



Ralph Stelzer (Hrsg.)

ENTWERFEN ENTWICKELN ERLEBEN 2016

Beiträge zur virtuellen Produktentwicklung
und Konstruktionstechnik

Ralph Stelzer (Hrsg.) **ENTWERFEN ENTWICKELN ERLEBEN** 2016
Beiträge zur virtuellen Produktentwicklung und Konstruktionstechnik

Ralph Stelzer (Hrsg.)

ENTWERFEN ENTWICKELN ERLEBEN 2016

Beiträge zur virtuellen Produktentwicklung
und Konstruktionstechnik

Dresden · 30. Juni – 1. Juli 2016

Programmkomitee Virtuelle Produktentwicklung und Konstruktionstechnik

Prof. Dr. Ralph Stelzer, TU Dresden

Prof. Dr. Michael Abramovici, Ruhr-Universität Bochum

Prof. Dr. Reiner Anderl, TU Darmstadt

Prof. Dr. Martin Eigner, Universität Kaiserslautern

Prof. Dr. Detlef Gerhard, TU Wien

Prof. Dr. Jivka Ovtcharova, KIT Karlsruhe

Prof. Dr. Rainer Stark, TU Berlin

Prof. Dr. Sandor Vajna, Universität Magdeburg

Prof. Dr. Sandro Wartzack, Universität Erlangen

Entwickeln – Entwerfen – Erleben 2016.
Beiträge zur Virtuellen Produktentwicklung und Konstruktionstechnik
Herausgeber: Ralph Stelzer

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind
im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek
The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche
Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the
Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

ISBN 978-3-95908-062-0

© 2016 w.e.b. Universitätsverlag & Buchhandel
Eckhard Richter & Co. OHG
Bergstr. 70 | D-01069 Dresden
Tel.: 0351/47 96 97 20 | Fax: 0351/47 96 08 19
<http://www.tudpress.de>

TUDpress ist ein Imprint von w.e.b.

Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.
Layout und Satz: Technische Universität Dresden.
Umschlaggestaltung: TU Dresden, Illustration © 2016 TU Dresden
Printed in Germany.

Erscheint zugleich auf QUCOSA der SLUB Dresden
<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-203878>



© 2016 SAP SE oder ein SAP-Konzernunternehmen. Alle Rechte vorbehalten.



KOMPLEXITÄT DREHT SICH IMMER NUR IM KREIS.



EINFACH TRIFFT ENTSCHEIDUNGEN.

Komplexität bremst Ihr Business aus. Denn je gewaltiger die Informationsflut, desto schwieriger die Entscheidungsfindung. SAP arbeitet daran, Dinge zu vereinfachen. Damit aus Daten Wissen und aus Wissen fundierte Entscheidungen werden, die Ihr Unternehmen weiterbringen. Finden Sie heraus, wie gemeinsam einfach möglich wird auf sap.de/runsimple

SAP® Run Simple

Nutzbarmachung des Potentials naturfaserbasierter Werkstoffe als Leichtbau- bzw. Konstruktionsmaterial

Timo Kuntzsch · Frank Miletzky

Einleitung

Ein wachsender Bedarf an nachhaltig verfügbaren Rohstoffen und knapper werdende Rohöressourcen steigern die wirtschaftliche Bedeutung natürlicher Faserstoffe. Das eröffnet neue, über den traditionellen Einsatz von Papier hinausgehende Anwendungen für cellulosische Fasern, beispielsweise in maßgeschneiderten 3D-Verpackungslösungen, im Leichtbau oder in Konstruktionswerkstoffen.

Bei der Erschließung neuer Anwendungsbereiche steht neben der zentralen Kostenfrage das Ziel im Vordergrund, die Bauteile technologisch effizient herzustellen. Dafür sollen weitestgehend etablierte Technologien für die Verarbeitung der eingesetzten Halbzeuge einsetzbar sein, z.T. sind aber auch neue Technologien erforderlich, wie z.B. integriertes Fügen und Umformen. Diese Entwicklungen sind nicht auf die oft als Vorreiter angesehene Automobilbranche beschränkt, sondern betreffen z.B. auch die Möbelbranche, die Baustoffindustrie und zunehmend auch die Papierwirtschaft.

Bedingt durch die Dynamik in der Produktentwicklung nimmt der gezielte, planerische Entwurf einen wachsenden Stellenwert ein. Der Einsatz geeigneter Simulationssoftware, meist auf der Grundlage der Finite-Element-Methode (FEM), ist dabei im modernen Konstruktionsprozess unumgänglich und insbesondere im Maschinenbau und Bauingenieurwesen gängige Praxis. Dafür muss für die einzelnen Materialien eine Werkstoffcharakterisierung in Form von Materialmodellen bzw. -gesetzen vorliegen, die zur Erfassung dreidimensionaler Spannungs- und Verformungszustände geeignet sind.

