

Finite-Elemente-Analyse von Holz auf Basis von CT-Daten

Karl Entacher, Martin Öttl, Alexander Petutschnigg, Reinhard Bauer

In dieser Arbeit werden Methoden dargestellt, wie 3-D-Volumenmodelle von Holzproben auf Basis von Computertomographiedaten automatisiert erstellt und diese Volumenmodelle in 3-D-FEM-Modelle umgewandelt werden können. Beispielhaft wurden diese Methoden auf Holzproben (*Pinus radiata*) mit unterschiedlicher Jahrringlage angewandt und 3-D-Modelle dieser Proben erstellt. Basierend auf Materialparametern aus der Literatur wurde für zwei Proben eine FEM-Rechnung für die 3-Punkt-Biegeprüfung durchgeführt und die Proben an einer Festigkeitsprüfmaschine geprüft. Die Ergebnisse der Finiten-Elemente-Methode sowie der durchgeführten Biegeprüfung verdeutlichen den Einfluss der Geometrie auf die Ergebnisse. Die dargestellten Ergebnisse zeigen vielversprechend, dass die 3-D-Modellierung von Holz auf Basis von CT-Daten durch detailliertere Probenmodelle unterstützend für holzwissenschaftliche und holztechnologische Fragestellungen eingesetzt werden wird.

Schlüsselwörter: 3D-Modellierung, Finite-Elemente-Analyse, Holzcharakterisierung

Einleitung

Die Methoden der virtuellen Analyse und Simulation (z. B. die Finite-Elemente-Methode – FEM) werden in zunehmenden Maße zur Lösung von ingenieurwissenschaftlichen Fragestellungen in der Holztechnologie angewandt (siehe beispielhaft Mackerle, 2005). Dadurch werden die Abläufe bei der Produkt- und Verfahrensentwicklung nicht nur beschleunigt, sondern in vielerlei Hinsicht, wie z. B. bei komplexer Geometrie, auch vereinfacht (siehe dazu die Beschreibung der Methoden des „Product Design“ in Ashby, 2005). Um die Methode der Finiten-Elemente-Analyse (FEA) bei der Entwicklung von Produkten zielgerichtet anwenden zu können, ist es notwendig, die Eigenschaften der verwendeten Materialien zu kennen. Der heterogene Aufbau und die variablen Wuchsbedingungen von Holz bedingen aber eine hohe Variation der mechanischen und physikalischen Eigenschaften dieses Materials (Niemz, 1993). Die Aussagekraft numerischer Berechnungen (wie z. B. durch die FEM) kann durch unbekanntes bzw. grob geschätzte Materialeigenschaften eingeschränkt sein, weshalb eine möglichst gute Beschreibung des Probenmaterials zur Erlangung von verlässlichen Ergebnissen notwendig ist. In diesem Beitrag wird die Computertomographie zur Ermittlung der 3-dimensionalen Holzstrukturen als Basis zur Erstellung von 3-D-Modellen zur Analyse mittels der Finiten-Elemente-Methode beispielhaft dargestellt. In einer Vorstudie (Entacher und Petutschnigg, 2008) wur-

de demonstriert, welche grundlegenden Schritte für eine 3-D-Modellierung von Holzproben auf Basis von CT-Daten notwendig sind, um Volumenmodelle für eine Finite-Elemente-Analyse zu generieren. Auf Basis dieser Vorstudie ist es gelungen, auch erste FEM-Modelle zu erstellen und für eine 3-Punkt-Biegeprüfung in Anlehnung an die DIN 52186 (1978) zu berechnen.

In der vorliegenden Arbeit werden unterschiedliche Methoden zur 3-D-Modellierung von Holzproben vorgestellt und verglichen. Die Ergebnisse der Finite-Elemente-Studie der 3-Punkt-Biegeprüfung werden mit Ergebnissen der tatsächlichen Biegeprüfung anhand der empirisch beobachteten Durchbiegung verglichen, da die Verformungen bei der numerischen Lösung ermittelt werden und diese Größe direkt bei der Biegeprüfung gemessen werden kann.

Material und Methode

Holzart und Probengeometrie

Es wurden acht fehlerfreie Proben (Abmessungen: 30 mm radial, 30 mm tangential, 550 mm longitudinal) aus Monterey-Kiefer (*Pinus radiata*), einem Plantagenholz aus Chile, hergestellt. Diese Holzart wurde verwendet, da sie sich durch große Jahrringbreiten und einem signifikanten Dichteunterschied zwischen Früh- und Spätholz auszeichnet.

