

XXL-Wood

Materialkenngrößen als Grundlage für
innovative Verarbeitungstechnologien und
Produkte zur wirtschaftlich nachhaltigen Nutzung
der Österreichischen Nadelstarkholzreserven

A. Teischinger, M. Patzelt

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

27/2006

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Bestellmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

XXL-Wood

Materialkenngrößen als Grundlage für
innovative Verarbeitungstechnologien und
Produkte zur wirtschaftlich nachhaltigen Nutzung
der Österreichischen Nadelstarkholzreserven

Projektleitung:

Univ.Prof. DI Dr. Alfred Teischinger,
DI Dr. Margareta Patzelt
UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTUR WIEN;
Department für Materialwissenschaften und
Prozesstechnik, Institut für Holzforschung

Projektpartner:

TU GRAZ, Erzherzog-Johann Universität;
Institut für Stahlbau, Holzbau und
Flächentragwerke / LIGNUM Research

TU WIEN;

Institut für Konstruktionslehre und Fördertechnik

Hauptverband der Land- und
Forstwirtschaftsbetriebe Österreichs

Schaffer Sägewerk – Holzexport GmbH

Holzcluster Steiermark GmbH

Bundeswaldbauernverband - BWV

Wien, Oktober 2005

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT. Sie wurde im Jahr 2000 vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie im Rahmen des Impulsprogramms Nachhaltig Wirtschaften als mehrjährige Forschungs- und Technologieinitiative gestartet. Mit der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT sollen durch Forschung und Technologieentwicklung innovative Technologiesprünge mit hohem Marktpotential initiiert und realisiert werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements und der großen Kooperationsbereitschaft der beteiligten Forschungseinrichtungen und Betriebe konnten bereits richtungsweisende und auch international anerkannte Ergebnisse erzielt werden. Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt über den hohen Erwartungen und ist eine gute Grundlage für erfolgreiche Umsetzungsstrategien. Anfragen bezüglich internationaler Kooperationen bestätigen die in FABRIK DER ZUKUNFT verfolgte Strategie.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse – seien es Grundlagenarbeiten, Konzepte oder Technologieentwicklungen – erfolgreich umzusetzen und zu verbreiten. Dies soll nach Möglichkeit durch konkrete Demonstrationsprojekte unterstützt werden. Deshalb ist es auch ein spezielles Anliegen die aktuellen Ergebnisse der interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Homepage www.FABRIKderZukunft.at und die Schriftenreihe gewährleistet wird.

Dipl. Ing. Michael Paula
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	5
Abstract	6
Zusammenfassung	7
Summary	11
Einleitung	15
Problembeschreibung und allgemeine Einführung in das Projekt	15
Anbindung an den Inhalt der Ausschreibung	16
Schwerpunkte und Zielsetzung	17
Angaben über bereits vorhandene Studien, die zentral für das Vorhaben sind	18
Beitrag zu den Gesamtzielen der Programmlinie Fabrik der Zukunft	19
Aufbau der Arbeit	21
Beschreibung der Methodik und der Ergebnisse	23
Arbeitspaket 1: Gewinnung und Vorbereitung des Versuchsmaterials	23
Arbeitspaket 2: Bestimmung der Festigkeitseigenschaften über Querschnitt und Höhe	30
Arbeitspaket 3: Bestimmung der Fasereigenschaften über Querschnitt und Höhe	70
Arbeitspaket 4: Konzepte für eine Nutzungsoptimierung von Starkholz	96
Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen	123
Ausblick und Empfehlungen	124
Verwendete Literatur	126
Abbildungsverzeichnis	129
Tabellenverzeichnis	133

Kurzfassung

Ausgangssituation

Die österreichische Forstwirtschaft kämpft mit massiven Absatzproblemen bei Nadelstarkholz (BHD > 40 cm), welches größtenteils aus Bergwaldregionen stammt. Das Starkholz ist nicht für eine hochautomatisierte Sägetechnik und Weiterverarbeitung geeignet und weist aufgrund seiner Wuchsbedingungen zumeist eine starke Variabilität der Holzeigenschaften im Stamm auf.

Hohe Preisabschläge im Verkauf von Starkholzstämmen wirken sich negativ auf die wirtschaftliche Entwicklung von Bergregionen aus und bedeuten auch eine Gefahr für eine nachhaltige und zugleich ertragreiche Forstwirtschaft, da die Bewirtschaftung von Gebirgswäldern ohnehin sehr kosten- und arbeitsintensiv ist und eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle Umsetzung von Waldbaukonzepten nur mit langen Umtriebszeiten zu erreichen ist.

Inhalt, Zielsetzung und Methoden

Dieses Projekt hat das Ziel, die Konkurrenzfähigkeit von Nadelstarkholz am nationalen und internationalen Markt zu steigern, indem gesicherte Kenngrößen wie Festigkeits- und Fasereigenschaften von Starkholz über den Querschnitt und die Höhe ermittelt werden. Aufgrund dieser Daten können die speziellen Eigenschaften von Starkholz und deren Lage im Stamm identifiziert werden, was die Entwicklung von Konzepten für eine optimale Nutzung und Produktentwicklung ermöglicht.

Der gesamte Stamm erfährt somit eine Wertsteigerung, da dieser nach den später gewünschten Produkteigenschaften aufgeteilt und weiterverarbeitet werden kann. Das Projekt verfolgt ebenfalls das Ziel, die gesamte Wertschöpfungskette Starkholz von der Produktion bis zum fertigen Produkt mit einzubeziehen und das Starkholz als selbständiges Produkt zu etablieren. Es wurden Fichten-Starkholzstämmen aus verschiedenen Regionen Österreichs nach festgesetzten Vorgaben bezüglich Standort, Höhenlage und visuell beurteilter Rundholzqualität geerntet und in ein Sägewerk transportiert, wo die Stämme eingeschnitten wurden. Die Lamellen (Bretter) wurden bezüglich ihrer Holzeigenschaften beurteilt und auf Zugfestigkeit und Zug- E-Modul geprüft. Aus Stammscheiben wurden Proben für mikroskopische Untersuchungen präpariert und spezifische Fasereigenschaften wie, beispielsweise Zellwandstärke, Mikrofibrillenwinkel oder Faserlänge mit den neuesten Technologien bestimmt.

Der Zusammenhang der gewonnenen Kenngrößen mit der Lage im Stamm und Funktionen über den Querschnitt ermöglichen ein erstes Qualitäts- bzw. Eigenschaftsmodell eines Starkholzstammes. Daraus können im Rahmen von Nachfolgeprojekten Nutzungs- bzw. Einschnittmodelle, optimiert abgestimmt auf verschiedene Anwendungsmöglichkeiten des Schnittholzes oder des Hackgutes, entwickelt werden. Dabei wurde bereits auf eine Technik im Eco-Design zurückgegriffen, welche eine nachhaltige und ressourcenschonende Produktgestaltung im gesamten Produktionsablauf analysiert, evaluiert und hilft, optimale Strategien zu entwickeln, welche die Kundenanforderungen maßgeblich berücksichtigen.

Vorliegende Ergebnisse und Ausblick

Die Daten aus der Ermittlung der verschiedenen Holzeigenschaften – sowohl in Bauteilgröße als auch auf Faserniveau – und deren Verteilung im Stamm zeigen ein sehr komplexes Bild des spezifischen Werkstoffes Starkholz. Sehr eindeutig lässt sich die Differenzierung zwischen den Holzeigenschaften des juvenilen und des adulten Holzes zeigen, wobei einige Holzeigenschaften einen klaren Alterstrend zeigen. Sehr interessant sind die Fasereigenschaften des „alten“ Holzes, welche nur mithilfe von Spezialisten in der Zellstoff- und Papierverarbeitung optimal bewertet werden können. Mögliche Vorteile in den Mikroeigenschaften werden allerdings von den auch größer werdenden Ästen in Bauteilgröße und für Anwendungen im Massivholzbereich wieder zunichte gemacht, daher ist bei der Verarbeitungstechnologie und bei der Produktentwicklung noch großer Entwicklungsbedarf gegeben.

Abstract

Initial situation

Austria's forestry is facing severe problems with appropriate markets for large dimensioned wood which is mainly available in mountainous regions. Large diameter timber (> 40 cm) is not suitable for high speed processing. Furthermore it is not a uniform product; it shows a high range of different properties within the stem. As a matter of fact large dimensioned timber is not corresponding with actual market needs, not only because of insufficient knowledge of its specific wood properties.

As a consequence a decrease of sales or reduced prices affects the economic development of mountainous regions. Forest management in mountain areas is always related to higher expenses for silviculture measures, maintaining infrastructure or harvesting because of geomorphologic reasons. Finding new markets and processing methods or products for large dimensioned wood can only guarantee an economical and ecological sustainable forestry in these areas.

Contents, aims and methods

This project is aiming to increase the competitiveness of large dimensioned wood both on the national and the international market. In order to develop value added products in efficient processes the main objective is to clearly identify the special raw material properties of large dimensioned wood by using innovative technology for testing, measurement and modelling. Wood processing methods can be adapted to the special properties of mountain wood. Based on the newly derived knowledge about special wood properties innovative and engineered products could be developed in consideration of market requirements and high ecological and technical quality standards. Big emphasis is put on the fact that the whole forest-wood-chain - from raw material to end product - is included into the considerations.

The specimens (logs of Norway spruce) were gained in different regions in Austria following certain conditions concerning the standings like altitude, exposition and round wood quality.

After processing the logs into boards chosen stem segments and the boards were examined concerning their quality by special means of non-destructive testing and imaging. Afterwards the boards are used for large scale strength testing.

Selected specimens were prepared for microscopic analyses such as fibre length, microfibril angle, cell wall thickness as well as macroscopic investigations concerning density or spiral grain. Additionally strength tests were carried out using small clear specimens.