An der Papiertechnischen Stiftung werden umfassende Forschungsarbeiten zum Einsatz papierfaserbasierter Materialien in den beschriebenen neuen

Anwendungsfeldern durchgeführt. Dazu erfolgte die Entwicklung neuer Prüfvorrichtungen und -methoden, die es gestatten, auch schwer zugängliche Materialkennwerte dünner, faserhaltiger Werkstoffe zu bestimmen, für die zuvor keine geeigneten, praxistauglichen Messmethoden verfügbar waren. Basierend auf den ermittelten werkstoffmechanischen Kenngrößen wurden je nach Anwendungsfall Materialgesetze formuliert, die einen Einsatz in Simulationsmodellen z.B. mittels (kommerzieller) FE-Software gestatten. Mit Hilfe dieser Werkzeuge wird es nunmehr möglich, die Eignung bestimmter Materialien sowohl bzgl. der geforderten Produkteigenschaften als auch für praxisübliche Verarbeitungsprozesse, wie z.B. Umformen, zu bewerten und Empfehlungen für notwendige Eigenschaftsprofile abzuleiten.

Dabei stehen nicht nur bereits verfügbare Materialien im Fokus. Vielmehr werden Weiter- bzw. Neuentwicklungen von Materialien, basierend auf gezielt eingestellten Faserstoffen und Fasernetzwerkstrukturen angestrebt, wofür auch neue Ansätze der Fasermodifikation und neue technologische Ausrüstungen im Faserstofftechnikum der PTS untersucht werden.

Skalenbetrachtung bei der Entwicklung mechanischer Modelle

Die erforderliche Detailliertheit mechanischer Modelle orientiert sich an Art und Umfang der Aufgabenstellung. Dafür wird die Skalenbetrachtung herangezogen. Für das Material Papier eignen sich folgende Betrachtungsebenen:

- Mikroskopische Betrachtung: Fasernetzwerk-Feinstruktur
- Mesoskopische Betrachtung: Ein- bzw. Mehrschichtaufbauten mit (lagenweise) homogenisierten Eigenschaften
- Makroskopische Betrachtung: Analyse des Produktverhaltens unter Berücksichtigung der ggf. komplexen dreidimensionalen Geometrie

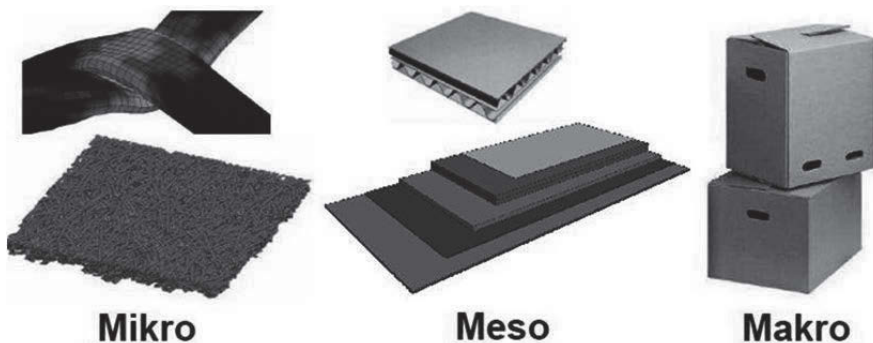


Abbildung 1: Skalenbetrachtung auf Mikro-, Meso- und Makroebene

Für die Materialauswahl und Dimensionierung ist die *mesoskopische Betrachtungsebene* maßgeblich. Hierfür werden einzelnen Schichten homogenisierte Eigenschaften zugeordnet, wobei die Feinstruktur vernachlässigt wird. Basierend auf den kontinuumsmechanischen Grundlagen können dann physikalische Größen, z.B. Verschiebungen und Spannungen, die sich bei einer äußeren Lasteinwirkung ergeben, mit Hilfe der Finite-Element-Methode berechnet werden. Anhand der Materialkenngrößen bzw. Materialgesetze können einerseits geeignete Werkstoffe für einen bestimmten Einsatzzweck ausgewählt werden. Andererseits kann anhand von Simulationsrechnungen deren Eignung für relevante Verarbeitungsschritte bewertet werden. Es ist daher zwingend notwendig, gerade für neuentwickelte Werkstoffe bzw. bei neuen Einsatzgebieten eine adäquate Materialbeschreibung zur Verfügung zu haben. Bei naturfaserbasierten papierartigen Materialien sind Umformprozesse zur Verarbeitung von Halbzeugen, teilweise auch von Mehrlagenverbunden verschiedener Materialein, besonders kritisch. Konventionelle Papiere sind hierfür oft ungeeignet. Das Potential nachhaltig verfügbarer Rohstoffe ist daher noch nicht in großem Umfang nutzbar. Zur Unterstützung der notwendigen Entwicklungsarbeiten sind ein verbessertes Materialverständnis und die Bereitstellung entsprechender Kenndaten unabdingbar.