Die Probengröße wurde in Anlehnung an die DIN 52186 (1978) gewählt, um danach eine 3-Punkt-Biegeprüfung durchzuführen und gleichzeitig mittels Finiter-Elemente-Analyse eine Biegeprüfung simulieren zu können. Die Vergrößerung der Probenabmessung war notwendig, um am Probenquerschnitt jeweils mehrere Jahrringe (mindestens drei) zu erhalten. Es wurden Proben mit liegenden Jahrringen sowie Proben mit Halbbrift erzeugt, um den Einflussfaktor des unterschiedlichen Jahrringverlaufs zu berücksichtigen (siehe Abb. 1).



Abb. 1: Acht *Pinus radiata*-Proben bei der CT-Aufnahme
Fig. 1: Eight specimens of *Pinus radiata* and the CT scanner

CT-Scanning

Die Rohdaten wurden mit dem in den Salzburger Landeskliniken medizinisch eingesetzten Computertomografen Philips Brilliance 64 ermittelt (siehe Abb. 1). Das verwendete Styropor als Unterlage für die Holzproben hat den Vorteil, dass es sich deutlich von der Holzdichte unterscheidet und somit die weitere Bildverarbeitung vereinfacht. Die gewonnenen Daten wurden im DICOM-Format gespeichert und definieren einen Pixel-Abstand von 0,98 mm x 0,98 mm und eine Schichtdicke von 0,5 mm.

Zur Erzeugung von Oberflächenmodellen aus CT-Daten und für die Bildbearbeitung von CT-Bildern existieren neben kommerziellen Produkten eine Vielzahl an freien Softwarepaketen (Crabb, 2002-2011). Aufgrund des Umfangs implementierter Methoden und der Möglichkeit eigene Plug-In zu erstellen, wurde das Programm 3D Slicer (BWH und 3D Slicer contributors, 2010) ausgewählt. Der 3D-Slicer verwendet unter anderem die nachfolgenden Open-Source-Bibliotheken:

- Insight Toolkit (ITK) (Kitware Inc., 2009a), eine C++-Bibliothek zur Bildsegmentierung und Bildregistrierung,
- VTK (Kitware Inc., 2009b), eine C++-Bibliothek zur Bildverarbeitung und Darstellung von 3-D-Computergrafiken.

Diese Bibliotheken sind auch in eigenen 3D-Slicer-Plug-In einsetzbar.

Zur Generierung von Volumenmodellen für die FE-Berechnungen

kamen im Rahmen des Projekts die Vernetzungsprogramme CUBIT (Sandia Corp., 2010), ICEM (ANSYS Inc., 2010) und IA-FEMesh (The University of Iowa, 2010) zur Anwendung. Die FE-Analysen wurden mittels Abaqus FEA (Dassault Systèmes, 2010) durchgeführt. Aufgrund des relativ großen Aufwands bei der FE-Modellierung wurden für diese Untersuchung nur an zwei Proben alle notwendigen Schritte durchgeführt.

Bildbearbeitung

Auf Basis der CT-Schichtbilder wurden unterschiedliche Methoden der Bildverarbeitung durchgeführt. Ziel einer ersten Bildvorverarbeitung war es, die ermittelten Schichtdaten in eine für die Weiterverarbeitung geeignete Form zu bringen. Angewandt wurden Interpolationsalgorithmen zur Steigerung der Rohdatenauflösung. Weitere Möglichkeiten zur Bildverbesserung bieten Filter zur Bildglättung und unterschiedliche Methoden für die Bildrestaurierung, um Fehler durch Aliasing, Rauschen und Abbildungsverzerrungen zu korrigieren (Gonzalez und Woods, 2008).

Der Bildsegmentierung kommt im Prozess der Erstellung der 3-D-Volumenelemente eine besondere Bedeutung zu. Unter Segmentierung versteht man das Markieren jener Bildbereiche, die unterschiedlichen anatomischen Strukturen entsprechen und im vorliegenden Anwendungsfall zu einer Trennung von Früh- und Spätholz führen. Das Ergebnis der Segmentierung wird in einer so genannten „Label Map“ dargestellt (Abb. 2). Segmentierungsalgorithmen lassen sich grundsätzlich in kantenbasierte-, schwellwertbasierte- und regionenbasierte Verfahren einteilen, wobei auch kombinierte Methoden, wie z. B. die Watershed-Segmentierung, verwendet werden (Gonzalez und Woods, 2008; Sonka et al., 1999).