All gained data were brought into relationship with their position within the stem in order to create a model. This model of large dimensioned stems shall help to locate defined areas of special wood properties. Based on this innovative and property-optimised processing methods should be developed heading towards products which can benefit from specific properties, for instance long fibres or high strength. These first steps of product development were supported by a special technique which helps to find strategies for a customer oriented and sustainable production management.

Results and prospect

The gained data – both on macroscopic and microscopic scale – show a high variety within each examined parameter. Obvious is the distinctive difference between juvenile and adult wood. Although most parameters show an increase in the adult areas accompanied by for instance higher strength of longer fibres, the wood industry can't benefit from these properties directly. The parallel increase in knot diameter deteriorates the benefits of improved fibre properties. Therefore there is more need for research and development on industrial scale in order to find out appropriate techniques and processing methods for a raw material, which shows high potential per se.

Zusammenfassung

Österreichs Forstwirtschaft kann den Bedarf an Rohstoff für die Holzindustrie nicht zur Gänze decken, rund 33% der in Österreich verarbeiteten Rundholzmenge wird jährlich importiert, unter anderem auch deswegen, weil ein großer Teil des stehenden Holzvorrates in Österreich in so hohen Altersklassen und somit auch in so großen Durchmesserklassen (BHD weit über 40 cm) liegt, welcher für eine hochautomatisierte Verarbeitung nicht mehr geeignet ist.

Je nach Betriebsart bewegt sich der Anteil der Altersklassen über 80 Jahre am Gesamtvorrat zwischen 45 und 63% im Ertragswald, der Anteil an Altersklassen über 80 Jahre im Schutzwald in Ertrag erreicht sogar bis zu 85%. Die Forstwirtschaft im Gebirgsraum ist verbunden mit hohen Ernte- und Bringungskosten. Eine wirtschaftliche Waldbauform ist dadurch nur mit langen Umtriebszeiten und wenigen Eingriffen machbar. Da aber oftmals die Preise für Starkholz nicht einmal die Ernte- und Bringungskosten decken, werden notwendige Eingriffe nur in einem geringen Ausmaß durchgeführt, was zu einer Überalterung der Bestände, insbesondere im Schutzwald führt. Darüber hinaus ist die Konkurrenz von Holz aus Ländern, welche Plantagenwirtschaft betreiben können und daher in gewünschter Dimension und einheitlicher Qualität geliefert werden kann, sehr groß.

Übergeordnetes Ziel dieses Projektes ist, die Produkte der österreichischen Gebirgsforstwirtschaft - in diesem Falle Starkholz – am Markt konkurrenzfähig zu machen. Dies ist eine entscheidende Frage nicht nur für die Unternehmer in der Forstwirtschaft, sondern auch für viele kleinstrukturierte Weiterverarbeiter in ländlichen Gebieten, welche dem Druck der großen Holzindustrien nicht mehr standhalten können, ohne eine Nische zu finden. Zudem ist dies ein wichtiger Beitrag für den nachhaltigen Erhalt der Gebirgswälder, welche auch wichtige Schutz- und Versorgungsfunktionen übernehmen.

Um dieses Ziel zu erreichen, muss vorerst das „Missing Link“ zwischen der Vermarktung und Verarbeitung von Starkholz geschlossen werden. Bis dato fehlende Forschungsergebnisse über die Verteilung der unterschiedlichen Holzeigenschaften über den Stamm und deren Entwicklung gemäß des Alters und der entsprechenden Durchmesserklassen lassen sowohl Anbieter als auch Weiterverarbeiter keine Chance, das Holz gemäß seiner Eignung wirtschaftlich optimal zu nutzen. Daher wurden im Rahmen der wirtschaftsbezogenen Grundlagenforschung genaue Analysen und Charakterisierungen von Holzeigenschaften – angefangen mit Messungen der Zellwanddicke bis zu Zugprüfungen von Holzbrettern in Bauteilgröße – teils mit komplett neuartigen Methoden durchgeführt.

Danach soll der spezielle Werkstoff Starkholz anhand von Modellen konkret auf seine Eignung für neue technische Anwendungsbereiche überprüft werden. Starkholz bietet aufgrund seiner Variationen der Faser- und Festigkeitseigenschaften die Möglichkeit, bei intelligenter und nutzungsbezogener Auftrennung, das Material für weitere Anwendungen aufzubereiten bzw. wirtschaftlich interessant zu machen. Die Einsatzbereiche liegen von festigkeitsoptimierten Lamellen für die Brettschichtholzproduktion bis zur Produktion von hoch reißfesten Papiersorten.

Dafür ist es notwendig, Entscheidungsgrundlagen für Verarbeitungstechnologien sowie für neue Produkte und Produktionsmanagementsysteme, welche auf dem Prinzip der Nachhaltigkeit basieren, zu entwerfen.

Grundsätzlich basiert das Projekt auf einer Studie von Senitz et al. aus dem Jahre 1992, bei welcher schon die ersten Daten zur Qualitätsverteilung von Starkholz nach den Österreichischen Holzhandelsusancen erfasst wurden. Die Starkholzproblematik wurde insbesondere ab dem Jahre 2000 wieder stark in Fachkreisen thematisiert und einige Grundüberlegungen und Problemlösungsansätze in Workshops und Tagungen diskutiert.

Das Projekt wurde am 1. April 2003 gestartet, die praktischen Arbeiten bzw. Analysen und Tests wurden im Februar 2005 abgeschlossen. Das Projektkonsortium besteht sowohl aus Wissenschaftlern als auch aus Vertretern der Forstwirtschaft und der Holzverarbeitenden Industrie, was eine zielgerichtete und auch kundenorientierte Vorgangsweise garantieren soll.

Gewinnung und Vorbereitung des Versuchsmaterials

Im Wald- und Mühlviertel und am Alpenostrand wurden in 3 verschiedenen Höhenstufen in Zusammenarbeit mit den jeweiligen Revierförstern und Wirtschaftsführern nach einem vorab entwickelten Plan Bäume der Qualitätsstufen B, C und C+ ausgesucht und entnommen. Die gewünschten Stammabschnitte wurden markiert und nummeriert, die wuchsbeeinflussenden Parameter der Standorte wurden sowohl schriftlich als auch bildlich dokumentiert.

Die Bloche wurden zum Sägewerk eines Projektpartners transportiert, dort nochmals aus der Sicht des Sägers einer Qualitätsansprache unterzogen, mittels eines Ultraschallmessgerätes einer ersten zerstörungsfreien Prüfung hinsichtlich Festigkeit und Astigkeit unterzogen und nach vorab bestimmten Mustern mit der Bandsäge eingeschnitten.

Danach erfolgte eine Aufteilung des Probenmaterials nach der weiteren Verwendung in Bretter (Lamellen) und kleinere Stammabschnitte (Stammscheiben). Alles wurde vor Ort technisch getrocknet. Ein ausgewählter Teil der Stammscheiben bzw. Abschnitte davon wurden in einem medizinischen Diagnosezentrum einem computertomografischen Scanning unterzogen, um erste „Einsicht“ in das Innere der Stämme zu gewinnen. Die Bretter (Lamellen) wurden zur weiteren Untersuchung zu einem Betrieb mit maschineller Festigkeitssortierung transportiert, die Stammabschnitte an das Institut für Holzforschung der Universität für Bodenkultur.

Die Auswertungen der Ultraschallmessungen erlaubten eine erste vorsichtige Einschätzung der Qualität des Probematerials.

Bestimmung der Festigkeit in Bauteilgröße über Querschnitt und Höhe

Bevor alle Bretter auf einer industriellen Anlage einer weiteren zerstörungsfreien maschinellen Festigkeitssortierung unterzogen wurden, wurden jeweils an den Enden Probestücke zu weiteren Untersuchungs- und Vergleichszwecken entnommen. Nach der Festigkeitssortierung wurden die Bretter zum Bautechnikzentrum an der Technischen Universität Graz transportiert.

Die gekappten Probestücke wurden hinsichtlich ihrer Lage im Stamm und ihrer mittleren Jahrringbreite untersucht. Von den Brettern wurden beiderseits mit Hilfe einer Farbzeilenkamera digitale Bilder aufgenommen und abgespeichert, um in weiterer Folge Ästigkeitskennwerte zu ermitteln. Anschließend wurden die Lamellen zusätzlich noch visuell nach ÖNORM DIN 4074-1 sortiert.

Um einen Vergleich von verschiedenen Mess- und Testmethoden und deren Ergebnissen anstellen zu können, wurden die Bretter zusätzlich auch mit dem Ultraschallmessgerät, welches schon zur Bestimmung der Qualität der Rundhölzer zum Einsatz kam, auf ihre Festigkeit und Astigkeit hin untersucht.

Danach wurden die Lamellen in Bauteilgröße auf ihre Zugfestigkeit hin geprüft, diesmal mit der endgültigen zerstörenden Prüfmethode. Hierbei werden Festigkeit und E-Modul ermittelt und eine ausführliche Dokumentation der Bruchursachen durchgeführt.

Anschließend daran erfolgt die Darstellung des Zusammenhangs der Kenngrößen über die Lage im Stamm sowie die Darstellung von Funktionen über den Querschnitt.

Bestimmung der Fasereigenschaften über Querschnitt und Höhe

Aus den vorliegenden Stammabschnitten wurden aus dem Kernbereich Proben für die weiteren Untersuchungen von speziellen Holzmerkmalen wie Festigkeit, Faserlänge, Dichte, Ligningehalt usw. herausgetrennt und für die verschiedenen Mess- und Prüfverfahren speziell vorbereitet.

Die Jahrringbreite und der Spätholzanteil wurden entlang einer radialen Messstrecke mit Hilfe eines hochauflösenden Auflichtmikroskops vermessen. Die Jahrringbreiten zeigten sehr starke Schwankungen zwischen 0,8 und 8,5 mm

Die Bestimmung der Dichte erfolgte einerseits anhand von Proben, welche entlang einer radialen Messstrecke entnommen und stereometrisch bestimmt wurden, andererseits wurden die Dichtewerte mit einem Röntgen-Dichtemessgerät entlang der gesamten radialen Messstrecke ermittelt. Die Dichte zeigte einen leicht zunehmenden Trend vom Kern zur Rinde.

