

3D-Modellierung von Holz auf Basis von CT-Daten

KARL ENTACHER, ALEXANDER PETUTSCHNIGG

Der Artikel beschreibt eine Anwendung der Computer-Tomografie (CT) zur Erzeugung von 3D-Volumenmodellen von Nadelholz. Dazu werden die mit einem klinischen Computer-Tomografen erhobenen Daten mittels geeigneter Software bearbeitet und getrennt nach Früh- und Spätholz in 3D-Volumenelemente umgewandelt. Auf Basis dieser 3D-Volumenmodelle könnten in Zukunft Finite-Elemente-Analysen (FEA) oder allgemeine Simulationen mittels der gewonnenen Geometriedaten angewendet werden. Man kann mit dieser Methode weiters auch interne anatomische Strukturmerkmale, wie Äste oder Harzgallen, durch geeignete Segmentierung für die Simulation aufbereiten.

Einleitung

Die Erzeugung von dreidimensionalen (3D) Volumenmodellen von Holz und Holzwerkstoffen aus Computer-Tomografie(CT)-Daten ist das Ziel eines Forschungsprojekts an der Fachhochschule Salzburg. Diese Computermodele können für eine spätere Finite-Elemente-Analyse (FEA) oder für die Qualitätsbeurteilung des Materials verwendet werden. Es soll hier eine Methode zur Erstellung von 3D-Volumenelementen an einem Beispielmmodell demonstriert werden.

Die Analyse von Holz mittels CT wurde bereits von zahlreichen Forschergruppen durchgeführt. So beschreiben z. B. *Hodges et al.* [5] oder *Lindgren* [6] wichtige Eigenschaften von Holz mittels CT-Scans. Zahlreiche weitere Studien in Labor- aber auch in industriellem Maßstab wurden durchgeführt, um die Eigenschaften von unterschiedlichem Holzgewebe (z. B. *Davis und Wells* [3] oder *Skatter* [15]) aber auch unterschiedlicher Holzarten und Holzmerkmale (z. B. *Onoe et al.* [12] oder *Petutschnigg et al.* [13]) zu analysieren.

Die Bestimmung der inneren Holzmerkmale ist von großem Interesse für die Holzwirtschaft, da dadurch zahlreiche Verbesserungen insbesondere der „Ausbeute“ erwartet werden. So kann das errechnete optimale Einschnittbild von Rundholz bei Kenntnis der inneren Merkmale von jenem bei Unkenntnis dieser Merkmale differieren (siehe z. B. *Brdicko et al.* [1]). Auch in diesem Bereich wurden bereits zahlreiche Studien wie die von *Chang* [2], *Oja et al.* [11] oder *Rinnhofer et al.* [14] durchgeführt. Nichtsdestotrotz hat sich die Computer-Tomografie als Standardmethode in der Holzindustrie noch nicht durchgesetzt, da diese Technologie zum einen kostenintensiv ist und zum anderen technische Aspekte, wie beispielhaft die Erkennung bestimmter Holzmerkmale (z. B. Reaktionsholz oder Rotfäule), noch zu klären sind.

Das Ziel der Studie war die Entwicklung einer Methode, um aus CT-Daten 3D-Volumenelemente zu generieren. Auf Basis dieser Volumenelemente ist es möglich, auf einfache Weise sehr gute Modelle für die Analyse von Holzproben zu erstellen. Es können durch die CT-Bilder die Holzstruktur und damit der heterogene Aufbau der Holzproben einfach dargestellt werden. Durch die Anordnung der unterschiedlichen Zelltypen können die Eigenschaften einer Holzprobe, wie z. B. die Biegefestigkeit, wesentlich beeinflusst werden. In der vorliegenden Studie wird davon ausgegangen, dass durch eine genauere Beschreibung der Holzstruktur in der Folge auch eine bessere Beschreibung von Holzeigenschaften der Holzproben erfolgen kann. CT-Bilder sind jedoch ohne weiterführende Datenverarbeitung nicht mehr als eine Darstellungsform. Um eine FEA durchführen zu können ist es notwendig, die Holzstrukturen als Volumenelement verfügbar zu haben. Nur damit können z. B. statische Berechnungen zur Ermittlung von Spannungszuständen im Holz durchgeführt werden. Aus diesem Grund wird im Folgenden beispielhaft dargestellt, wie der Weg vom CT-Bild hin zu Volumenelementen für Holzproben für weitergehende Analysen funktionieren kann. Mit diesen Erkenntnissen könnten beispielsweise Studien zur Analyse von Verästelungen und Zwiesel (siehe *Hartig et al.* [4] oder *Müller et al.* [9]) durch automatisch gemessene Geometriedaten und Berücksichtigung innerer Holzmerkmale unterstützt werden.

