

Neue Ansätze zur Bestimmung der hydraulischen Verwundbarkeit bei der Fichte

Im Zuge des Klimawandels und der damit verbundenen Auswirkungen von Trockenstress auf die einheimische Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) sind auch die klassischen Methoden zur effizienten Charakterisierung des Verlusts von Wasserleitfähigkeit sowie der Wasserversorgung im Baum stärker ins Zentrum vieler Diskussionen gerückt worden. Informationen über diese sogenannte „hydraulische Verwundbarkeit“ stellen ein wichtiges Qualitätsmerkmal für Holz dar. Klassische Methoden sind nicht zerstörungsfrei, nehmen viel Zeit in Anspruch und haben eine relativ hohe Fehlerwahrscheinlichkeit. Ziel dieser Studie war es, das Potenzial alternativer, effizienterer Methoden zur Bestimmung der hydraulischen Verwundbarkeit zu testen und einen geeigneten Ersatz zu klassischen Methoden zu finden. Bei der Auswahl dieser alternativen Methoden wurden folgende Kriterien herangezogen: (I) zerstörungsfrei, (II) effizient, (III) einfach zu beurteilen, (IV) etablierte Techniken und (V) begrenzte Probenaufbereitung erforderlich. Zwei Methoden, die diese Kriterien erfüllten und in dieser Studie genauer unter die Lupe genommen wurden, sind die Fourier-Transform-Nahinfrarot-(FT-NIR)-Spektroskopie und die Berechnung von hydraulischen Eigenschaften aus SilviScan-Messungen.

Klassische Methode zur Bestimmung der hydraulischen Verwundbarkeit

Als Referenz wurde die klassische Druckkragenmethode verwendet, bei der ein Leitfähigkeitsverlust des Saffholzes durch schrittweise erhöhten Luftüberdruck erzielt wird. Das Wasser, das normalerweise im Splint von den Wurzeln zur Krone transportiert wird, wird mit diesem Überdruck aus der frischen Holzprobe gepresst, wobei dieser partielle Wasserverlust zu einem gravierendem Leitfähigkeitsverlust führt, da alle Leitelemente miteinander verbunden sind. Aus den Überdruck/Wasser- bzw. Leitfähigkeitsverlustkurven wird der Wert P_{50} (Luftüberdruck, der 50 % Verlust der hydraulischen Leitfähigkeit verursacht) (Abbildung 1) berechnet.

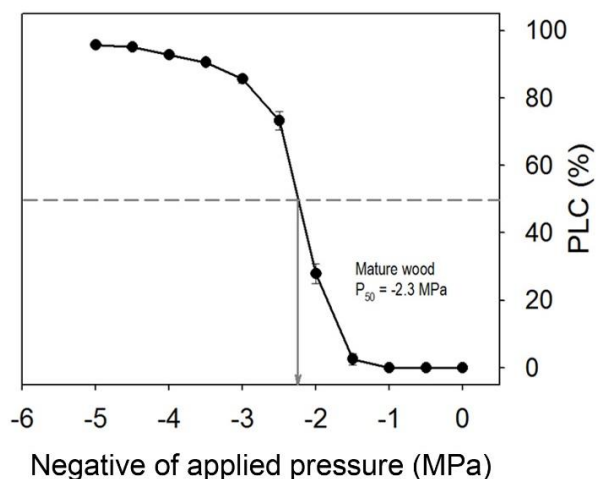


Abbildung 1: Beispiel einer Verwundbarkeitskurve zur Ermittlung des Parameters P_{50} .

Fourier-Transform-Nahinfrarot-(FT-NIR)-Spektroskopie und Vorhersagemodelle

Die erste alternative Methode ist die Fourier-Transform-Nahinfrarot-(FT-NIR)-Spektroskopie, eine in vielen Bereichen der Wissenschaft etablierte Methode, die aufgrund ihrer Schnelligkeit und Benutzerfreundlichkeit häufig eingesetzt wird. Bei der Messung mit dieser Methode wird

ein Spektrum (Abbildung 2) des getesteten Saffholzes aufgenommen. Dieses Spektrum ist mit einem Fingerabdruck vergleichbar: Aufgrund der einzigartigen Kombination von Atomen jedes unterschiedlichen Materials ist es nicht möglich, dass eine andere Verbindung genau das gleiche Nahinfrarotspektrum aufweist.