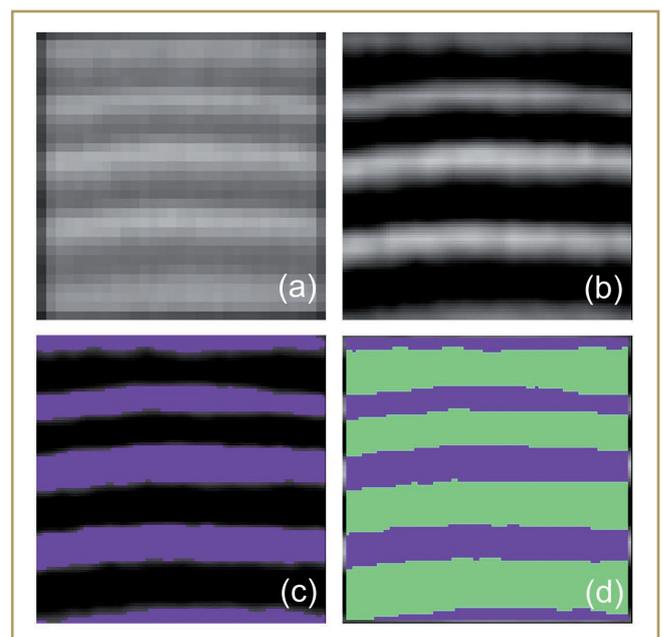


Abb. 2: Segmentierungsprozedur: (a) Rohdaten, (b) Bild-Vorverarbeitung (c) Otsu-Segmentierung und (d) Label Maps

Fig. 2: Steps of segmentation: (a) raw-data, (b) image pre-processing, (c) Otsu segmentation and (d) resulting label maps

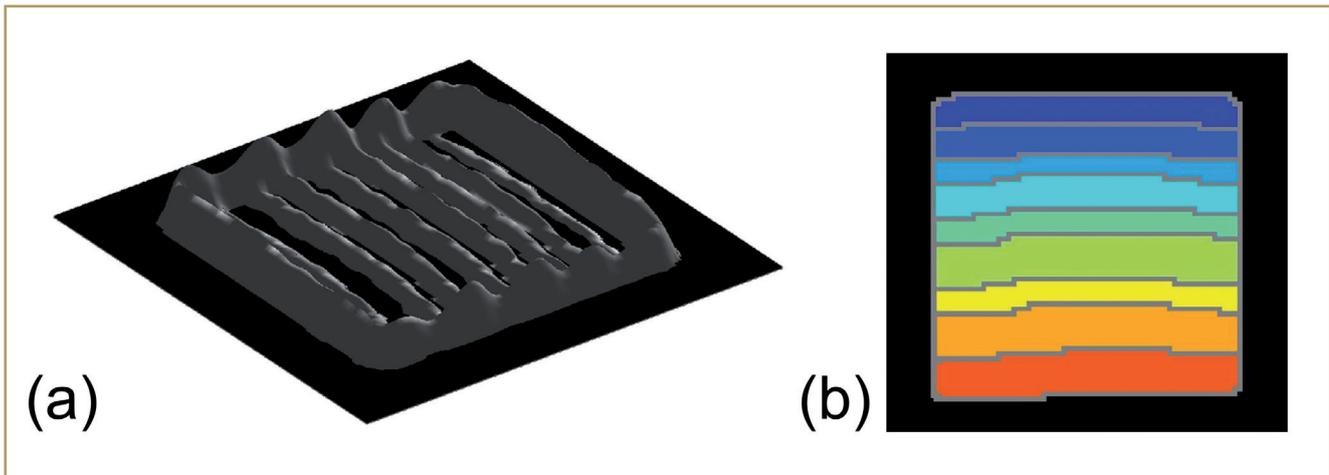


Abb. 3: Watershed-Segmetierung: (a) 3-D-Visualisierung der Intensitätswerte des Gradientenbildes und (b) Resultat
 Fig. 3: Watershed segmentation: (a) 3D-visualization of the gradient image intensity values and (b) segmentation result

