbildungen zuverlässig erfasst wurden (Abb. 4). Die hohe Korrelation zwischen Simulationen und Experimenten in der Umformsimulation mit variierenden Chargen und Mustern zeigte, dass das Deformations- und Bruchverhalten vor allem auf die relativen Unterschiede zwischen Früh- und Spätholz zurückzuführen ist. Damit wurde gezeigt, dass der Modellierungsansatz mit der Diskretisierung der strukturellen Unterschiede der Zonen des Jahrringes die wesentliche Einflussgröße zur Abbildung des Deformationsverhaltens von vliesstoffkaschiertem Eschenholz furnier erfasst.

Auf Basis der Simulationsergebnisse kann die Umformbarkeit einer Bauteilgeometrie bewertet werden. Es können unterschiedliche Probenbeschnitte und Haltepunkte in der Simulation variiert werden und es können Vorschläge für Anpassungen an den Werkzeugen abgeleitet werden. Damit bildet die erarbeitete Methodik die Grundlage zur vollständig virtuellen Absicherung und Optimierung der Fertigung von Zerteilen mit Holzoberflächen im Fahrzeugentwicklungsprozess.

Quellen

Füssl J, Lukacevic M, Pillwein S, Pottmann H (2019) Computational Mechanical Modelling of Wood—From Microstructural Characteristics Over Wood-Based Products to Advanced Timber Structures. In: Bianconi F, Filippucci M (Hrsg) Digital Wood Design. Innovative Techniques of Representation in Architectural Design, Bd 24. Springer International Publishing, Cham, S 639–673

Zerbst D, Affronti E, Gereke T, Buchelt B, Clauß S, Merklein M, Cherif C (2020a) Experimental analysis of the forming behavior of ash wood veneer with nonwoven backings. *Eur. J. Wood Prod.* 65(7):107

Zerbst D, Liebold C, Gereke T, Haufe A, Clauß S, Cherif C (2020b) Modelling Inhomogeneity of Veneer Laminates with a Finite Element Mapping Method Based on Arbitrary Grayscale Images. *Materials (Basel)* 13(13)

Zerbst D, Liebold C, Gereke T, Clauß S, Cherif C (2021) Numerical Simulation of the Forming Process of Veneer Laminates. *Journal of Composites Science* 5(6): 150