Für die Vermessung des Drehwuchses wurden Probestücke entlang der Fasern gespalten und der Winkel zur Stammachse vermessen. Es zeigt sich bei Starkholz ein relativ kleiner Drehwuchs ($2-4^\circ$), der sich im Verlauf des Zuwachses von linksdrehend auf rechtsdrehend verändert.

Für die Bestimmung der Faserlänge wurde jeder zehnte Jahrring entlang einer radialen Messstrecke getrennt in Früh- und Spätholz herauspräpariert und in einer exakten Mischung aus Salpetersäure, Chrom(VI)-Oxid und Wasser in einzelne Faserbündel aufgelöst. Die Bündel wurden in einen Wassertropfen gelegt, unter dem Mikroskop mit der Pinzette in einzelne Fasern zerlegt und unter dem Durchlichtmikroskop vermessen und fotografiert. In den Jahrringen in Marknähe haben die Fasern eine Länge von 1-2,5 mm, bis zu einem Alter von 60 bis 80 Jahren ist der stärkste Anstieg bei den Faserlängen feststellbar, die Faserlängen ab dem ca. 80. Jahrring weisen bereits eine Länge von bis zu maximal 7,5 mm auf.

Der Ligningehalt wurde mittels NIR(Nahes Infrarot)-Spektroskopie durchgeführt. Entlang der radialen Messstrecke wurde im Abstand von 10 mm das Spektrum aufgenommen und anhand einer Kalibrationskurve ausgewertet. Es zeigt sich nur eine geringe Zunahme des Ligningehalts vom Mark bis zur Rinde von etwa 1-2%.

Die Prüfungen an kleinen fehlerfreien Proben zur Ermittlung der Zug-, Druck- und Scherfestigkeit zeigten, dass die geprüften Festigkeitseigenschaften in den untersten Blochen in Richtung Rinde abnehmen, in den oberen Stammteilen aber zunehmen.

Der Zelldurchmesser, die Zellwandstärke und der Mikrofibrillenwinkel wurden im Februar 2004 an einem weltweit derzeit einzigartigen Messaufbau „Silviscan“ am CSIRO (Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) durchgeführt.

Es zeigt sich sowohl bei Zellwandstärke als auch bei spezifischen Faser- bzw. Papierparametern (Fibre Coarseness), dass diese sehr stark von der Entwicklung der Faserlänge abhängen und zur Rinde hin eindeutig zunehmen.

Nach der Beendigung der Datenaufarbeitung werden die Fasercharakteristika mittels statistischer Methoden in einen Zusammenhang über die Lage im Stamm gesetzt.

Konzepte für eine Nutzungsoptimierung von Starkholz

Die Daten zu den Materialeigenschaften und deren Verteilung im Stamm sollten mit der methodischen Vorlage des ECODESIGN Pilot zu einem Werkzeug für die Akteure „Säger“, „Planer“ und „Hausbauer“ aufbereitet werden.

Der ECODESIGN PILOT ist eine Software Tool, welches Produktentwickler und Konstrukteure im Innovations- und Produktentwicklungsprozess unterstützt, indem geeigneten Strategien und konkrete Maßnahmen zur umweltrelevanten Verbesserung von Produkten vorgeschlagen werden. Der Pilot kann zur Produktverbesserung und Produktentwicklung bereits in der Phase der Produktplanung eingesetzt werden. Der PILOT ist vor allem für die Anwendung am Produkt gedacht, dient aber darüber hinaus als grundlegende ECODESIGN Wissensbasis

die den gesamten Produktlebenszyklus – von der Rohstoffgewinnung bis zur Nachgebrauchs Phase - abdeckt.

Unter der Annahme, wurde dass die Lebensphasen Transport, Produktnutzung und Nach Gebrauch keine signifikanten Unterschiede zu Produkten aus Schwachholz aufweisen, konzentriert sich der Schwerpunkt der Darstellung der Projektergebnisse somit auf der Rohstoffgewinnung und der Herstellung, wobei die Phase der Herstellung die Produktion vom Roh bis zum Fertigprodukt umfasst.

Im Hinblick auf das übergeordnete Ziel des Projektes – Erhöhter Absatz von Starkholz aufgrund innovativer und nutzungsorientierter Technologien und Produkte – wurde es als Ziel führend erachtet, als ersten Schritt die Potentiale von Starkholz (wieder) ins Bewusstsein zu rücken und einem großen Kreis an potentiellen Nutzern zur Verfügung zu stellen. Um eine große Anzahl von Anbietern und Nutzern zu erreichen, wurde eine Weblösung gewählt.

Die Umsetzung als Weblösung erfüllt die im Antrag formulierten Ziele in besonders ansprechender und benutzerfreundlicher Weise. Die aufgearbeiteten Projektergebnisse stehen als Webapplikation via Internet zur freien Verfügung und sollen die jeweiligen Entscheidungsträger befähigen, die Vorteile des Rohstoffes Starkholz zu erkennen und geeignet in ihren jeweiligen Entscheidungen zu berücksichtigen.

Die Eigenschaften von Starkholz sollten den allgemeinen Anforderungen in der Produktentwicklung zu umweltgerechter Produktgestaltung/ECODESIGN gegenübergestellt werden und daraus sollte ein Konzept für eine Kennzeichnung von Starkholzprodukten abgeleitet werden. Es sollten so die Stärken des Rohstoffes Starkholz in Bezug auf seine Umweltperformance herausgearbeitet und für die Vermarktung aufbereitet werden.

Ein Konzept für den Vergleich von ECODESIGN Anforderungen in der Produktentwicklung mit den Eigenschaften von Starkholz und eine Kriterienmatrix wurden erstellt und diese wurden in die Gestaltung der Weblösung miteinbezogen.

Form und Inhalt der Webapplikation stellen eine fundierte Basis für eine Vermarktung von Starkholz dar, die Erweiterung um eine Kennzeichnung zur Auszeichnung von Starkholzprodukten ist angedacht und einfach einzufügen.

Das Konzept der Webanwendung sieht eine Eintragungsmöglichkeit von Verarbeitern von Starkholz und Produkten aus Starkholz vor. Hier können einerseits Hersteller von traditionellen Produkten aus Starkholz gelistet werden und andererseits kann dies als Plattform für innovative Anwendungen und Verarbeitungstechnologien dienen. Unternehmen wie interessierte Nutzer können von dieser Schiene profitieren, welches als Vermarktungs- wie auch als Informationsmedium genutzt werden kann.

Summary

Austrian Forestry is not able to meet market needs concerning delivering appropriate raw material for the Austrian woodworking industry. About 33% of round wood processed in Austria are imported. Austria does not suffer from a lack of wood itself, but a high percentage of the raw material is available in DBH classes, that are far over 40 cm and therefore not suitable for the actual highly automated wood processing using chipper lines.

Áustrian forests run the risk of over ageing. Between 45 and 63% of the general stock are more than 80 years old, the stock of forests under specific protection is even older. As a consequence a decrease of sales or reduced prices affects the economic development of mountainous regions. Forest management in mountain areas is always related to higher expenses for silviculture measures, maintaining infrastructure or harvesting because of geomorphologic reasons. Finding new markets and processing methods or products for large dimensioned wood can only guarantee an economical and ecological sustainable forestry in these areas.

The vision of the actual project is to raise the competitiveness of large diameter timber on the market. In order to meet one of the main goals – rising utilisation of large diameter timber – the “missing link” between marketing and processing has to be found. As there is a lack of knowledge concerning the distinctive wood properties of large diameter round wood respectively old growth wood, the major task of the actual project was to find how selected wood properties are influenced by the age of the tree and who the properties are distributed within the stem – concerning both height and diameter.

Analyses have been made both with reference to strength properties of solid board as well as macroscopic and microscopic properties such as fibre length or cell wall thickness. Simple models explain the distribution of the different properties over the whole stem. The findings will then serve as basis for further research and development heading towards optimised processing and product development. At the moment the most promising ideas are the utilisation of the especially long fibres for specific paper qualities and the use of specific areas of the stem for strength- optimised solid wood products.

Therefore it is in first line necessary to develop decisive criteria for processing technologies and product management systems, which should obey the principles of sustainable development and economy.

Basically the project is based on a study of Senitzka et al. carried out in 1992 dealing with quality properties of Austrian large diameter round wood. A new discussion has been started in 2000 concerning large diameter timber and is still in process, accompanied by several regional meetings, workshops and initiatives.

The actual project started in April 2003. All tests and analyses have been finished in February 2005. The project has been structured in 4 work packages, each dealing with a specific major task. The work packages have a strong interaction respectively they depend on each other concerning their outcome. The consortium consists of scientists, representatives of the Austrian forestry and woodworking industry. This guarantees a focussed and applied progress of the project.

Specimens – harvesting, processing and preparation

In cooperation with the local foresters trees have been selected on 2 different sites in Austria, following quality criteria set by a national quality grading system. All parameters that could have influenced the wood properties were documented. The logs were brought to the saw mill of one of the industrial partners, where they were assessed concerning their log quality again. Additionally a first non destructive strength grading using ultra sonic technique was carried out. Following specific sawing patterns the logs were processed using a band saw.

Afterwards the boards and log pieces were marked concerning their previous location in the logs and kiln dried. The logs were brought to the Technical University in Graz/Styria, where the strength test were carried out. The specific log section were brought to the BOKU Vienna (Institute of Wood Science and Technology), where the macroscopic and microscopic analyses were carried out.

Determination of the strength properties of boards depending on the location in the log

In addition to a machine strength grading of all boards they were also graded again by using the same ultra sonic technique as used before at the logs. Small pieces of each log have been cut off in order to determine some influencing properties like for instance ring width. Digital photos were made applying a special camera in order to get detailed information about the knottiness of the boards. Following a third, visual, grading with reference to ÖNORM DIN 4047-1 was carried out.

