

NEUE METHODEN DER HOLZ- UND JAHRRINGANALYSE und Anwendungen in der Umweltforschung

Rupert Wimmer

Holz ist bei weitem die am häufigsten vorkommende Biomasse der Erde und die zwei chemischen Hauptkomponenten des Holzes, nämlich Zellulose und Lignin, sind die am häufigsten vorkommenden Polymere in der Biosphäre. Die Menge sowie Qualität des gebildeten Holzes hängt von der Anzahl und Größe der Zellen und vom Verdickungsprozess der Zellwände während des Wachstums der Sekundärwand ab. Eine wichtige Phase während der kambialen Aktivität ist die Synthese der Zellulose in den Zellwänden. Die Zellulosesynthese beginnt innerhalb sogenannter terminaler Komplexe, die in das Plasmalemma eingebettet sind. Diese Komplexe scheinen globuläre und rosettenförmige Struktur zu besitzen, in der nach und nach Zellulose angelagert wird. Die Orientierung der Mikrofibrillen scheint durch eine bereits existierende Lamellenstruktur vorgegeben zu sein. Die Fibrillendichte wird von der Bindung zu anderen Polymeren, speziell zu den Hemizellulosen, beeinflusst. Dabei ist zu sagen, dass Hemizellulosen und Pectine nicht wie früher angenommen bloße Füllstoffe der Matrix sind, sondern selbst strukturell und funktionell einen wichtigen Beitrag zum Zellwandaufbau leisten. In dieser Habilitationsarbeit werden neue Ansätze der Holz- und Jahrringanalyse mit konkreten Anwendungen in der Umweltforschung dargestellt.

Modellieren der Holzdichte von Nadelholz

Ein Holzdichtemodell wird entwickelt, das die Beziehungen zwischen den einzelnen anatomischen Merkmalen und der Holzdichte mathematisch zu beschreiben versucht. Das Modell zeigt zunächst, wie sich längere Fasern (Tracheiden) bzw. größere radiale Durchmesser der Tracheiden auf die Holzdichte auswirken können, und zwar unabhängig vom Einfluss konkurrierender Parameter. Diese Möglichkeit, einzelne Holzmerkmale direkt mit der Holzdichte in Beziehung zu bringen, hilft bei der Abschätzung der komplexen und häufig gegenläufigen Verhältnisse im anatomischen Aufbau. Das Holzdichtemodell wurde partiell für alle anatomischen Merkmale mathematisch differenziert, um den potentiellen Einfluss der Anatomie auf die Dichte zu bestimmen. Bei Normalwerten für das Spätholzprozent zeigte die Wanddicke der Frühholztracheiden ein erstaunlich hohes Einflusspotential.

Mechanische Eigenschaften von Zellwand und Mittellamelle

Der zentrale Teil der Arbeit beschäftigt sich mit der Frage der mechanischen Eigenschaften singulärer Zellwände sowie Mittellamellen durch Anwendung einer neuen hochauflösenden Härtetestmethode, welche hier erstmals am Gebiet der Holzforschung Anwendung gefunden hat. Nach der Definition von Brinell wird die Härte eines Metalles durch Eindrücken einer Stahlkugel in die glatte Oberfläche bestimmt, wobei die Messung nicht zu nahe am Rand der Probe durchgeführt werden soll. Zu Beginn dieses Jahrhunderts modifizierte der Österreicher Dr. Gabriel Janka (1906) die Brinell-Härtetestmethode speziell für Holz, die heute noch in den amerikanischen Test-Standards Anwendung findet. Dabei wird jene statische Kraft bestimmt, die erforderlich ist, um eine Stahlhalbkugel von 11.5mm Durchmesser vollständig in Holz einzudrücken, wobei die eingedrückte Fläche exakt 1cm^2 entspricht. Da die Stahl-Halbkugel über viele Zellreihen bzw. Jahrringstrukturen integriert, ergibt sich ein proportionaler Zusammenhang mit der Holzdichte, d.h. mit der vorhandenen Zellwandmasse pro Volumeneinheit. Dieses Konzept der Härtemessung hat seit G. Janka keine wesentlichen Fortschritte gemacht, obwohl in etlichen Studien verschiedene Modifikationen zum Konzept der Härtemessung publiziert wurden. Alle diese Härtemeßmethoden weisen Schwachstellen auf und sind untereinander kaum vergleichbar.