Material und Methode

Es wurden zwei Proben aus chilenischen Plantagenholz von *Pinus radiata* (Abb. 1) hergestellt. Die Abmessungen betragen je 30 mm radial und tangential sowie 550 mm longitudinal. Die Holzart *Pinus radiata* wurde verwendet, da die Jahrringbreite sehr groß ist und ein signifikanter



Abb. 1: Die beiden Proben (*Pinus radiata*) und je ein CT-Schichtbild

Fig. 1: Two specimens of *Pinus radiata* and CT-images of arbitrary slices

Unterschied zwischen Früh- und Spätholzdichte zu erwarten war. Da in der Studie die Entwicklung und Beschreibung einer Methode zur Generierung von 3D-Volumenelementen im Vordergrund stand, ist eine höhere Anzahl von Versuchskörpern nicht notwendig.

Die Proben wurden am Unfallkrankenhaus Salzburg mittels einem Siemens Somatom Sensation Open mit der Software CT 2006 mittels Spiralscan-Technologie mit einem CT-Bild (entspricht einer Umdrehung) alle 0,6 mm bei einer Umdrehung je Sekunde gescannt. In Abbildung 1 sind die beiden gescannten Proben und je ein beliebig ausgewähltes CT-Bild je Probe dargestellt.

Die Bilder wurden im DICOM-Format [16] aus der Scanner-Software ausgelesen. Auf dieser Basis wurde die weitergehende Bildverarbeitung durchgeführt. Die beiden Proben wurden gewählt, da in der Studie die klare Segmentierung von Früh- und Spätholzzonen im Vordergrund stand. Der Segmentierung kommt im Prozess der Erstellung von 3D-Volumenelementen eine besondere Bedeutung zu. Um eine klare Trennung zwischen Früh- und Spätholz zu erreichen wurden die freie Software Osiris [17] angewandt. Mit dieser Software ist es möglich, die unterschiedlichen Profile der Hounsfield-Einheiten (Profilhöhen in Abb. 2), die als Näherungswert für die Dichte verwendet werden, einfach zu berechnen und weiter zu analysieren.

Die in Abbildung 2 gezeigten Profile wurden an zahlreichen Positionen gleichmäßig randomisiert über die gesamten CT-Schichten der Proben gezogen (Basis der Statistik sind 40 Profile pro Probe). Damit konnte die Verteilung der Hounsfield-Einheiten über das Probenvolumen errechnet werden und basierend auf diesen Daten wurde die Unterscheidung zwischen Früh- und Spätholz anhand der Dichtefunktion, wie in Abbildung 3 dargestellt, durchgeführt. Eine ähnliche Vorgehensweise wurde schon von Öhman und Nyström [10] für *Picea abies* gewählt.

Abbildung 3 zeigt die Histogramme für die Hounsfield-Einheiten. Die rote Linie zeigt die Approximation der Verteilung der Hounsfield-Einheiten für die Frühholzbereiche, die grüne Kurve die Approximation der Spätholzbereiche anhand von Normalverteilungen. Der als Teilungspunkt zwischen diesen beiden Bereichen gewählte Wert kann beispielsweise als der Schnittpunkt der beiden Verteilungskurven angenommen werden (analog zu Öhman und Nyström [10]).