Auf *makroskopischer Ebene* werden die Erfordernisse an die Produkteigenschaften durch die jeweiligen Anwendungen definiert. Da aber im Bereich papierartiger Materialien oft (noch) geeignete Kennwerte bzw. Methoden fehlen, kann die Eignung der Rohmaterialien in den Endprodukten nicht hinreichend im Vorfeld abgeschätzt, sondern nur per Trial-and-Error anhand aufwändiger Versuche bestimmt werden. Das betrifft sowohl etablierte Anwendungen wie Transportverpackungen als auch neue Einsatzgebiete von z.B. Papieren in Leichtbau-Sandwichkonstruktionen. Gerade im Bereich der Transportverpackungen wird oft lieber deutlich überdimensioniert und damit auf eine Kostenreduzierung verzichtet, als im Einzelfall teure, zeitintensive Langzeitmessungen durchzuführen. Ein verbessertes Verständnis notwendiger Auslegung könnte hier deutliche Einsparungen bringen.

Die Charakteristik der *Feinstruktur auf der Mikroebene* liefert den Link zur Auswirkung gezielter Maßnahmen zur Steuerung bzw. Einstellung der Materialeigenschaften für einen bestimmten Einsatzzweck oder Verarbeitungsschritt. Die Auswirkungen einer veränderten Rohstoffzusammensetzung, einer gezielten Fasermodifikation oder technologischer Maßnahmen bei der Erzeugung schlagen sich über veränderte Verteilungen der Einzelfaser- und Faserbindungseigenschaften in der Netzwerkstruktur wieder und können sowohl die mittleren Materialkennwerte als auch deren Homogenität deutlich beeinflussen. Aktuelle Entwicklungsarbeiten zielen u.a. darauf

ab, Festigkeiten zu erhöhen (Flächenmassereduzierung und Materialeinsparungen), die Empfindlichkeit gegenüber Feuchteinflüssen zu verringern (Dimensionsstabilität, Planlage), und nach Möglichkeit thermoplastische Eigenschaften für gezielt steuerbare Umformbarkeit von Papieren einzustellen.

Ein verbessertes Materialverständnis und die Verfügbarmachung geeigneter Konstruktionswerkzeuge ermöglichen es, die Vorteile der papiertechnologischen Fertigungsmethoden zur Erzeugung maßgeschneiderter dünner Schichtmaterialien mit definierter Zusammensetzung, Festigkeit, Formbarkeit, Durchströmungsverhalten und Porengrößenverteilungen noch besser für neue Anwendungen naturfaserbasierter Materialien verfügbar zu machen.

Charakterisierung des Materialverhaltens faserbasierter Werkstoffe

Bedingt durch die Beschaffenheit der Rohstoffe und die Einflüsse der Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse auf die entstehenden Fasernetzwerkstrukturen weisen Papierwerkstoffe ein sehr komplexes Materialverhalten auf (Abbildung 2).

Ein wesentlicher Aspekt ist die starke Richtungsabhängigkeit der Eigenschaften, die aus der bevorzugten Faserorientierung in der sog. Maschinenrichtung (MD) in der Blattebene und senkrecht zur Blattdickenrichtung resultiert. Damit verbunden ist eine starke Richtungsabhängigkeit der mechanischen Eigenschaften, bei denen ein orthotropes Materialverhalten zugrunde gelegt werden kann, aber auch die Dimensionsstabilität infolge von Feuchteaufnahme und -abgabe der stark hygroskopischen Cellulosefasern. Neben der damit einhergehenden Hysterese der Feuchteaufnahme in Abhängigkeit der Umgebungsbedingungen ist auch eine ausgeprägte mechanische Hysterese zu beachten. Insbesondere bei wiederholten Be- und Entlastungszyklen beispielsweise infolge mechanischer Beanspruchungen bei Verarbeitungsprozessen können signifikante bleibende Deformationen und ggf. Schädigungen auftreten, welche die Tragfähigkeit z.B. von Verpackungen stark reduzieren können. Weiterhin zu berücksichtigen ist das zeitabhängige viskoelastische und viskoplastische Verhalten, so dass gerade bei schnellen stoßartigen Belastungen bzw. statischen Langzeitbelastungen (Kriechprozesse), ein Verhalten zu beobachten ist, was bei Laborversuchen, die nur bei einer Prüfgeschwindigkeit erfolgen, nicht vollständig abgebildet werden kann. Beide Phänomene sind u.a. relevant für Transportverpackungen.