Zur Segmentierung der Holzproben wurden die unterschiedlichen Verfahren getestet. Die besten Resultate in Hinblick auf automatische Segmentierung der Früh- und Spätholzschichten und anschließender Generierung von 3-D-Modellen ergaben sich durch die Otsu-Threshold-Segmentierung (Otsu, 1979; Entacher und Petutschnigg, 2008) und durch die Watershed-Methode (Gonzalez und Woods, 2008). Die Otsu-Segmentierung ist ein schwellwertbasiertes Verfahren, dass die Voxel in zwei Klassen unterteilt. Dazu wird der Grauwert jedes Voxels mit einem automatisch bestimmten Schwellwert verglichen. Der Schwellwert der Klassen wird dabei so bestimmt, dass die Varianz der Voxel-Grauwerte innerhalb der Klassen minimiert und die Varianz zwischen den Klassen maximiert wird. Die Watershed-Segmentierung beruht auf einer 3-dimensionalen Interpretation von Bildern. Dabei entsprechen zwei Koordinaten der Bildposition und die dritte Achse dem Intensitätswert pro Position. Das Verfahren kann mit der folgenden Analogie anschaulich erklärt werden. Durch lokale Minima im Intensitätsverlauf bilden sich „Täler“ aus, welche im Segmentierungsprozess schrittweise mit „Wasser“ geflutet werden. Vermengt sich Wasser aus unterschiedlichen Tälern wird ein Damm errichtet, so dass die Trennung der Bereiche aufrecht erhalten bleibt. Sind alle Täler geflutet erhält man als Ergebnis die segmentierten Bereiche sowie deren Ränder. Abb. 3 zeigt die Anwendung auf ein Gradientenbild. Ein Vorteil dieser Methode ist das Entstehen von durchgängigen Bereichsgrenzen, welche bei kantenbasierten Methoden erst durch weitere Bearbeitungsschritte erreicht werden (Gonzalez und Woods, 2008).

3-D-Modellierung

Für die, in dieser Arbeit durchgeführte FEA, wurden Hexaeder-Volumenmodelle der Holzproben verwendet. Die Berücksichtigung der einzelnen Früh- und Spätholzschichten erfolgte durch eine gezielte Materialzuordnung für jeden Hexaeder, basierend auf der zuvor durchgeführten Segmentierung. Eine Illustration der Vernetzung für eine Schicht wird in Abb. 4 dargestellt.

Die Volumenmodelle und die entsprechende Materialzuordnung können direkt über die aus den CT-Schichtbildern seg-

mentierten Label Maps der Früh- und Spätholzschichten und dem Oberflächenmodell der gesamten Holzprobe definiert werden. Für die Vernetzung wurde die Software IA-FEMesh (The University of Iowa, 2010) mit einem Multiblock-Boundary-Fitted-Grid-Verfahren mit elliptischer Interpolation eingesetzt (Filipiak, 1996). Zu bemerken sei, dass eine Materialzuordnung prinzipiell auch direkt über die Grauwerte der CT-Schichtbilder erfolgen kann, wobei hierbei zu klären ist, welche Materialparameter (Dichte, E-Modul) einem Hounsfieldwert des entsprechenden CT-Bildes genau entspricht (vgl. Lindgren, 1991).

Alternativ wurden im Rahmen dieser Studie auch Volumenmodelle aus Oberflächenmodellen abgeleitet, die im Vorhinein für die einzelnen Früh- und Spätholzschichten erzeugt wurden (vgl. Entacher und Petutschnigg, 2008). Dafür wurden die