Dieser Teilungspunkt wurde für die Erstellung der 3D-Volumenelemente verwendet. Dazu wurde die Soft-

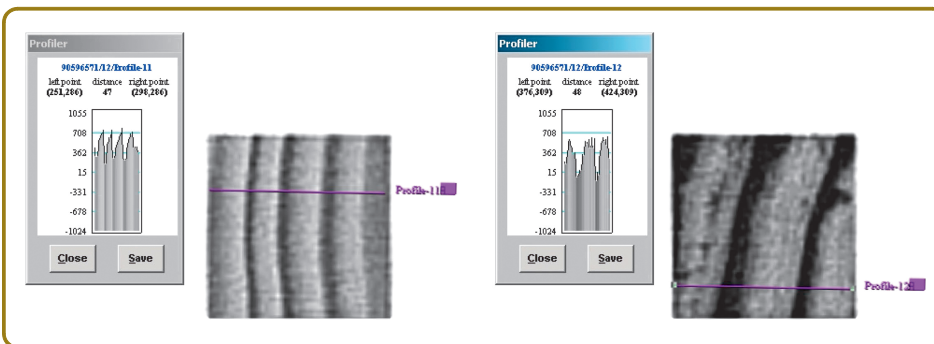


Abb. 2: Darstellung von Jahring-Profilen bei Verwendung der Software Osiris

Fig. 2: Generation of year ring profiles using the software Osiris

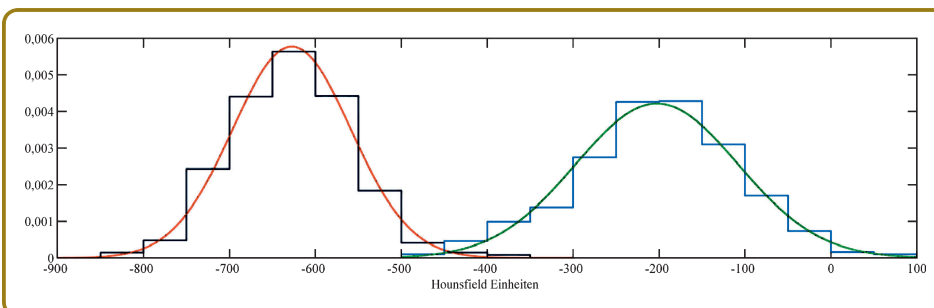


Abb. 3: Trennung von Früh- und Spätholz mittels Histogrammen und einer Normalverteilungsanpassung

Fig. 3: Separation of late wood and early wood using histograms and a normal distribution fit



Abb. 4: 3D-Volumenmodell und die dazugehörige Probe

Fig. 4: 3D solid and the corresponding specimen

ware Mimics [18] verwendet. Mithilfe des Teilungspunkts als „threshold“-Wert ist es möglich die Segmentierung in Früh- und Spätholz für ein CT-Bild durchzuführen. Durch das Werkzeug „Region Growing“ (Ausgehend von der bestehenden Zuordnung werden angrenzende Bereiche mit ähnlichen Hounsfield-Einheiten zusammengefasst, wobei die Parameter, in welchem Bereich die Werte segmentiert werden, einstellbar sind) wird die Segmentierung auf alle weiteren CT-Bilder ausgeweitet. So wird bereits für die gesamte Probe eine Teilung in Früh- und Spätholz vorgeschlagen. Da die Grenze zwischen Früh- und Spätholz in manchen Bereichen nicht ganz klar sein kann, ist noch eine manuelle Bearbeitung notwendig, wozu im Programm Mimics eine eigene Toolbox zum Editieren angeboten wird. Bei den gewählten Proben war der Unterschied zwischen Früh- und Spätholz sehr ausgeprägt, weshalb die Anpassungen einfach durchzuführen waren. In Abbildung 4 sind eine tatsächliche Probe und das dazugehörige 3D-Volumenmodell dargestellt.