Then all boards were tested concerning their tensile strength and modulus of elasticity.

Determination of specific macroscopic and microscopic properties depending on the location in the log

Ring width and latewood proportion were measured using an incident light microscope. Ring width shows a large variety between 0,8 and 8,5 mm.

Density has been determined in 2 different ways: Stereo metrical and X-ray scanning. Density shows a slight radial increase towards bark.

Spiral grain was measured using a specific assembly showing that this wood property is not a major problem of large diameter round wood, the angles are very low and change from left to right.

In order to determine the fibre length late and early wood was manually separated in every tenth year ring along a radial area. Then specific chemicals were used for maceration of the wooden specimens. Thus the gained fibre bundles were separated again into single fibres and measured using a specific arrangement attached on the transmitted light microscope. Surrounding the pith the fibre length does not exceed 2,5 mm, between 60 to 80 years of age the highest increases in fibre length are found up to 7,5 mm.

The lignin content was found out using Near Infrared Spectroscopy (NIR). The lignin content shows a slight increase of about 1,5 % towards bark.

The strength test using small clear specimens showed a decrease of strength properties on the butt logs and a slight increase on the middle and top logs.

Special cell parameters like cell wall thickness, lumen diameter, micro fibril angle or coarseness could be measured by using the unique and outstanding measurement device called SILVISCAN® at the CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) in Melbourne, Australia. All measured parameters show a significant increase in direction bark.

After gaining all data they were used to create simple models showing the distribution of selected properties from butt end to top end and from pith to bark.

Basic concepts for an optimised utilisation of large diameter timber

It was planned to use all data concerning material properties and their correlation to their location on the stem for creating a new, decision preparing tool for saw millers and end users of products of large diameter round wood.

The software tool named ECODESIGN PILOT served as an example. ECODESIGN PILOT is used by construction engineers and product designers in order to get support in terms of appropriate strategies and explicit means of sustainable product development and product innovation. ECODESIGN PILOT covers the whole life cycle of a product from planning to recycling.

Regarding the major goal of the project – increasing the use of large diameter roundwood – main emphasis was put on the regaining of awareness of the potential of large diameter round wood. In order to spread this information among as many stakeholders as possible, the web solution was found most suitable.

The simple and user friendly structure of the web site combined with a very clear and sound knowledge base is seen to be an appropriate tool for finding new concepts for processing and utilisation large diameter round wood concerning its specific properties. Moreover the positive properties are shown in accordance to a positive environmental performance, which is the first step for a future marketing and labelling initiative.

The web application will be updated concerning the contributions of user, foresters, product planners, processors et cetera and can furthermore serve as a marketing and information base.

Einleitung

Problembeschreibung und allgemeine Einführung in das Projekt

Die österreichische Forst- und Holzwirtschaft erwirtschaftete im Jahr 2000 einen Exportüberschuss von 2,31 Milliarden Euro, was den zweitstärksten Exportfaktor in Österreich ausmacht und die wirtschaftliche Bedeutung der Forst- und Holzwirtschaft für Österreich - auch als Arbeitgeber für rund 290.000 Menschen - eindrucksvoll unterstreicht.

Österreichs Forstwirtschaft alleine kann den Bedarf an Rohstoff für die Holzindustrie nicht decken, rund 33% der in Österreich verarbeiteten Rundholzmenge wird jährlich importiert, unter anderem auch deswegen, weil einerseits durch nicht durchgeführte Durchforstungen Holz in den gewünschten Dimensionen nicht auf den Markt kommt und andererseits ein großer Teil des stehenden Holzvorrates in Österreich in Altersklassen und somit auch in Durchmesserklassen liegt, welcher für eine hochautomatisierte Verarbeitung nicht mehr geeignet ist.

Je nach Betriebsart bewegt sich der Anteil der Altersklassen über 80 Jahre am Gesamtvorrat zwischen 45 und 63% im Ertragswald, der Anteil an Altersklassen über 80 Jahre im Schutzwald in Ertrag geht sogar bis zu einer Höhe von bis zu 85%. Die Forstwirtschaft im Gebirgsraum ist verbunden mit hohen Ernte- und Bringungskosten, bedingt einerseits durch Steilheit und Unzugänglichkeit des Geländes, andererseits aus ökologischen Gründen, z. B. eingeschränkter Forststrassenbau aus Bodenschutzgründen. Eine wirtschaftliche Waldbauform ist dadurch nur mit langen Umtriebszeiten und wenigen Eingriffen machbar. Da aber die Preise für Starkholz nicht einmal die Ernte- und Bringungskosten decken, werden notwendige Eingriffe nur in einem geringen Ausmaß durchgeführt, was zu einer Überalterung der Bestände, insbesondere im Schutzwald führt. Die Folge der Überalterung ist ein Verlust der Vitalität der Bäume bei gleichzeitiger Verringerung der Holzqualität. Zum ökologischen Schaden kommt daher auch ein wirtschaftlicher Verlust.

Alle Länder Mitteleuropas, welche auch einen gewissen Anteil an Gebirgswald aufweisen, kämpfen mit demselben Problem. Die Konkurrenz aus Ländern, in welchen unter anderem Plantagenforstwirtschaft betrieben wird und die Ernte durchwegs automatisiert und kostengünstig durchgeführt werden kann, ist sehr groß. Das Holz hat die gewünschte Dimension und einheitliche Qualität, der Preis ist auch inklusive der Transportkosten über weite Strecken unter jenem des österreichischen Gebirgsholzes.

Es müssen Wege gefunden werden, um die Produkte der österreichischen Gebirgsforstwirtschaft - in diesem Falle Starkholz - am Markt konkurrenzfähig zu machen. Dies ist eine entscheidende Frage nicht nur für die Unternehmer in der Forstwirtschaft, sondern auch für viele kleinstrukturierte Weiterverarbeiter in ländlichen Gebieten, welche dem Druck der großen Holzindustrien nicht mehr standhalten können, ohne eine Nische zu finden. Zudem ist dies ein wichtiger Beitrag für den nachhaltigen Erhalt der Gebirgswälder, welche auch wichtige Schutz- und Versorgungsfunktionen übernehmen.

Alle maßgeblichen Vertreter der Forstwirtschaft sowohl in Österreich als auch in den angrenzenden Ländern Mitteleuropas sind sich des „Starkholz-Problems“ bewusst und suchen derzeit intensiv nach Lösungsansätzen, die in der innovativen und optimierten Weiterverarbeitung des Holzes liegen.

Die Ergebnisse des angestrebten Projektes, welches einer wirtschaftsbezogenen Grundlagenforschung zugeordnet wird, sind das unbedingt notwendige Rüstzeug, um Beispielprozesse und Beispielprodukte zu entwickeln, die sich in weiterer Folge am Markt durchsetzen können. Um dieses Ziel zu erreichen, sind bereits in dieser frühen Phase die betroffenen Akteure aus Forstwirtschaft, weiterverarbeitender Industrie und Cluster-Organisationen aktiv in das Projekt einbezogen. Deren Erfahrungen und Zielvorstellungen werden bereits nach der ersten Phase des Projekts mit den Ergebnissen der holztechnologischen Untersuchungen verknüpft, um zielorientiert und marktorientiert Konzepte für optimierte Verarbeitungsprozesse, innovative Technologien und Produkte zu erstellen.

Anbindung an den Inhalt der Ausschreibung

Die Ziele und der Inhalt dieses Projektvorschlages können in verschiedenen Abschnitten 3 Themengebieten der aktuellen Ausschreibung zugeordnet werden:

Neue Möglichkeiten der chemischen und technischen Verwendung etablierter biogener Rohstoffe

Der etablierte biogene Rohstoff Holz - in diesem vorgeschlagenen Projekt fokussiert auf Starkholz mit einem BHD von > 40 cm – wurde konkret auf seine Eignung für neue technische Anwendungsbereiche überprüft. Hauptsächliche Abnehmer für Starkholz sind Zulieferer für die Holzfensterproduktion, ein Markt, welcher hart umkämpft ist und von anderen Werkstoffen bereits zurückgedrängt wurde. Starkholz bietet aufgrund seiner Variationen der Faser- und Festigkeitseigenschaften die Möglichkeit, bei intelligenter und nutzungsbezogener Auftrennung, das Material für weitere Anwendungen aufzubereiten bzw. wirtschaftlich interessant zu machen. Die Einsatzbereiche liegen von festigkeitsoptimierten Lamellen für die Brettschichtholzproduktion bis zur Produktion von hoch reißfesten Papiersorten.

„Missing Links“ in der Produktionskette nachwachsender Rohstoffe

Das „Missing Link“ in der Vermarktung und Verarbeitung von Starkholz liegt in erster Linie an fehlenden Forschungsergebnissen über die Verteilung der unterschiedlichen Holzeigenschaften über den Stamm und deren Entwicklung gemäß des Alters und der entsprechenden Durchmesserklassen. Dadurch haben sowohl Anbieter als auch Weiterverarbeiter keine Chance, das Holz gemäß seiner Eignung wirtschaftlich optimal zu nutzen. Die Forstwirtschaft kann die Qualitäten des Starkholzes nicht in einen entsprechenden Preis bei passenden Kunden umsetzen, die Weiterverarbeiter können es nicht eigenschafts- und nutzenoptimiert Auftrennen und zu höherwertigen Produkten verarbeiten. Diese Kluft spiegelt sich in empfindlichen Preisabschlägen für Starkholz wieder. Dieses Projekt wird durch seine Forschungsergebnisse entscheidende Wissenslücken schließen und mit konkreten Einschnitts- und Nutzungsvorschlägen den ersten Schritt zu einer geschlossenen Produktionskette Starkholz setzen.