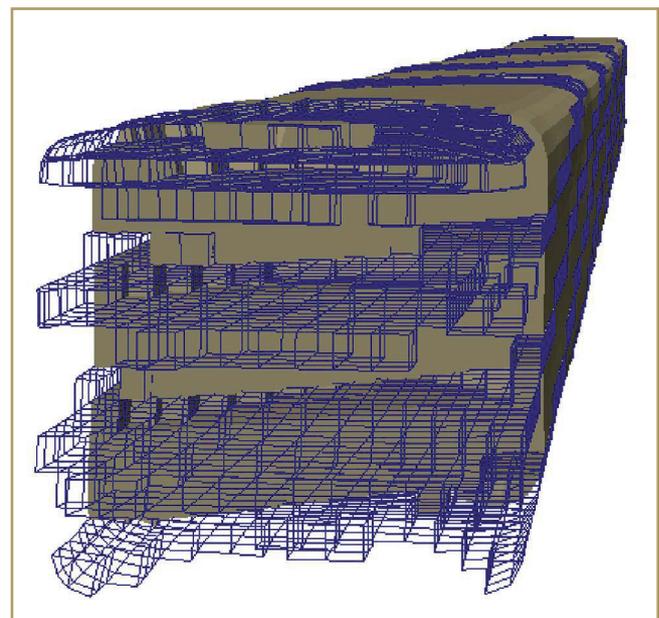


Abb. 4: Illustration einer Hexaeder-Vernetzung der Holzprobe
 Fig. 4: Illustration of an hexaeder-mesh of a sample

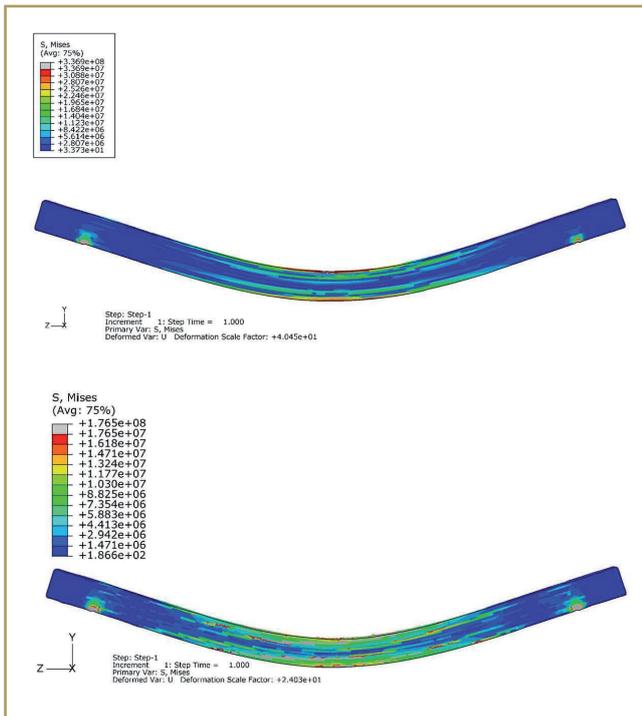


Abb. 5: oben: FEM-Darstellung der Spannungen der Probe mit liegenden Jahrringen, unten: FEM-Bild der Probe mit Halbrift

Fig. 5: Upper image: FEM-visualization of van Mises stress for a sample with horizontal annual rings, lower image: FEM-visualization of van Mises stress for a sample with half drift annual rings

Programme CUBIT (Sandia Corp., 2010) oder ICEM (ANSYS Inc., 2010) verwendet. Die einzelnen Volumen-Schichten werden anschließend im FE-Programm für die darauf folgende Analyse geeignet zusammengefügt. Um eine automatische Generierung des Volumenmodells der grundsätzlich beliebig geformten Schichten zu ermöglichen, bieten sich in diesem Fall als Volumenelemente Tetraeder mit quadratischer Formfunktion an. Die Methode über Oberflächenmodelle ermöglicht die Erstellung detaillierter 3-D-Modelle für Früh- und Spätholz und bietet weitergehende Möglichkeiten der Modellbearbeitung (Filterung, Glättung, Netzoptimierung). Diese Methode ist in der Anwendung komplexer als die direkte Vernetzung über Label Maps. Aufgrund der Nachbearbeitungsmöglichkeiten wurde aber dieser aufwendigere Ansatz gewählt.

Die 3-D-Finiten-Elemente-Modelle

Für die Durchführung jeder Finiten-Elemente-Analyse ist es notwendig ein sogenanntes Gitter (mesh) aus Volumenelementen herzustellen. Wie oben erwähnt, wurden in dieser Studie Hexaeder als Volumenelemente mit quadratischen Formfunktionen verwendet. Das Frühholz und das Spätholz wurden in der ersten Studie als isotrop modelliert. Zum einen ist durch das einfache Materialmodell der Einfluss der Geometrie auf die Ergebnisse besser nachvollziehbar. Zum anderen wurde dieser Ansatz gewählt, da die automatische Bestimmung der Orientierung (längs, radial und tangential) für die finiten Elemente auf Basis von CT-Bildern, insbesondere für Proben mit ungleichmäßigem Jahrringverlauf, eine herausfordernde