Die Banden der Spektren werden bei der FT-NIR-Spektroskopie nicht direkt interpretiert, sondern mithilfe statistischer Verfahren ausgewertet. Im Falle dieser Studie wurden daher für die Interpretation sogenannte PLS-R-Modelle (Partial Least Squares Regression) entwickelt. Ein entwickeltes PLS-R-Modell kann zur Vorhersage der physikalischen oder chemischen Eigenschaften neuer Proben ähnlichen Ursprungs verwendet werden. Die FT-NIR-Spektroskopie in Kombination mit PLS-R-Modellen wurde daher im Falle der vorliegenden Studie zur Vorhersage des Parameters P_{50} verwendet. Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass die entwickelten Modelle artübergreifend verwendet werden können. Demnach müssten für andere Arten eigene Modelle entwickelt werden.

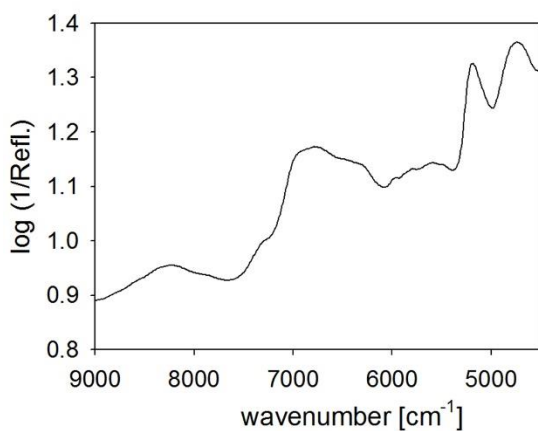


Abbildung 2: Beispiel für ein Spektrum einer Fichtenprobe, welches mit einem Multi-Purpose Analyser (MPA, Brucker Optics) erstellt wurde.

Tüpfel oder andere anatomische Strukturen können ebenfalls einen Einfluss auf die Ergebnisse des Spektrums haben. Daher muss auch die Messrichtung (axial, radial, tangential) der gemessenen Probe sorgfältig berücksichtigt werden (Abbildung 3). So wurde festgestellt, dass die von der axialen Holzoberfläche (vom Querschnitt) aufgenommenen Spektren bessere Ergebnisse für P_{50} ($r = 0,81$) lieferten als die Spektren von der radialen Oberfläche.



Abbildung 3: Fichtenholzproben. Links: axiale und rechts radiale Holzoberfläche

Hochauflösende Messungen der Holzdichte und anatomischer Parameter mit SilviScan

Bei der zweiten Methode handelt es sich um ein SilviScan-Instrument, welches zur Bestimmung der Holzdicke (WD) und anatomischer Parameter des Holzes (Abbildung 4) verwendet wurde, um effiziente Vertreter (Proxies) für P_{50} zu finden.

Es wurde bestätigt, dass WD eine der besten Proxies für P_{50} ($r = -0,64$) ist, aber die Korrelation spiegelt nicht unbedingt den Mechanismus hinter dem Kavitationswiderstand wider. Neue Ansätze, die auf den anatomischen Daten des Instruments basieren, wie die Einführung dynamischer Aspekte des Leitfähigkeitsverlustes durch die Analyse von 5-%-Schritten der kumulierten hydraulischen Leitfähigkeit (K), lieferten noch stärkere Korrelationen ($r = -0,72$).