Entwicklung neuer Prozesse und Technologien auf der Basis nachwachsender Rohstoffe

Im Zuge des Projektes wurden grundlegende Daten zu Festigkeits- und Fasereigenschaften und deren Verteilung über den Stamm gewonnen. Nur aufgrund dieser Erkenntnisse ist es möglich, sowohl Grundkonzepte für neue Programme, welche den nutzungsoptimierten Einschnitt eines Stammes ermöglichen, zu entwerfen als auch in erster Linie die Einschnitttechnologien beispielsweise bezüglich der Leistungsfähigkeit und Flexibilität weiter zu entwickeln. Ebenso kann man nunmehr auf ein gesichertes datenmaterial zurückgreifen, um neue Technologien in der Faseraufbereitung wie auch zur Bereitstellung zu entwerfen.

Ziele und Schwerpunkte der Arbeit

Um das übergeordnete Ziel des Projektes - Erhöhter Absatz von Starkholz aufgrund innovativer und nutzungsorientierter Technologien und Produkte - zu erreichen, mussten folgende Fragen beantwortet werden, die bis dato noch nicht ausreichend und mit der nötigen Tiefe behandelt wurden:

- Wie verändern sich die Holzeigenschaften im Zusammenhang mit der Lage im Stamm mit zunehmendem Alter und Durchmesser des Baumes?
- Wodurch werden die Holzeigenschaften beeinflusst?
- Kann ein statistisch abgesichertes Modell bezüglich der Faser- und Festigkeitseigenschaften in Starkholzstämmen gefunden werden?

Die vorliegenden Fragen konnten durch die Durchführung der Arbeitspakete 1-3, in welchen die Stämme gewonnen, zu Probenmaterial aufbereitet und sowohl in Bauteilgröße oder in Form von kleinen, fehlerfreien Proben geprüft und analysiert wurden, größtenteils beantwortet werden.

Es ist möglich, ein sehr einfaches Modell zu entwerfen. Die Holzeigenschaften sind einer sehr großen Streuung unterworfen, dass man die vorliegenden Modelle sicher noch einer weiteren Ausdifferenzierung unterziehen muss. Allerdings zeigen sie sehr schön, inwiefern die Holzeigenschaften vom fortschreitenden Stammesalter beeinflusst werden und dass diese Hypothese eindeutig bewiesen ist.

Die Projektpartner aus der Forstwirtschaft werden an den gewonnenen Daten auch klar die Einflüsse der waldbaulichen Behandlung – von der Bestandesbegründung über Pflegemaßnahmen bis zur Ernte – sowie der Standorte und deren Eigenschaften selber erkennen.

Vor Beginn des vorliegenden Projektes wurden aber auch noch andere Fragestellungen aufgeworfen:

- Können die Einschnittmodelle den Eigenschaften optimal angepasst werden?
- Wer profitiert von der Einschnitt- und Nutzungsoptimierung und in welchem Ausmaß?
- Wie kann man den Kundennutzen schon im Vorfeld der Einschnittoptimierung einplanen?
- Ist es möglich und sinnvoll, Produkten aus Starkholz durch ein Label eine eigene Identität zu geben?

Anhand der Aufbereitung der Daten im Arbeitspaket 4 zur Vorbereitung von Konzepten für eine Nutzungsoptimierung von Starkholz wurde ersichtlich, dass ein wichtiger Schritt in der vorangegangenen Fragestellung übersehen wurde: Die Darstellung der wichtigsten Informationen über Starkholz und seine Eigenschaften in einer Weise, dass alle daran Interessierten – Forst, Holzverarbeitung und Endverbraucher - dieselben Kenntnisse haben und über eine gemeinsame Wissensbasis verfügen.

Aus der Kenntnis der besonderen Eigenschaften von Starkholz und deren mögliche optimale Nutzung kann bereits ein Entwicklungsimpuls gesetzt werden. Daher wurde zur Aufbereitung der Daten und zur Konzeption der Nutzenoptimierung eine Internetlösung gewählt, die frei zugänglich ist und beliebig erweiterbar ist.

An klare Grenzen stößt man derzeit im Bezug auf bereits brauchbare Einschnittmodelle, da die Weiterverarbeitungskette noch nicht ausreichend in das vorliegende Grundlagenprojekt eingebunden werden konnte. Dafür sind Kooperationen mit der weiterverarbeitenden Industrie, die sich auch ganz konkret mit Faserprodukten auseinandersetzen soll und mit Maschinenherstellern notwendig.

Das Label ist für die Projektpartner nach den vorliegenden Ergebnissen noch nicht die höchste Priorität, es sind nunmehr die technische Verwertbarkeit und deren Methodik die nächsten große Schritte.

Angaben über bereits vorhandene Studien, die zentral für das Vorhaben sind

Die Starkholzfrage entlang der Verarbeitungskette Forstwirtschaft/Holzwirtschaft wurde erstmals 1990 thematisiert und in einer anschließenden Studie bearbeitet (Senitz 1992). Es wurde dabei die Bedeutung des Starkholzes (Baumstämme mit über 50 cm Brusthöhendurchmesser bzw. Sägebloch mit über 40 cm Mittendurchmesser) hinsichtlich der Vorratsentwicklung im Forst und hinsichtlich der waldbaulichen Notwendigkeit erkannt. Die waldbauliche Notwendigkeit ist wiederum einerseits durch betriebswirtschaftliche Rahmenbedingungen einer längeren Umtriebszeit im Gebirgswald an geeigneten Standorten und andererseits durch die Forderung nach einer naturnahen Waldwirtschaft gegeben (Spörk 2002).

In der 1992 abgeschlossenen Starkholzstudie wurden zwar eine wesentliche Basis zur Problemanalyse und entsprechende Lösungsansätze geschaffen, die aber mangels geeigneter Technologien vorerst nicht umgesetzt werden konnten (z.B. internal scanning). Weiters waren bestimmte technologische Potenziale wie die Festigkeitssortierung von Holz, fraktionierte Bereitstellung von Sägehackgut etc. aufgrund mangelnder Normen und Richtlinien nicht nutzbar. Dem Starkholzproblem der Forstwirtschaft konnte damit nur über einige Produktnischen (Anon. 2001a) die Spitze genommen, das Problem damit jedoch nicht gelöst werden. Mit der weiteren Zunahme der Starkholzreserven im Forst (siehe Spörk 2002 und Brosinger et al. 2001) wurde und wird die Starkholzfrage in mehreren Studien (Aukofler et al. 2000, Zeltner 1999), sowie bei folgenden Tagungen und Kolloquien erneut thematisiert.

- Holzwirtschaftliches Kolloquium TU München/Freising (Anon. 2001b)
- Starkholzkolloquium Salzburg (Anon. 2002, Teischinger 2002)
- Starkholztag Hauptverband der Land- und Forstwirtschaftsbetriebe Ligist (Heidlbauer 2002)
- Holz – echt stark! Starkholz – ungehobener Schatz des Bergwaldes.
30. Internationales Forst- und Holzsymposium im Rahmen der Internationalen Holzmesse Klagenfurt, 29. August 2002

Aufbauend auf die Diskussion wurde an der Universität für Bodenkultur im WS 2001/2002 im Rahmen einer interdisziplinären Projektstudie (BOKU LV Nr. 430.430) mit Forstwirtschaftsstudenten eine aktuelle Bestandsaufnahme zum Thema Starkholz vorgenommen. Mit der Etablierung der Festigkeitssortierung in den einschlägigen Baunormen (Teischinger 1998) und der Diskussion um die Qualität des Hackgutes (Ofner 2001) ergeben sich gänzlich neue Möglichkeiten der Grundlagenforschungen im Bereich der materialspezifischen Analyse von Starkholz und deren wirtschaftlicher Umsetzung.

Beitrag zu den Gesamtzielen der Programmlinie Fabrik der Zukunft und zum Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Bei diesem vorliegenden Projekt werden die Grundlagen für innovative Produktionsmethoden und –technologien erforscht, um den Einsatz der nachwachsenden Ressource Holz effizient und nutzenorientiert zu gestalten. Dabei liegt der Schwerpunkt am Produktnutzen bzw. an der Orientierung der Wünsche der Verarbeiter und der Endverbraucher. Die Kenntnis spezifischer Kenngrößen von Starkholz wird ein optimiertes Nutzen des Gesamtstammes ermöglichen.

Zu den sieben Leitprinzipien einer nachhaltigen Technologieentwicklung kann das Projekt folgendes beitragen:

- ***Dienstleistungs-, Service- und Nutzenorientierung:***

Es gibt einen Versorgungsüberhang von Starkholz, dessen Potential noch nicht ausreichend erforscht wurde und damit nicht optimal genutzt werden kann. Potentielle Kunden für Starkholzprodukte können nur mit belegbaren Produkt- und Service-Vorteilen dazu bewegt werden, einen konkurrenzfähigen Preis für Starkholz zu bezahlen. Der Nutzen dieses Projekts liegt darin, die Grundlagen zu schaffen, das Starkholz eigenschaftsorientiert zu verarbeiten. Weiterverarbeiter erhalten genaue Informationen über das von Ihnen eingesetzte Holz und können es entsprechend ihren Anforderungen einsetzen. Für alle Beteiligten in der Produktionskette – Forst - Erstverarbeiter – Weiterverarbeiter bedeutet dies gleichzeitig eine Wertsteigerung des Produktes und eine Möglichkeit der genaueren Kalkulation.

- ***Nutzung erneuerbarer Ressourcen:***

Starkholz ist eine erneuerbare Ressource, welche in Österreich bereits in einem zu großen und ständig wachsenden Ausmaß vorhanden ist und deren Nutzung eng mit den Traditionen und der wirtschaftlichen Entwicklung besonders der ländlichen Regionen verbunden ist. Das Starkholz erfährt aus verarbeitungstechnischen Gründen eine Diskriminierung am Markt, demgemäß soll dieses Projekt dazu beitragen, diese natürliche Ressource entsprechend ihrem technologischen Potential wirtschaftlich und nachhaltig zu nutzen.