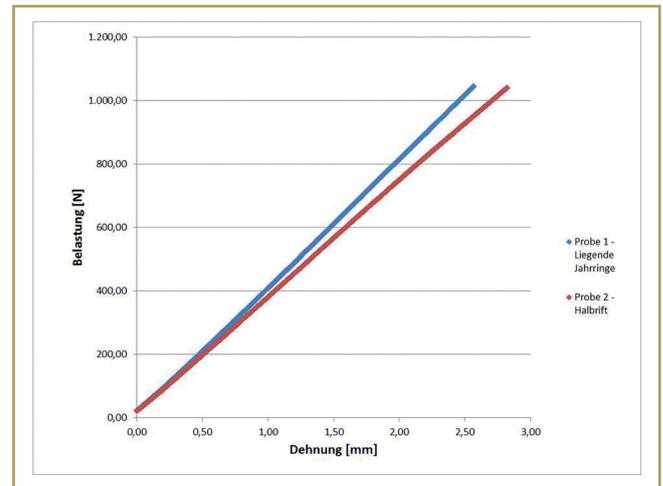


Abb. 6: Ergebnis der Biegeprüfung

Fig. 6: Load vs. deflection at the bending test for the two samples

Forschungsfrage darstellt. Einen Eindruck der Komplexität gewinnt man, wenn man die Geometrie einer Früh- oder Spätholzschicht (siehe die 3-D-Darstellung in der Vorstudie (Entacher und Petutschnigg, 2008)) betrachtet. Es ist zu erkennen, dass die Jahrringe nicht als hohle Kegelstümpfe anzunehmen sind, sondern im dreidimensionalen eine sehr unregelmäßige Struktur aufweisen. Mit dem gewählten Versuchsaufbau kann folgende Forschungsfrage geklärt werden:

„Sind die mittels Computertomographie erstellten Modelle für die Finiten-Elemente-Analyse geeignet und hilfreich?“

Der Unterschied zwischen Früh- und Spätholz wurde auf Basis der in Kollmann (1982) mittels Biegeprüfung bestimmten E-Moduln der beiden Gewebearten für Kiefernholz modelliert. In Tab. 1 sind die beiden E-Moduln dargestellt. Der Versuchsaufbau der 3-Punkt-Biegeprüfung wurde mit den erstellten 3-D-Volumenmodellen für eine Belastung mit 1000 N in der Prüfmaschine simuliert und die resultierende Durchbiegung wie auch die Spannungen in den Proben numerisch bestimmt.

Ergebnisse

In Abb. 5 ist oben das Ergebnis der Simulationsrechnung für eine Probe mit liegenden Jahrringen dargestellt. Es ist zu erkennen, dass in den Spätholzschichten höhere Vergleichs-

Tab. 1: E-Moduln von Kiefernfrüh- und -spätholz, gemäß Kollmann (1982)

Tab. 1: Youngs modulus for early- and latewood of pine according to Kollmann (1982)

	Biege-E-Modul
Frühholz	7,5 GPa
Spätholz	30,0 GPa

Tab. 2: Vergleich der Durchbiegungen der beiden Proben

Tab. 2: Comparison of deflections for the two samples

	Mittels FEM berechnete Durchbiegung	Gemessene Durchbiegung
Liegende Jahrringe	1,6 mm	2,45 mm
Halbrift	2,5 mm	2,72 mm
Verhältnis (Halbrift/Liegend)	1,5	1,1

spannungen (als Van-Mises-Spannung) als in den Frühholzschichten errechnet wurden. Dies stimmt bei dem gewählten Versuchsaufbau mit dem erwarteten Verhalten überein. In Abb. 6 ist das Ergebnis der Biegeprüfung dieser Probe dargestellt. Bei der Belastung von 1000 N wurde die erwartete Durchbiegung berechnet sowie die tatsächliche Durchbiegung gemessen. Die mittels FEM errechnete und die gemessene Durchbiegung werden in Tab. 2 für die beiden geprüften Proben gegenübergestellt.