Anhand von Abbildung 4 ist zu erkennen, dass das Volumenmodell mit der Probe rein visuell gut übereinstimmt. Nichtsdestotrotz bestehen noch einzelne Bereiche bei denen eine Nachbearbeitung des Modells notwendig ist. Für das Erreichen der Zielstellung der vorliegenden Studie ist eine manuelle Nachbearbeitung ausreichend. In Zukunft ist aber für eine automatisierte Modellerstellung die Anwendung weiterer Bildverarbeitungsmethoden empfehlenswert. Die Modelle können im IGES-Format [19] aus Mimics exportiert und damit in zahlreichen CAD-Programmen (z. B. SolidWorks® [20]) importiert und bearbeitet werden. Es ist weiters möglich von Mimics die Dateien für die Preprozessoren von FEA-Programmen (z. B. ANSYS® [21]) zu exportieren, sodass auch eine Analyse mittels FEA möglich ist.

Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Studie wurde eine Möglichkeit der Erstellung von 3D-Volumenmodellen für Holzproben auf Basis von CT-Bildern beschrieben. Mithilfe der 3D-Volumenmodelle ist es in der Folge möglich, Finite-Elemente-Analysen zur

Analyse der Eigenschaften von Holzbauteilen oder Holzprodukten durchzuführen. Durch die Anwendung der Computer-Tomografie können die tatsächlichen Holzstrukturmerkmale modelliert und in der Kalkulation berücksichtigt werden.

Die Ergebnisse der Studie an den gewählten Proben zeigen, dass sich Früh- und Spätholz sehr gut modellieren lassen. Für andere Holzarten oder Proben mit kleineren Jahresringen oder anderen Holzmerkmalen wie Reaktionsholz ist das Ergebnis der Segmentierung und Modellierung wesentlich von den angewandten Bildverarbeitungsmethoden und der Auflösung des Scanners abhängig. Somit stellt das beschriebene Verfahren nur einen Anfang dar und muss noch in zahlreichen Aspekten verbessert werden.

In der aktuellen Studie wurde keine FEA durchgeführt, da eine klare Zuordnung von mechanischen Eigenschaften für das Material aufgrund der unregelmäßigen Form der Jahresringe über den Querschnitt (z. B. die Zuordnung von radial und tangential) nicht immer eindeutig möglich ist. Die hier dargestellte Modellbildung soll somit als Grundlage für Forschergruppen, die auf FEA von Holz spezialisiert sind, dienen. Es könnten auch Fragen bezüglich weiterer, mittels CT erkennbarer und damit modellierbarer Holzmerkmale und deren Charakterisierung und Parametrisierung in FE-Modellen geklärt werden. Damit könnten in Zukunft die Eigenschaften von Holzproben oder Holzprodukten auf Basis einer CT-Aufnahme bereits sehr gut modelliert und vorhergesagt werden.

Danksagung

Die Autoren danken Ingeborg Starka und Florian Radaelli für deren Unterstützung bei den CT-Aufnahmen am Unfallkrankenhaus Salzburg und der AUVA für die Bereitstellung des CT-Scanners. Vielen Dank auch Herrn Michael Eichriedler für die Assistenz während seines Praktikums an der Fachhochschule Salzburg und Herrn Dr. Peter Schuller-Götzburg für die Ermöglichung der Nutzung des Softwarepakets Mimics. Diese Arbeit wurde von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG) im Rahmen des FH Plus Programms mit dem Projekt „Forschungszentrum Designmanagement“ gefördert. ◆

Literatur

- 1 Bridcko, J.; Orbay, L.; Tong, Q.: Using external and internal log characteristics for log breakdown optimization. *Proceeding of the Fifth International Conference on Image Processing and Scanning of Wood*, Bad Waltersdorf, Österreich, 2003
- 2 Chang, S. J.: Hardwood sawing optimization based on CT scanning of internal defects. *Proceeding of the Fifth International Conference on Image Processing and Scanning of Wood*. Bad Waltersdorf, Österreich, 2003
- 3 Davis, J. R.; Wells, P.: Computed tomography measurements on wood. *Industrial Meterology* 2 (1992) 3/4, S. 195–218