- ***Effizienzprinzip:***

Die in diesem Projekt durchgeführten grundlegenden Forschungsarbeiten und auch insbesondere die daraus erarbeiteten Modelle und Konzepte gehen davon aus, das Grundmaterial Baum so effizient wie möglich zu nutzen, d.h. dass so viele Stammteile wie möglich einem höheren Nutzen zugeführt werden können. Außerdem soll durch eine abgestimmte Arbeits- und Produktplanung der Energieeinsatz und somit auch der wirtschaftliche Output optimiert werden. Ein nutzenorientierter Einschnitt kann üblicherweise nachfolgende Arbeitsschritte minimieren und damit sowohl Energie-, Manipulations- und Materialkosten einsparen.

- ***Rezyklierungsfähigkeit***

Bei Nutzung von Holz als Ausgangsmaterial kann von einer Rezyklierungsfähigkeit der angestrebten Produkte eindeutig ausgegangen werden. Aufgrund der gefundenen Fasereigenschaften wird auch angestrebt, Frischfasern zur Qualitätssteigerung in bereits recyceltes Papier einzubringen – das bedeutet, die Ergebnisse des Projekts kommen möglicherweise auch einem bereits im Recyklierungsprozess befindlichen Holzprodukt zugute.

- ***Einpassung, Flexibilität, Adaptionsfähigkeit und Lernfähigkeit***

Die in diesem Projekt gewonnenen Erkenntnisse in Bezug auf Eigenschaften und deren Verteilung im Starkholz sollen dazu dienen, Technologien, die sich derzeit am Stand der Technik befinden und auch österreichweit in regionalen Klein- und Mittelbetrieben eingesetzt werden, effizienter und nutzenorientierter einzusetzen. Damit wird auch eine höhere Flexibilität am Markt ermöglicht, da beispielsweise ein Sägewerker besser auf die unterschiedlichen Kundenanforderungen eingehen kann. Die Forstwirtschaft kann das Starkholz an mehrere regionale Abnehmer liefern, womit sich die Bandbreite der Kunden erhöht und die Abhängigkeit von wenigen Großabnehmern sinkt. Ebenso können Verarbeitungstechnologien dem Material besser angepasst werden

- ***Fehlertoleranz und Risikovorsorge***

Da die Starkholzverarbeitung vorerst nicht in hochautomatisierten Großindustrien vorgenommen werden kann, geht dieses Projekt derzeit von einer Verarbeitung in regionalen Klein- und Mittelbetrieben aus. Holzverarbeitende Betriebe mit vorwiegend Massivholzverarbeitung stellen bereits jetzt keine potentielle Gefahr für gesamte Landstriche und Generationen dar, die umweltrelevanten Auswirkungen der Betriebe sind eindeutig definierbar. Auch die Papier- und Zellstoffindustrie hat sich in den letzten Jahrzehnten von einer massiv umweltbelastenden Sparte zu einer Vorzeigeindustrie mit sehr hohen Auflagen und Umweltstandards gewandelt.

Eine nachhaltige Nutzung der Starkholzreserven trägt zusätzlich zur Risikovorsorge bezüglich Naturgefahren bei. Ein überalterter Wald kann nicht mehr ausreichend die Funktionen im Hinblick auf Wasserspeicherung, Erosionsschutz oder Lawinenschutz erfüllen und stellt somit eine Gefahr für weite Regionen dar (z.B. Hochwasser). Dieser kann und muss durch vermehrte Nutzung der alten Starkholzstämmen entgegengewirkt werden. Eine vermehrte Entnahme der alten Stämme in Kombination mit gezielten Verjüngungsmaßnahmen verbessert die Vitalität der Bestände und somit auch ihre natürliche Schutzfunktion.

- ***Sicherung von Arbeit, Einkommen und Lebensqualität***

Das Projekt soll die Grundlage bilden, um in weiteren Forschungs- und Entwicklungsvorhaben bzw. Demonstrationsprojekten konkrete Schritte in Richtung Regionalentwicklung mit Hilfe einer innovativen Starkholzverarbeitung zu setzen.

Grundsätzlich ist die nachhaltige Sicherung und Schaffung von Arbeitsplätzen immer von der wirtschaftlichen Entwicklung einer Region abhängig. Da Starkholz zum Großteil in Bergregionen produziert wird, wo sich aufgrund der mangelnden Infrastruktur kaum Industrie- und Handelsbetriebe ansiedeln, können dort Weiterverarbeiter, in erster Linie Klein- und Mittelbetriebe, durch nutzenoptimierte Verarbeitungsverfahren und -technologien mit (Nischen)Produkten sowohl den regionalen als auch den (inter)nationalen Markt bedienen. Durch die räumliche Nähe von Produzent, Weiterverarbeiter und eventuell auch Konsument sind kurze Transportwege und just-in-time-Lieferungen möglich („Das Holz der kurzen Wege“). Dadurch können Arbeitsplätze geschaffen werden, welche unterschiedliche Qualifikationsprofile vom Arbeiter bis zum Marketingspezialisten ansprechen und ein erhöhtes durchschnittliches Nettoeinkommen der Bewohner einer Region ermöglichen.

Diese Intention entspricht auch der Common Agricultural Policy (CAP) der Europäischen Union, die ein spezielles Förderprogramm für Regionen und regionale Produkte vorsieht, um die ländliche Entwicklung zu unterstützen. Durch eine verstärkte Nachfrage nach Starkholz kann auch ein fairer und konkurrenzfähiger Preis erzielt werden, der den Forstbetrieben eine nachhaltige und wirtschaftlich einträgliche Bewirtschaftung der Wälder im Gebirgsraum ermöglicht. Diese ist eine der Grundvoraussetzungen für eine hohe Lebensqualität in den Regionen, da diese nicht nur primär vom wirtschaftlichen Umfeld abhängt, sondern auch von den vielen Nebenfunktionen eines Waldes, wie zum Beispiel der Schutz vor Erosionen, Lawinen- und Murenabgängen, die Bereitstellung von Trinkwasser und die Funktion als Erholungsraum, welche auch touristisch genutzt werden kann.

Aufbau der Arbeit

Der vorliegende Endbericht gliedert sich grundsätzlich in die allgemeinen Teile, die diesem Abschnitt vorangegangen sind, wobei sich eine starke Orientierung an die Vorgaben der Programmlinie Fabrik der Zukunft.

Kurzfassungen und Zusammenfassungen in Deutsch und Englisch sowie die Anbindung des Projekts an die Ziele und die Leitprinzipien der Programmlinie FDZ sowie die Einschätzung der Zielerreichung gehen diesem gliedernden Abschnitt voran.

Es folgt der große Abschnitt der Darlegung aller Arbeiten und Ergebnisse, wobei dieser Abschnitt in 4 Arbeitspakete gegliedert ist und generell die Methodik, die Ergebnisse und die Schlussfolgerungen enthält.

Gefolgt wird dieser Abschnitt von Arbeitsschritt-übergreifenden Schlussfolgerungen, die in die Empfehlungen für weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sowie die Einbindung neuer Zielgruppen und Märkte übergehen.

Beschreibung der Methodik und der Ergebnisse

Arbeitspaket 1: Gewinnung und Vorbereitung des Versuchsmaterials

1.1 Auswahl der Versuchsstämme nach Lage und Qualität

Mit Hilfe der Förster wurden in den einzelnen Revieren die Stämme ausgewählt. Kriterien der Qualitätsansprache waren hauptsächlich Astigkeit, Abholzigkeit und evt. Schäden bzw. Verletzungen des Baumes (Abb. 1). Da Stämme mit Braunkern für die Untersuchungen nicht herangezogen wurden, mussten einige gefällte Bäume ausgeschieden werden. Um dies zu verhindern, wurde vor dem Fällen ein "Herzstich" vorgenommen, um anhand der Spänefarbe auf die Qualität rückschließen zu können.

Nach der Auswahl eines geeigneten Baumes wurden das umliegende Gelände, die Geländeneigung, der Stamm und das Kronendach des zu fällenden Baumes genau dokumentiert und fotografiert, um die Möglichkeit zu haben, den Einfluss der Baumphysiologie auf die Holzeigenschaften zu analysieren. Als nächstes wurde der Wurzelansatz in der Höhe von 80 cm bzw. die Richtung der Handneigung markiert und der BHD (Brusthöhendurchmesser) kreuzweise mit einer Genauigkeit von +/- 0,5 cm vermessen.

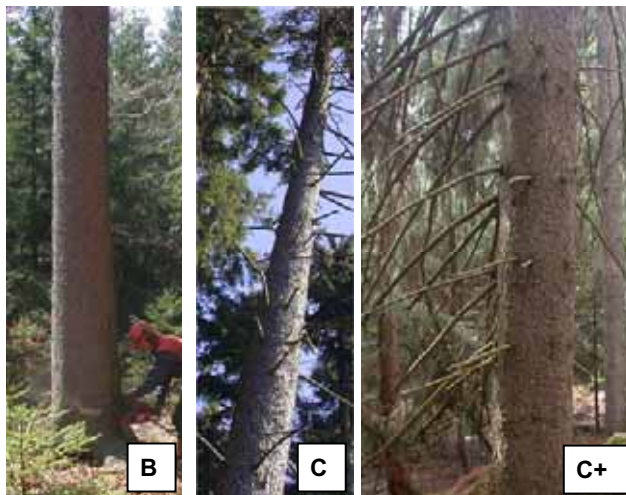


Abb. 1: Typische Bäume der Qualität B (links), C (mitte) und C+ (rechts)

1.2 Fällung und Abtransport ins Sägewerk

Nach dem Fällen und Entasten wurde die Gesamtlänge des Baumes abgemessen. Weiters markierten die Forstarbeiter mit Hilfe eines 5 - 8 cm tiefen Einschnittes die Talseite am liegenden Baum und trennten den 80 cm langen Wurzelansatz ab.