Zum Vergleich ist in der Abb. 5 unten das Ergebnis der Simulationsrechnung für eine Probe mit Halbrift dargestellt. Es ist zu erkennen, dass der berechnete Spannungszustand dieser Probe bei einer Belastung mit 1000 N sich wesentlich von der Probe mit liegenden Jahrringen unterscheidet.

In Tab. 2 werden die mittels FEM-Simulation berechneten Durchbiegungen mit den gemessenen Durchbiegungen verglichen. Um die Ergebnisse für die beiden Jahrringlagen vergleichen zu können, wird in der Tabelle auch das Verhältnis der beiden Durchbiegungen gegenübergestellt.

Die tatsächlich gemessene Durchbiegung in Belastungsrichtung ist in beiden Fällen größer als die berechnete. Diese Abweichung kann insbesondere aus den unpräzisen Materialparametern resultieren, da die Modelle auf Kennwerten für Früh- und Spätholz aus der Literatur beruhen und vereinfacht ein isotropes Materialverhalten angenommen wurde.

In dieser Studie ist vor allem das Verhältnis der Durchbiegungen bei unterschiedlicher Jahrringlage von Interesse, da sich die Frage stellt, ob sich durch die genaueren Geometriemodelle der Einfluss der Jahrringlage auswirkt oder nicht. Es ist zu erkennen, dass die Tendenz der geringeren Steifigkeit der halbriftgeschnittenen Probe bei der geprüften Probe sowie bei der Finiten-Elemente-Rechnung übereinstimmen. Dieses Ergebnis resultiert aus der speziellen Probengeometrie (exakte Jahrringstruktur sowie Früh- bzw. Spätholzanteil).

Das Verhältnis der Durchbiegungen stimmt für Simulation und Realität nicht exakt überein, da die Simulation ein höheres Verhältnis erwarten ließe als tatsächlich gemessen. Um eine höhere Übereinstimmung der Simulation mit den gemessenen Werten zu erhalten, ist anzunehmen, dass die Kenntnis der Ausrichtung der einzelnen finiten Elemente (hinsichtlich axial, radial und tangential) bestimmt werden muss, um die Materialeigenschaften getrennt nach anatomischer Holzrichtung besser beschreiben zu können. Aber gerade durch die Anwendung von gleichen Materialeigenschaften und isotropem Materialverhalten ist der Vergleich der Auswirkung der beiden Geometriemodelle möglich, da die Einflüsse komplexer Materialmodelle in dieser Studie vermieden wurden.

Ausblick

Die dargestellte Vorgehensweise zur Modellierung ermöglicht die Berücksichtigung der heterogenen Struktur von Holz bei der mechanischen Analyse von Holzproben. Dies kann zum einen bei der Bestimmung von Materialparametern und zum anderen bei der Analyse von mechanischen Eigenschaften, wie auch der Bruchmechanik dieses kompliziert aufgebauten Materials, genutzt werden.

Auf Basis der beschriebenen Ergebnisse sind folgende weitere Tätigkeiten des Projektteams geplant:

- Erstellung einer Probendatenbank für verschiedene Probenformate und Holzarten,
- Entwicklung von Algorithmen zur automatischen Bestimmung der anatomischen Richtung eines finiten Elements einer Holzprobe,
- Entwicklung von Algorithmen zur Entwicklung von parametrisierten Geometriemodellen.

Die dargestellten Ergebnisse sind vielversprechend und lassen erwarten, dass die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Holzproben durch 3-D-Modellierung der Holzstruktur (z. B. mittels Computertomographie) in Zukunft verbessert werden kann. Des Weiteren ist davon auszugehen, dass durch die genauere Beschreibung von Proben die Variabilität der Ergebnisse mechanischer Prüfungen von Holz besser erklärt werden kann. Dieser Beitrag soll die vielfältigen Bestrebungen in diese Richtung unterstützen und dient als Grundlage für weitere Forschungsarbeiten.

Danksagung

Die Autoren danken Herrn Andreas Szadeczky von Dassault Systèmes für die Bereitstellung einer kostenlosen ABAQUS-Test-Lizenz. Alle FE-Analysen in dieser Arbeit wurden ausschließlich mit ABAQUS durchgeführt. Vielen Dank an Univ.-Prof. Dr. Klaus Hergan, Universitätsinstitut für Radiologie der Salzburger Landeskliniken für die Möglichkeit und Durchführung der CT-Aufnahmen der Holzproben. Das Projekt wurde vom österreichischen Wissenschaftsfonds durch das Projekt FWF L526-B05 unterstützt.