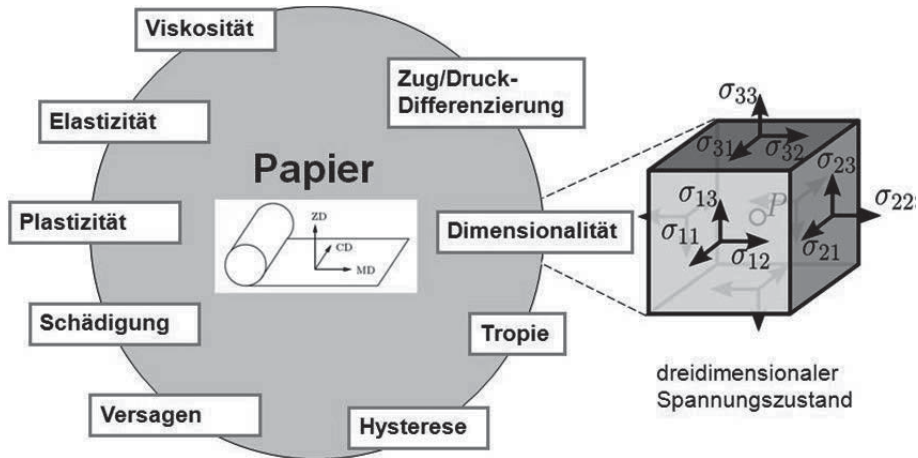


Abbildung 2: Relevante Aspekte für die kontinuumsmechanische Materialbeschreibung papierartiger Werkstoffe

Bei komplexen Umformprozessen, für die naturfaserbasierte, ressourcenschonende Faserwerkstoffe zunehmend interessant sind, ist das Materialverhalten bei Schubbeanspruchung In-plane und Out-of-Plane wichtig. Aus diesem Grund wurden an der PTS entsprechende Prüfmethoden für dünne, faserhaltige Werkstoffe entwickelt und erprobt (Out-of-Plane-Schub s. Abbildung 3, In-Plane-Beanspruchung s. Abbildung 4).

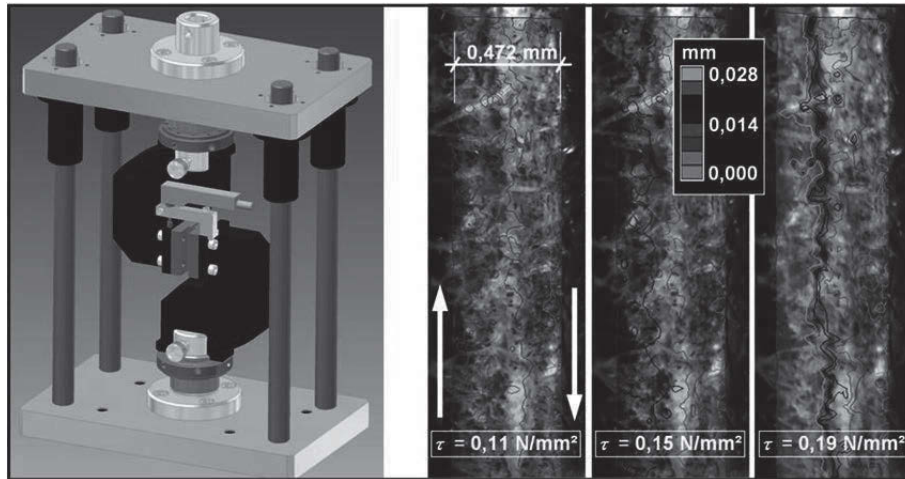


Abbildung 3: Prüfvorrichtung zur Out-of-Plane-Schubverformung und Versuchsauswertung mittels optischer Dehnfeldanalyse (Matheas 2015)