Gemeinsam mit dem Revierförster hat nach dem Fällen die endgültige Qualitätsansprache stattgefunden, da erst zu diesem Zeitpunkt eine genaue Ansprache möglich war bzw. Braunkern ausgeschlossen werden konnte.

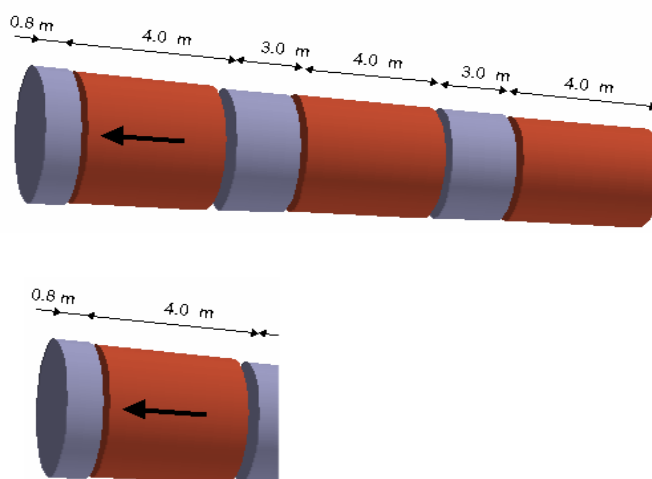
Als nächster Schritt folgte die Auftrennung des Baumes in Bloche nach folgendem Schema:

Abb. 2: Auftrennungsschema

1 x „Vollbaum“
(Erd-, Mittel- und Oberbloch)

1 x Erdbloch

pro: * Region
* Höhenstufe
* Qualität



Sofort nach dem Auftrennen in Bloche wurden diese auf der Mantelfläche (auf der Rinde) beschriftet, um jede Verwechslung auszuschließen.

Die einzelnen Bloche wurden dann so zueinander bewegt bzw. gerollt, dass ein freier Blick auf die Schnittfläche möglich war. Nach der Reinigung der Stirnflächen mit einer Drahtbürste sprühten die Mitarbeiter die genaue Bezeichnung des Bloches auf.

Anschließend wurden die Durchmesser an den beiden Enden der Bloche kreuzweise vermessen und das Aussehen der Wurzeln dokumentiert bzw. fotografiert.

Die Bloche wurden an die Forststraße gerückt, dort bis zum Abtransport gelagert und schlussendlich ins Sägewerk Schaffer nach Eppenstein transportiert.



Abb. 3: Beschriften der Probestämme

1.3 Visuelle Sortierung und Beschreibung der Stämme

Die Bloche wurden aus den einzelnen Forstverwaltungen zum Sägewerk Schaffer nach Eppenstein transportiert. Nach der Entrindung der Stämme erfolgte eine weitere Beschriftung der Stämme und eine zweite visuelle Qualitätsansprache aus der Sicht des Sägers in Anlehnung an die Österreichischen Holzhandelsusancen.

Zum Zwecke einer möglichst frühzeitigen Erkennung der aus dem Rundholz zu gewinnenden Schnittholzqualität im bezug auf Astigkeit und Festigkeit wurden an den Blochen am Lagerplatz vor dem Einschnitt eine Ultraschallmessung mit dem mobilen Ultraschallgerät ‚Sylvatest‘ durchgeführt.

Dazu wurden an den Blochen über den Querschnitt verteilt an fünf Stellen Einzelmessungen zur Ermittlung der Laufzeit durchgeführt.

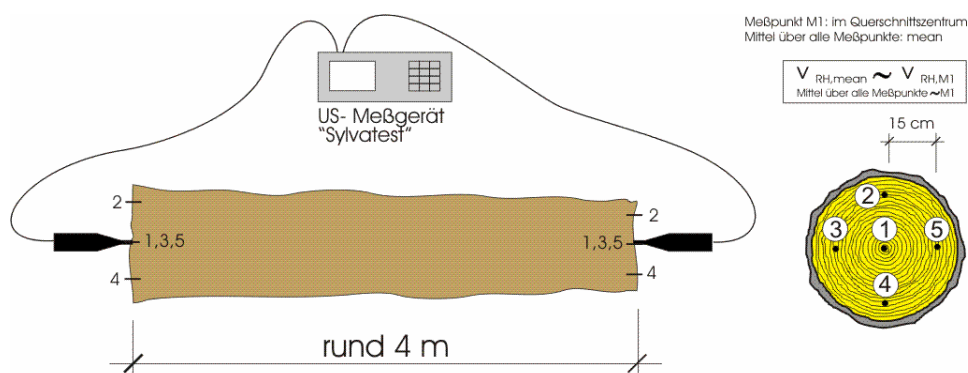


Abb. 4: Ultraschallmesspunkte an den Rundholzstämmen

An Blochen mit größerem Durchmesser erfolgte die Messung an neun Stellen. Um die Ultraschallgeschwindigkeit ermitteln zu können, wurde die Länge des Rundholzes mittels Maßband gemessen. Eine Zusammenfassung der Lageparameter für den Mittelwert der Einzelmessungen an einem Stamm gemäß der statistischen Auswertung enthält die unten stehende Tabelle 1.

Tab. 1: Ergebnisse der Ultraschallmessung an den Rundholzproben

Auswertung nach	Bezeichnung	Anzahl	Min	Mittelwert	Max	Standardabweichung	Variationskoeffizient	Schiefe	Exzess
		[-]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[%]	[-]	[-]
-	Alle	71	3966	4959	5563	371,3	7,49	-0,80851	0,31021
Herkunft	Alpenost- rand	35	4128	4912	5563	359,8	7,32	-0,15616	-0,43884
	Mühl- und Waldviertel	36	3966	5004	5447	381,8	7,62	-1,44731	1,78408
Höhen- stufe	300 – 500 m	24	4217	5157	5563	330,5	6,41	-1,45052	2,24954
	500 – 900 m	23	4128	4936	5428	315,2	6,39	-0,86855	0,56972
	> 900 m	24	3966	4782	5443	375,5	7,85	-0,75830	0,24336
Rundholz- klasse	B	25	3966	5110	5563	351,8	6,88	-1,47064	3,40876
	C	24	4128	4895	5277	306,1	6,25	-1,13014	0,93082
	C+	22	3973	4857	5447	415,8	8,56	-0,43679	-0,70411
nach Lage im Baum	1. Bloch	36	4278	5022	5563	324,4	6,46	-0,61515	-0,05115
	3. Bloch	18	4360	4977	5499	316,1	6,35	-0,18073	-0,78152
	5. Bloch	17	3966	4806	5526	482,3	10,04	-0,67293	-0,76161

Anmerkung:

Die Daten des Bloches Nr. 35 wurde aus der Auswertung genommen, da die Ultraschall- Kennwerte auf einen statistischen Ausreißer hindeuteten; somit verbleiben 71 Bloche in der Auswertung. Wie sich zeigte, erfolgte dies zurecht, da dieses Bloch offensichtlich eine Vorschädigung durch einen überwachsenen Wipfelbruch aufwies.

1.4 Einschnitt nach Vorgabe und Vorbereitung des Versuchsmaterials

Vor dem Einschnitt des Rundholzes wurden alle Beschriftungen und Markierungen sorgfältig kontrolliert. Anschließend trennte man mit Hilfe einer Bandsäge die Bloche gemäß einer vorab festgelegten Einteilung in Seitenware und ein Model für die Hauptware auf

Von der Seitenwaren wurde jeweils ein Abschnitt von ca. 35 cm Länge abgetrennt), beschriftet und für die Untersuchungen am Institut für Holzforschung beiseite gelegt.

Der Rest der Seitenware ist im Sägewerk zurückgeblieben und wurde dort verwertet.



Abb. 5: Erster Einschnitt zum Abtrennen der Seitenware

Die Model wurden anschließend folgendermaßen beschriftet:
Zuerst wurde der Modelabschnitt angezeichnet. Das aufgesprühte "Zick-Zack-Muster" deutet auf jene Seite des Models hin, welche talseits orientiert war.

Nach dem Abtrennen des Abschnittes wurde auf der frischen Schnittfläche die Probennummer aufgetragen. Abschließend wurde noch ein Entlastungsschnitt angebracht, um ein Einreißen der Probe während der Trocknung zu verhindern.

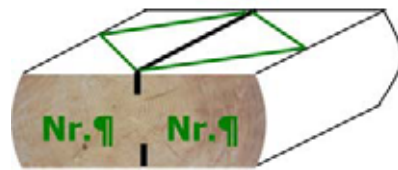
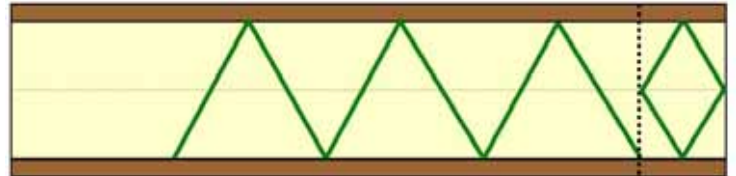


Abb.6: Modelbeschriftungen und Farbcodes

Im nächsten Arbeitsschritt wurden die Model mit einem Farbcode versehen, um eine spätere eindeutige Zuordnung der daraus eingeschnittenen Bretter (Lamellen) mit den Ausgangsblochen zu ermöglichen.

Der Farbcode und die zugehörigen Daten des Bloches sind in Tabelle 2 zu finden.