- 4 Hartig, J.; Lepenies, I.; Haller, P.; Zastrau, B. W.: Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Tragverhalten von Verbindungen aus Laubholzweiseln und textilbewehrten Formholzrohren. *holztechnologie* 48 (2007) 2, S. 11–18
- 5 Hodges, D. G.; Anderson, W. C.; MacMillin, C. W.: The economic potential of CT scanners for hardwood sawmills. *Forest Products Journal* 40 (1990) 3, S. 65–69
- 6 Lindgren, L. O.: Medical CAT-scanning: X-ray absorption coefficients, CT-numbers and their relation to wood density. *Wood Science and Technology* 25 (1991), S. 341–349
- 7 Longuetaud, F.; Leban, J. M.; Mothe, F.; Kerrien, E.; Berger, M. O.: Automatic detection of pith on CT images of spruce logs. *Computers and Electronics in Agriculture* 44 (2004), S. 107–119
- 8 Longuetaud, F.; Séint-André, L.; Leban, J. M.: Automatic detection of annual growth units on *Picea abies* logs using optical and X-ray techniques. *Journal of Nondestructive Evaluation* 24 (2005), S. 29–43
- 9 Müller, U.; Jeronimidis, G.; Gindl, W.: Biomechanics of a branch – stem junction in softwood. *Trees-Structure and Function* 20 (2006), S. 643–648
- 10 Öhman, M.; Nyström, J.: Modelling distribution and amount of compression wood by the shape of the green bow within planks of Norway spruce. *Proceeding of the Fifts International Conference on Image Processing and Scanning of Wood. Bad Waltersdorf, Österreich, 2003*
- 11 Oja, J.; Grundberg, S.; Grönlund, A.: Predicting the stiffness of sawn products by X-ray scanning of Norway spruce saw logs. *Scandinavian Journal of Forest Research* 16 (2001) 1, S. 88–96
- 12 Onoe, M.; Tsao, J. W.; Yamada, H.; Nakamura, H.; Kogura, J.; Kawamura, H.; Yoshimatsu, M.: Computed tomography for measuring the annual rings of a live tree. *Nuclear instruments and methods in physics research* 221 (1984) 1, S. 213–220
- 13 Petutschnigg, A. J.; Flach, M.; Katz, H.: Rotfäuleerkennung bei Fichte in CT-Bildern. *Holz als Roh und Werkstoff* 60 (2002) 3, S. 219–223
- 14 Rinnhofer, A.; Petutschnigg, A. J.; Andreu, J. P.: Internal log scanning for optimizing breakdown. *Computers and Electronics in Agriculture* 41 (2003) 1–3, S. 7–21
- 15 Skatter, S.: Non destructive determination of the external shape and the internal structure of logs – Possible technologies for use in the sawmills. *Ph.D. thesis, Agricultural Univ. of Norway, 1998*
- 16 <http://medical.nema.org/>
- 17 <http://www.sim.hcuge.ch/osisiris/>
- 18 <http://www.materialise.com>
- 19 <http://www.nist.gov/>
- 20 <http://www.solidworks.com/>
- 21 <http://www.ansys.com>

Autoren

Univ.-Doz. Dr. Karl Entacher studierte und promovierte am Institut für Mathematik an der Universität Salzburg. Er arbeitet in Lehre und Forschung an der Fachhochschule Salzburg im Fachbereich Mathematik und Informatik.

FH-Prof. 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 mit Prüfungen absolvierte er an der BOKU Wien und TU Graz zum Dr. nat. techn.

ABSTRACT

3D modelling of wood from CT data

The present article describes an application of computed tomography (CT) to generate 3D volume models of softwood. A medical scanner was used to obtain CT data of pine specimen. To get accurate 3D models a segmentation to separate late- and early-wood was performed. The 3D volume models may in future be applied to perform a Finite Element Analysis (FEA) or general computer simulations. The method allows also to model further anatomical features of wood like knots or resin pockets.