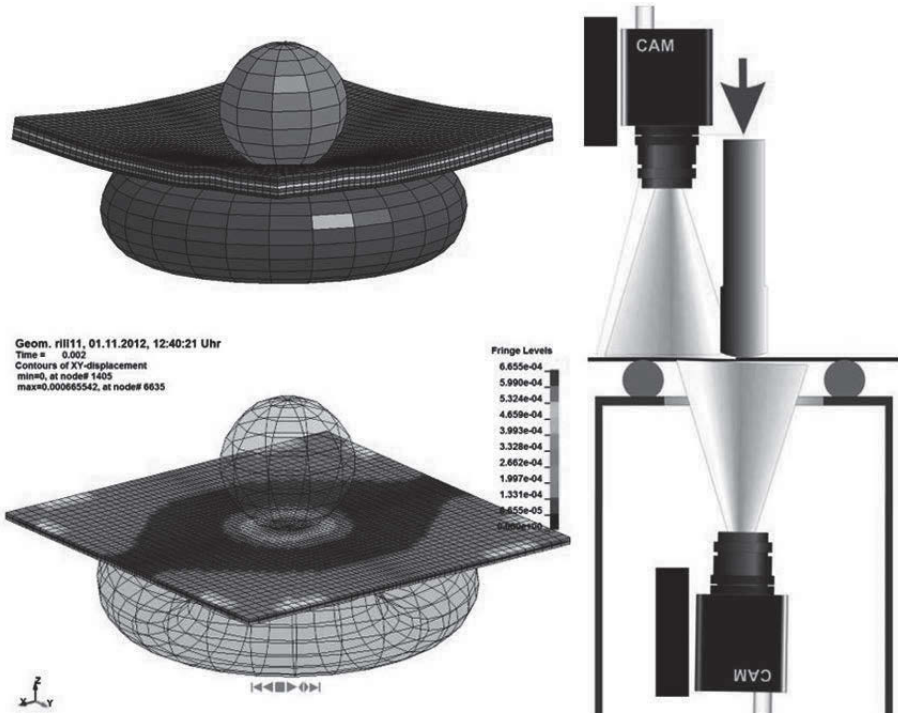


Abbildung 4: Untersuchung des Verformungsverhaltens beim initialen Tiefziehen insbesondere im Hinblick auf In-plane-Schubdeformationen mittels einer Kugel/Torus Prüfanordnung (Quelle: aktuelles PTS Forschungsprojekt IK-VF 130044)

Bedingt durch die ungleichmäßige Verteilung von Fasern und Füllstoffen im Fasernetzwerk resultieren mehr oder weniger große Inhomogenitäten der optischen Erscheinung (Formationseffekte oft im cm-Bereich) wie auch bezüglich der mechanischen Eigenschaften. Zur Aufklärung dieser Inhomogenitäten wurde in verschiedenen Fällen begleitend zu den mechanischen Versuchen das auftretende Dehnfeld mit Hilfe einer optischen Dehnfeldanalyse erfasst. So zeigte sich bei der Bewertung der Umformbarkeit von Kartonen, die außerdem noch im Zugversuch untersucht wurden, dass ein schlecht umformbarer Karton eine deutlich inhomogenere Dehnungsverteilung mit bereits beginnender Lokalisierung als gut umformbare Kartone aufwies (Abbildung 5, bei jeweils gleicher Dehnung).

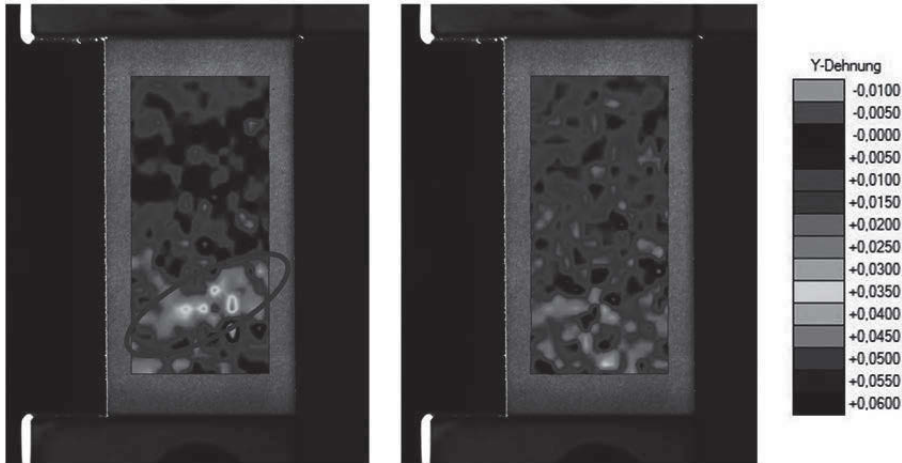


Abbildung 5: Ergebnis einer optischen Dehnfeldanalyse mit beginnender Lokalisierung für eine schlecht umformbare Probe (links) während die gut umformbare Probe ein homogeneres Dehnfeld aufweist (jeweils ca. 2% Dehnung in Zugrichtung; Bruchdehnung jeweils ca. 4%)

Anwendungen der simulationsgestützten Materialentwicklung

Im Folgenden werden anhand von Forschungsergebnissen mit Anwendungsbeispielen wesentliche Schritte vorgestellt, wie das Potential papierfaserbasierter Werkstoffe für neue Anwendungsbereiche nutzbar gemacht werden kann:

- Werkstoffcharakterisierung und Eignungsbewertung im Hinblick auf die Anforderungen der Endprodukte (z. B. Festigkeit von Papieren in Sandwichkonstruktionen für den Flugzeugbau, Langzeittragverhalten von Verpackungen und Dimensionsstabilität bei Klimaänderungen) und der Verarbeitungsprozesse (z. B. komplexe Umformung beim Rillen, Falzen oder Tiefziehen)
- Ansätze für die gezielte Gestaltung und Einstellung von Materialeigenschaften auf der Ebene der Mikrostruktur (Fasereigenschaften und Fasernetzwerkstruktur) unter Anwendung geeigneter Methoden der Strukturcharakterisierung und -simulation

a) Beurteilung der Umformbarkeit faserbasierter Materialien

Im Rahmen einer umfangreichen Studie zur Umformbarkeit faserbasierter Materialien wurden mehrere Messverfahren zur Bewertung des mechanischen Verhaltens allgemein dünner Werkstoffe entwickelt und getestet. Die Messergebnisse wurden in den Kontext der Simulation eines für Faltschach-