Durch Anwendung eines erst vor wenigen Jahren entwickelten Meßverfahrens (mechanical properties microprobe) zur hochauflösenden Messung mechanischer Eigenschaften von Festkörpern, konnten Messungen der Härte und des Elastizitätsmoduls an der Tracheidenzellwand sowie an Zelleckbereichen der Mittellamelle erfolgreich durchgeführt werden. Das Meßprinzip bestand in der kontinuierlichen Messung von Kraft und Weg während des Eindrückens einer Diamantspitze in die Zellwand. Die pyramidenförmige und dreieckig auslaufende Diamantspitze kann mit extrem kleinen Kräften in der Größenordnung von 0.4mN in Oberflächen eines Prüfkörpers eingedrückt werden, wobei der Weg auf 0.16nm genau gemessen werden kann. Als Eindringtiefe in das Holzgewebe wurden nach längeren Vorversuchsreihen schließlich 80nm gewählt. Ein Computer regelte jedes einzelne Segment des gesamten Meßvorganges.

Die höchsten mechanischen Festigkeiten (Härte) und Elastizitätsmoduli wurden in axialer Richtung gemessen an den Ecken von rechteckig geformten Tracheiden gefunden. Härte und Elastizität waren weiters eindeutig im Spätholz höher als im Frühholz. Die Härte der Mittellamella entspricht etwa jener der Zellwände, die Elastizität beträgt hingegen nur maximal 50% des Wertes der Tracheidenzellwand. Die marginalen Zellreihen im Jahrring zeigen eine

starke Abnahme besonders bei der Zellwandhärte, was mit dem gleichzeitigen Anstieg des Lignins in den marginalen Tracheidenreihen zusammenhängt. Die enorm hohe Auflösung (Durchmesser der Eindrücke $<1\mu\text{m}$) erlaubt deshalb an verholzten Zellgeweben Vergleiche zwischen mechanischen, mikrochemischen und ultrastrukturellen Eigenschaften anzustellen.

Calcium, Lignin und mechanische Eigenschaften

Ein weiterer Aspekt der Habilitation konzentriert sich auf Fragen der Akkumulation basischer Kationen (besonders Calcium) im Holzgewebe, der Lignifizierung sowie zu möglichen Auswirkungen auf Festigkeit und Elastizität einzelner Holzstrukturbereiche. Durch den Einfluß störender Metalle wie das Aluminium, welches bei zunehmender Bodenversauerung verstärkt freigesetzt wird, stellt sich die Frage nach signifikanten Veränderungen während der letzten Jahrzehnte in den Wäldern der südlichen Appalachen. Die Bodenversauerung ist besonders auf höhergelegenen Standorten zu einem wachstumslimitierenden Faktor geworden. Da der chemische Aufbau des Xylems für biomechanische Eigenschaften der Holzzellen von Bedeutung ist, wurde eine explorative Studie zur Beurteilung möglicher zeitlicher Veränderungen im Holz der Rotfichte durchgeführt.

Mittels energiedispersiver Röntgenfluoreszenz-Spektroskopie in Verbindung mit einem Transmissionselektronenmikroskop im Scanning-Modus (STEM) wurden Calcium und Lignin im Holzgewebe quantitativ gemessen. Mit der bereits beschriebenen Methode der hochauflösenden Härtemessung wurden mechanische Festigkeitsparameter jener Zellbereiche gemessen, von denen auch Element- und Ligninmessungen vorlagen. Die Unterschiede in dendrochemischen Mustern spiegeln sich in den mechanischen Messungen wider. Niedrigere Calciumgehalte können mit geringeren Ligningehalten und geringerer Härte und Elastizität Hand in Hand gehen.