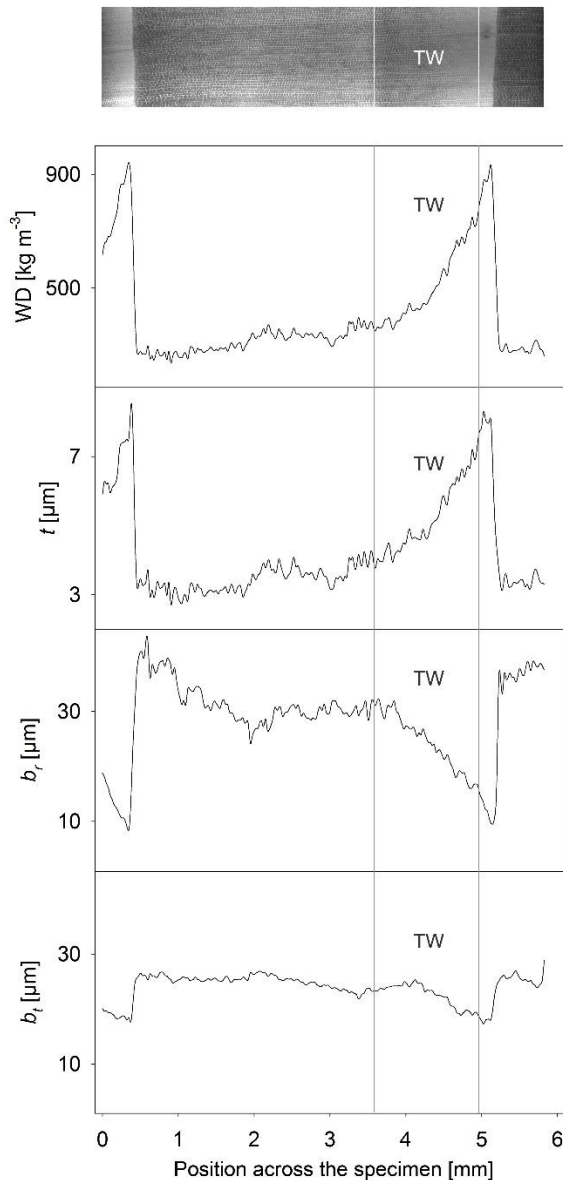


Abbildung 4: Ein Beispiel für einen SilviScan-Datensatz einer Fichtenprobe, der die Holzdicke (WD), Tracheiden-Doppelwanddicke (t), radiale Lumenbreite (br) und tangentiale Lumenbreite (bt) darstellt. Oberhalb der vier Diagramme ist das Röntgen-Mikrodichteprofil der gleichen Probe dargestellt. Es ist ein Jahrring abgebildet vom Frühholz, dem Übergangsholz (TW – Transitionwood) bis zum Spätholz.

Beurteilung und Vergleich der getesteten Methoden

Diese Studie ist ein erster innovativer Ansatz unter Laborbedingungen und weitere Arbeitsschritte sind notwendig, um diese auch für die Praxis tauglich zu machen. Zum jetzigen Zeitpunkt ist es nicht möglich, objektiv zu beurteilen, welche Methode die bessere

ist, da dies von der Forschungsfrage abhängt. In Bezug auf die Probenvorbereitung kann die FT-NIR-Spektroskopie effizienter sein. Allerdings müssen die für eine Holzart entwickelten Vorhersagemodelle für andere Holzarten aktualisiert oder neu entwickelt werden.

Für SilviScan kann die Probenvorbereitung trotz Einsatz spezieller Maschinen zeitaufwändiger sein, liefert aber anatomische und physikalische Informationen direkt aus den Proben. Demnach stellen beide Methoden interessante Alternativen zu den klassischen Methoden dar.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass beide Methoden (FT-NIR und SilviScan) viele Vorteile gegenüber klassischen Methoden aufweisen. Sie sind effizienter und vor allem kann die Probennahme durchgeführt werden, ohne den Baum fällen zu müssen. Das langfristige Ziel bei erfolgreicher Umsetzung der Praxistauglichkeit der Methoden wäre, dass direkt am Standort Aussagen getätigt werden können, wie hydraulisch verwundbar ein Baum ist. Dies könnte für die Forstwirtschaft und Baumzüchter eine interessante Methode zur Bestimmung geeigneter Provenienzen und Klone für die Vermehrung sein. Für die Anwendung in der Praxis sind jedoch weitere Arbeiten zu empfehlen. Es wäre wünschenswert, dass europäische oder weltweite Netzwerke zusammenarbeiten, um verschiedene Modelle für die Praxis zu etablieren.