telkarton (mehrschichtiger Karton) wichtigen Umformverfahrens, dem Rillen, gestellt, wofür numerische Modelle und eigene Materialgesetze aufgebaut wurden (Abbildung 6). Für die Messung des Out-of-plane-Schubverhaltens wurde ein Versuchsstand konstruiert, gebaut und erfolgreich getestet (Abbildung 3). Weiterhin wurden neue Versuche zur Untersuchung des Verhaltens bei zyklischer Zug-/Druckbeanspruchung in Dickenrichtung konzipiert. Bei diesen Messverfahren, denen teilweise recht komplexe Berechnungsverfahren zur Auswertung der Messdaten angeschlossen sind, handelt es sich um Versuche, die eine Bewertung der Umformbarkeit anhand grundlagenmechanischer Kennwerte zulassen (Abbildung 7).

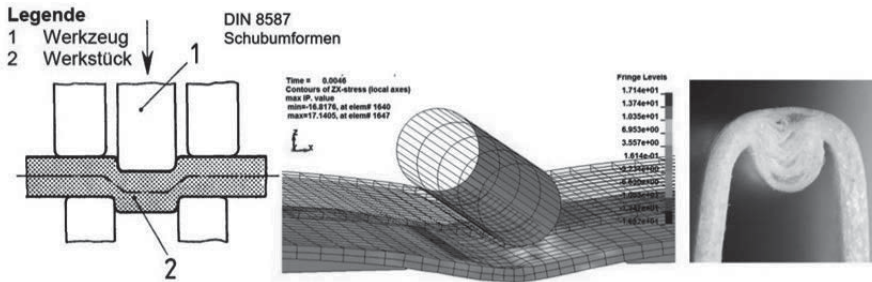


Abbildung 6: Simulationsgestützte Untersuchung des Verformungsverhaltens anhand des Rillens von Faltschachtelkarton (Matheas 2015)

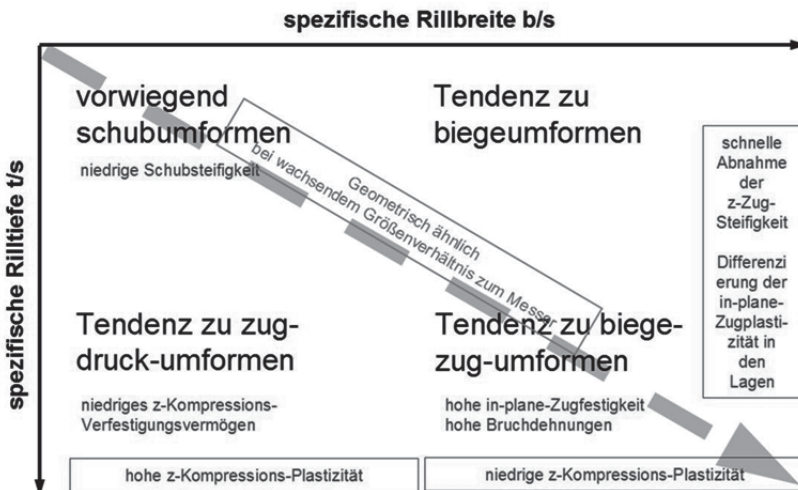


Abbildung 7: Bewertung des Umformverhaltens anhand von grundlagenmechanischen Kennwerten am Beispiel des Rillbarkeitsbereiches unter Berücksichtigung der Rillgeometrie (Matheas 2015)

Eine Untersuchung des Einflusses der Mikrostruktur auf das mesoskopische Materialverhalten ist mittels der Mikrostruktursimulation möglich. Abbildung 8 zeigt ein Fasernetzwerkmodell und eine beispielhaft für eine Simulation der Kompression in Dickenrichtung berechnete Kraft-Weg-Charakteristik. Mit diesem Vorgehen kann einerseits untersucht werden, wie sich Änderungen der Mikrostruktur, z.B. Fasersteifigkeiten und Bindungseigenschaften (Anzahl und Intensität) auf das Materialverhalten auswirken. Andererseits werden damit aber neben globalen Kenngrößen (z.B. Kraft-Weg-Verlauf) auch die Verteilung der Kontaktdrücke und Deformationen im Netzwerk zugänglich und damit Aussagen bzgl. der Homogenität des mechanischen Verhaltens möglich, wodurch Effekte der Einzelfasern, Bindungen und Faseranordnung besser differenziert werden.