Literatur

ANSYS Inc. (2010) <http://www.ansys.com/> Zugriff am 26.09.2010

Ashby MF (2005) *Materials Selection in Mechanical Design*. Third Edition, Elsevier Butterworth-Heinemann

BWH and 3D Slicer contributors (2010) *The 3D Slicer Website*. <http://www.slicer.org/> Zugriff am 10.04.2010

Crabb A (2002-2011) *Free medical imaging software*. <http://www.idoimaging.com/> Zugriff am 10.04.2009

Dassault Systèmes (2010) <http://www.3ds.com/de/> Zugriff am 08.07.2010

Entacher K, Petutschnigg P (2008) 3-D-Modellierung von Holz auf Basis von CT-Daten. *holztechnologie* 49 (4): 37-40

DIN 52186 (1978) Prüfung von Holz – Biegeversuch

Filipiak M (1996) Technology watch report on mesh generation. <http://www.epcc.ed.ac.uk/> Zugriff am 01.05.2010

Gonzalez RC, Woods RE (2008) *Digital Image Processing*. 3rd edition, Pearson Education Inc.

Kitware Inc. (2009a) *The insight toolkit website*. <http://www.itk.org/> Zugriff am 20.11. 2009

Kitware Inc. (2009b) *The visualization toolkit website*. <http://www.vtk.org/> Zugriff am 10.04.2009

Kollmann F (1982) *Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe*. Springer Verlag, Heidelberg

Lindgren O (1991) Medical CAT-scanning. X-ray absorption coefficients. CT-number relation to wood density. *Wood Science and Technology* 25: 341-349

Mackerle J (2005) *Finite element analyses in wood research: a bibliography*. *Wood Science and Technology* 39: 579-600

Niemz P (1993) *Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe*, DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen

Otsu N (1979) A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* 9 (1): 62-66

Sandia Corp. (2010) *Geometry and mesh generation toolkit*. <http://cubit.sandia.gov/> Zugriff am 26.09.2010

Sonka M, Hlavac V, Boyle R (1999) *Image Processing, Analysis, and Machine Vision*. 2nd edition, Brooks/Cole Publishing Company

The University of Iowa (2010) *Center for computer aided design*. <http://www.ccad.uiowa.edu/> Zugriff am 26.09.2010

Autoren

Univ.-Doz. Dr. Karl Entacher promovierte und habilitierte am Institut für Mathematik an der Universität Salzburg im Bereich Scientific Computing. Er arbeitet in Lehre und Forschung an der Fachhochschule Salzburg in den Fachgebieten Mathematik und Informatik.

Dipl.-Ing. (FH) Martin Öttl ist Absolvent des Studiengangs Informationstechnik und System-Management der Fachhochschule Salzburg. Er arbeitete im Bereich Steuerungs- und Regelungstechnik und studiert an der Universität Graz.

Priv.-Doz. Dr. Alexander Petutschnigg ist Professor an der Fachhochschule Salzburg. Davor war er wissenschaftlicher Mitarbeiter und Projektleiter an der JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH in Graz. Er studierte Mathematik sowie Holztechnik und Holzwirtschaft. Seine Dissertation absolvierte er an der BOKU Wien und TU Graz. Seit 2009 ist er Adjunct Professor an der University of Tennessee (USA) und seit 2010 ist er an der Universität für Bodenkultur (BOKU) in Wien habilitiert.

FH-Prof. Reinhard Bauer (MSc.) ist Leiter des Studiengangs Radiologietechnologie an der Fachhochschule Salzburg. Er verfügt über mehrjährige praktische Erfahrung im Bereich radiologischer Schnittbildverfahren.

ABSTRACT

Finite Element Analysis of wood based on CT-data

The present article describes a procedure to generate volume meshes for Finite Element (FE) Analysis from CT scanned wood samples. At the beginning of the chosen procedure Otsu threshold segmentation is used to generate a Label Map containing early and late wood layers. With a subsequent Discretized Marching Cubes algorithm, surface meshes are extracted. After smoothing and decimation of the triangles, volume meshes are generated in different ways. These volume meshes are used for bending test simulations in a commercial FE solver.

Keywords: 3D modelling, Finite Element Analysis, wood characterization