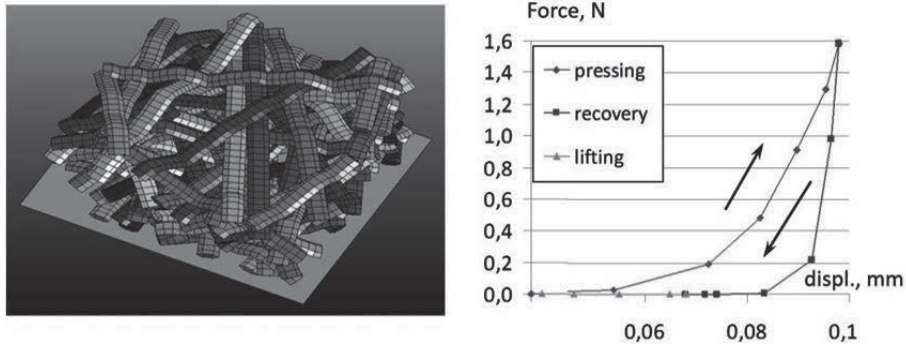


Abbildung 8: Fasernetzwerk-Mikrostrukturmodell (links) und die anhand einer Simulation des Pressens der Fasernetzwerkstruktur berechnete Kraft-Weg-Charakteristik (rechts) (Kuntzsch 2015)

b) Neue, papierartige Werkstoffe in Leichtbau-Sandwichkonstruktionen

Für Sandwichkonstruktionen in Luftfahrzeugen kommen u.a. Faltkerne oder Honeycomb-Waben aus mit Phenolharz imprägnierten Aramidpapieren zum Einsatz. Das Versagen der Kernstrukturen tritt i. d. R. als Beulversagen noch vor Erreichen der Schub- und Druckfestigkeiten auf. In einem aktuellen Forschungsprojekt wurde zunächst die Weiterentwicklung eines Messgerätes für das Verhalten von Papier bei Druckbeanspruchung in der Ebene realisiert. Mithilfe der damit ermittelten Kennwerte wurden neuartige, dreilagige papierähnliche Werkstoffe entwickelt (Abbildung 9). Die Simulation des Strukturverhaltens der Falt- und Wabenkerne verdeutlicht das Potenzial des neuen Papierwerkstoffs. Es konnte zudem gezeigt werden, dass durch die entwickelten papierartigen Werkstoffe die Druck und Schubfestigkeiten von Falt- und Wabenkernen signifikant erhöht werden können (Bugiel et al. 2015).

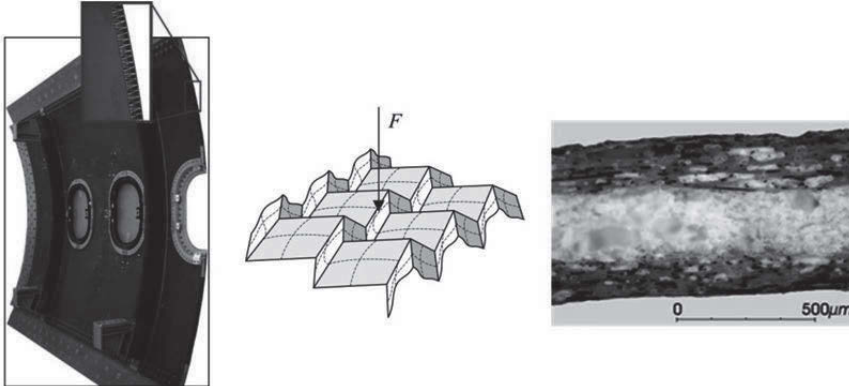


Abbildung 9: Einsatz papierartiger Werkstoffe für Sandwichkerne in Leichtbaukonstruktionen für Luftfahrzeuge (links und Mitte) und Querschnitt eines neuartigen dreilagigen Werkstoffes mit verbesserter Beulsteifigkeit (Quelle Inst. für Luft- und Raumfahrttechnik TU Dresden)

c) Langzeittragverhalten von Verpackungen

In einem weiteren aktuellen PTS-Forschungsprojekt erfolgt die Entwicklung einer kontinuumsmechanisch begründeten Methode zur Berechnung des klimaabhängigen Kriechverhaltens von Verpackungen aus Wellpappe. Dazu werden Kennwerte aus Dehnraten-abhängigen Kurzzeitversuchen ermittelt, die unter Anwendung der sog. Prony-Analyse eine Beschreibung des viskoelastischen Materialverhaltens auch bei Langzeitbelastung gestatten. Diese Ergebnisse sollen in Kombination mit Langzeitversuchen zur Bestimmung des viskoplastischen Anteils genutzt werden, um eine Methodik zur vereinfachten Abschätzung des zu erwartenden Langzeitverhaltens bereit zu stellen (Abbildung 10).

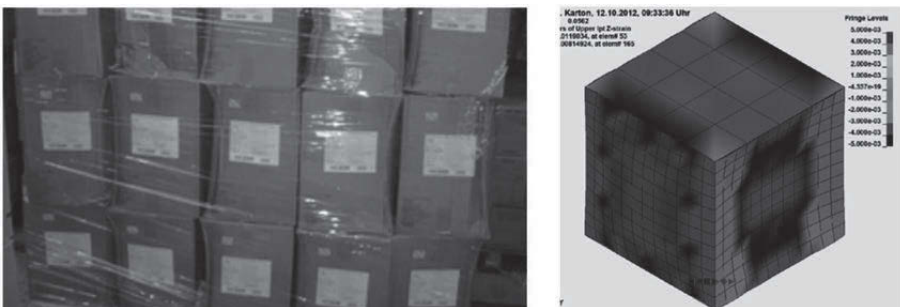


Abbildung 10: Mangelhafte Transportverpackungen (links) und Simulation des Schachtelversagens durch Beulen bei Stauchbelastung (rechts) (Quelle: aktuelles PTS-Forschungsprojekt IGF 18876 in Kooperation mit BFSV Hamburg)

Ausblick für die praxisorientierte Forschung

Mit der Verfügbarmachung geeigneter Prüfvorrichtungen und -Methoden zur Charakterisierung des Materialverhaltens homogener Schichten analog z.B. zu metallischen Werkstoffen oder Kunststoffen kann die Situation für dünne, schichtartige faserbasierte Werkstoffe als deutlich verbessert angesehen werden. Es besteht aber auch hier noch Verbesserungspotenzial, insbesondere bzgl. der Handhabbarkeit der z.T. recht komplexen, zeitaufwändigen Messungen, um deren Praxisakzeptanz zu steigern und das resultierende Optimierungspotenzial den beteiligten Partnern zugänglich zu machen.

Auf der Ebene der Mikrostruktur, bei der häufig die technologischen Maßnahmen zur gezielten Beeinflussung von Faser- und Netzwerkstruktureigenschaften ansetzen besteht hingegen noch großer, auch stärker grundlagenorientierter, Forschungsbedarf. Das betrifft sowohl die Charakterisierung der i. d. R. verteilten Größen wie z.B. Bindungssteifigkeiten oder -festigkeiten als auch die Frage, mit welchen Mitteln die für die Verarbeitung und Produkteignung erforderlichen Materialparameter überhaupt erreicht werden können. Obwohl auch hierzu in letzter Zeit Methoden der Mikrostrukturcharakterisierung verfügbar gemacht wurden (Kuntzsch & Kallio 2014), ist die Bestimmung statistisch abgesicherter Werte immer noch eine große Herausforderung und mit hohem Aufwand verbunden. In der Regel wird aus diesem Grund in der Praxis eine Bewertung nach Trial-and-Error-Prinzip anhand von Laborblättern vorgenommen, die aber häufig keine Differenzierung und genaue Zuordnung der aufgetretenen Effekte zulässt. Hinzu kommt, dass diese Art der Blattbildung sich in wesentlichen Punkten von den Praxisbedingungen unterscheidet und z. B. die richtungsabhängigen Eigenschaften sowie die Verdichtung der Fasernetzwerkstruktur auf einer Papiermaschine nicht wiedergibt. Die angestrebten Effekte können daher oft nicht vollumfänglich in die Produktionsumgebung übertragen werden.

Die Papiertechnische Stiftung ist daher bestrebt, effiziente Lösungen zur Deckung des nach wie vor bestehenden großen Bedarfes auf diesem Gebiet zu entwickeln und dazu umfangreiche Forschungsarbeiten gemeinsam mit Universitäten, Hochschulen, Forschungseinrichtungen, Verbänden und Unternehmen anzugehen.

Literaturverzeichnis

Bugiel, A.; Strauss, J.; Matheas, J. 2015: Three-ply technical paper for sandwich core structures – Enhancement of the compression and shear properties of sandwich-honeycomb cores and foldcores using new paper-like materials. Proceedings PTS Pulp Technology Symposium, Dresden 26 November 2015

- Kuntzsch, T. & Kallio, P. 2014: PowerBonds: Enhancement of fibre and bond strength properties for creating added value in paper products. Proceedings Status-Conference 10 years ERA-NET Bioenergy (Hannover, 11.11.2014)
- Kuntzsch, T. 2015: Verbesserung von Faser- und Bindungseigenschaften zur Erhöhung der Ressourceneffizienz in Papierprodukten. PTS-Forschungsbericht zum Vorhaben WoodWisdom-Net: PowerBonds
- Matheas, J. 2015: Materialparameter für effiziente Beurteilung der mechanischen Eigenschaften von Mehrschichtmaterialien und den darauf aufbauenden Entwurf angepasster Produkte. PTS-Forschungsbericht zum Vorhaben IK-VF 120017, http://www.ptspaper.de/fileadmin/PTS/PTSPAPER/06_Forschung/Dokumente/Forschungsprojekte/VF_120017.pdf, 06.04.2016

Kontakt

Dr.-Ing. Timo Kuntzsch
Papiertechnische Stiftung
Pirnaer Str. 37
01809 Heidenau
www.ptspaper.de
Prof. Dr. rer. nat. Frank Miletzky
Papiertechnische Stiftung
Heißstraße 134
80797 München
www.ptspaper.de