Tab. 2: Blochnummer und zugehöriger Farbcode, die Region und die Höhenstufe

Nummer	Bloch	Stamm	Farbe	Region	Höhenstufe	Qualität
1	1 A / EB	1	M _ _ _	Alpenostrand	300 - 500	B
2	2 A / MB		M M _ _	Alpenostrand	300 - 500	B
3	3 A / OB		M M M _	Alpenostrand	300 - 500	B
4	4 / EB	2	M M M M	Alpenostrand	300 - 500	B
5	5 D / EB	3	M B _ _	Alpenostrand	300 - 500	C
6	6 D / MB		M M B _	Alpenostrand	300 - 500	C
7	7 D / OB		M M M B	Alpenostrand	300 - 500	C
8	8 / EB	4	M M B M	Alpenostrand	300 - 500	C
9	9 E / EB	5	B _ _ _	Alpenostrand	300 - 500	C+
10	10 E / MB		B B _ _	Alpenostrand	300 - 500	C+
11	11 E / OB		B B B _	Alpenostrand	300 - 500	C+
12	12 / EB	6	B B B B	Alpenostrand	300 - 500	B
13	13 F / EB	7	Y _ _ _	Mühl- & Waldviertel	300 - 500	B
14	14 F / MB		Y Y _ _	Mühl- & Waldviertel	300 - 500	B
15	15 F / OB		Y Y Y _	Mühl- & Waldviertel	300 - 500	B
16	16 / EB	8	Y Y Y Y	Mühl- & Waldviertel	300 - 500	B
17	17 G / EB	9	G _ _ _	Mühl- & Waldviertel	300 - 500	C
18	18 G / MB		G G _ _	Mühl- & Waldviertel	300 - 500	C
19	19 G / OB		G G G _	Mühl- & Waldviertel	300 - 500	C
20	20 / EB	10	G G G G	Mühl- & Waldviertel	300 - 500	C
21	21 H / EB	11	Y G _ _	Mühl- & Waldviertel	300 - 500	C+
22	22 H / MB		Y Y G _	Mühl- & Waldviertel	300 - 500	C+
23	23 H / OB		Y Y Y G	Mühl- & Waldviertel	300 - 500	C+
24	24 / EB	12	Y G Y Y	Mühl- & Waldviertel	300 - 500	C+
25	25 I / EB	13	M B M _	Alpenostrand	500 - 900	B
26	26 I / MB		M B M B	Alpenostrand	500 - 900	B
27	27 I / OB		Y G Y _	Alpenostrand	500 - 900	B
28	28 / EB	14	Y G Y G	Alpenostrand	500 - 900	B
29	29 K / EB	15	O _ _ _	Alpenostrand	500 - 900	C
30	30 K / MB		O O _ _	Alpenostrand	500 - 900	C
31	31 K / OB		O O O _	Alpenostrand	500 - 900	C
32	32 / EB	16	O O O O	Alpenostrand	500 - 900	C
33	33 L / EB	17	O B _ _	Alpenostrand	500 - 900	C+
34	34 L / MB		O O B _	Alpenostrand	500 - 900	C+
35	35 L / OB		O O O B	Alpenostrand	500 - 900	C+
36	36 / EB	18	B O B O	Alpenostrand	500 - 900	C+
37	37 M / EB	19	O G _ _	Mühl- & Waldviertel	500 - 900	B
38	38 M / MB		O O G _	Mühl- & Waldviertel	500 - 900	B
39	39 M / OB		O O O G	Mühl- & Waldviertel	500 - 900	B
40	40 / EB	20	O G O G	Mühl- & Waldviertel	500 - 900	B
41	41 N / EB	21	O B O _	Mühl- & Waldviertel	500 - 900	C
42	42 N / MB		O O B O	Mühl- & Waldviertel	500 - 900	C
43	43 N / OB		O G O _	Mühl- & Waldviertel	500 - 900	C
44	44 / EB	22	O O G O	Mühl- & Waldviertel	500 - 900	C
45	45 O / EB	23	O M _ _	Mühl- & Waldviertel	500 - 900	C+
46	46 O / MB		O O M _	Mühl- & Waldviertel	500 - 900	C+
47	47 O / OB		O O O M	Mühl- & Waldviertel	500 - 900	C+
48	48 / EB	24	M O M O	Mühl- & Waldviertel	500 - 900	C+
49	49 P / EB	25	Y B _ _	Alpenostrand	> 900	B
50	50 P / MB		Y Y B _	Alpenostrand	> 900	B
51	51 P / OB		Y Y Y B	Alpenostrand	> 900	B
52	52 / EB	26	Y B Y B	Alpenostrand	> 900	C
53	53 / EB	27	Y Y B Y	Alpenostrand	> 900	B
54	54 R / MB	28	O M O _	Alpenostrand	> 900	C
55	55 R / OB		O O M O	Alpenostrand	> 900	C
56	56 R / EB		Y B Y _	Alpenostrand	> 900	C
57	57 S / EB	29	Y M _ _	Alpenostrand	> 900	C+
58	58 S / MB		Y Y M _	Alpenostrand	> 900	C+
59	59 S / OB		Y Y Y M	Alpenostrand	> 900	C+
60	60 / EB	30	Y M Y M	Alpenostrand	> 900	C+
61	61 T / EB	31	B G _ _	Mühl- & Waldviertel	> 900	B
62	62 T / MB		B B G _	Mühl- & Waldviertel	> 900	B
63	63 T / OB		B B B G	Mühl- & Waldviertel	> 900	B
64	64 / EB	32	B G B G	Mühl- & Waldviertel	> 900	B
65	65 U / EB	33	Y M Y _	Mühl- & Waldviertel	> 900	C
66	66 U / MB		Y Y M Y	Mühl- & Waldviertel	> 900	C
67	67 U / OB		B G B _	Mühl- & Waldviertel	> 900	C
68	68 / EB	34	B B G B	Mühl- & Waldviertel	> 900	C
69	69 W / EB	35	G M _ _	Mühl- & Waldviertel	> 900	C+
70	70 W / MB		G G M _	Mühl- & Waldviertel	> 900	C+
71	71 W / OB		G G G M	Mühl- & Waldviertel	> 900	C+
72	72 / EB	36	G M G M	Mühl- & Waldviertel	> 900	C+

Legende:

EB ... Erdblock; MB ... Mittelblock; OB ... oberes Block

M ... Magenta; O ... Orange; B ... Blau; G ... Grün; Y ... Gelb (Yellow)

Anschließend wurde die Bandsäge mit den vorbereiteten und markierten Model beschnitten. Die Model wurden in ca. 700 Lamellen (40 mm Dicke) aufgetrennt und sofort gestapelt.



Abb. 7: Markierte Lamellen für die Prüfungen in Bauteilgröße

1.5 CT-Scanning der Stammabschnitte

Da der Computertomograph bei der Firma Schaffer leider zu dieser Zeit außer Funktion war, wurde dieser Arbeitsschritt erst nach dem Einschnitt gescannt an einem ausgewählten Teil der Modelabschnitte am Diagnostik-Center Ost in Graz an einem klinischen Ganzkörper-Computertopographen nachgeholt. Diese Analysemöglichkeit wurde von der Fa. Schaffer vermittelt.

Mit dieser Untersuchungsmethode können bereits erste Eigenschaften im Inneren des Stammes bzw. Stammabschnittes aufgrund der Dichteunterschiede (Äste, Buchs, Kernrisse,..) erkannt werden. Mit Hilfe von hoch aufgelösten Schichtbildern aus der Computertomographie kann auch der Drehwuchs von Stämmen mit einer hohen Genauigkeit ermittelt werden kann.

Kurzbeschreibung der Funktionsweise eines CT:

Aus einer um das Objekt, in diesem Falle Modelabschnitte, rotierenden Röntgenröhre wird Strahlung emittiert. Beim Durchtritt durch das Holz wird die Röntgenstrahlung durch die unterschiedlichen Holzeigenschaften (Dichte) geschwächt. Dieses Schwächungsprofil wird von Detektoren, die mit der Röhre gekoppelt sind, aufgefangen und gemessen.

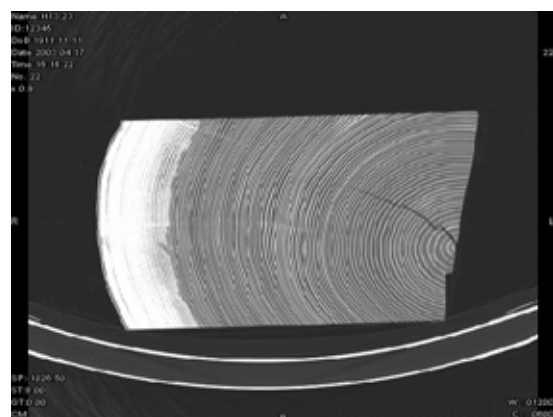
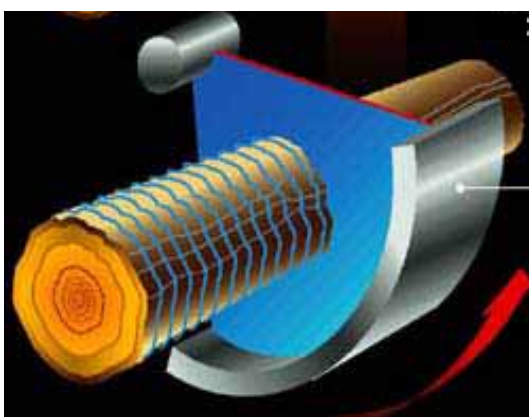


Abb. 8: Schematische Funktionsweise eines CT-Scanners und Originalbild eines Stammabschnittes

1.7 Trocknung der ausgewählten Modelabschnitte

Die Lamellen sowie die Abschnitte der Seitenware und ein Teil der Modelabschnitte wurden schonend im Sägewerk Schaffer in einer konventionellen Trockenkammer auf eine Holzfeuchte von ca. 12% getrocknet.

Die tomographierten Modelabschnitte wurden am Institut für Holzforschung in einer Labor-Trockenanlage auf eine Holzfeuchte von ebenfalls 12% getrocknet.

Die getrockneten Lamellen wurden an die TU Graz und die restliche Ware an die Universität für Bodenkultur (BOKU) nach Wien geliefert.

Arbeitspaket 2: Bestimmung der Festigkeit über Querschnitt und Höhe

2.1 Abkappen von Probestücken an den Lamellenenden

Nach der Trocknung der eingeschnittenen Lamellen auf eine Holzfeuchte von $u = 12\%$ bei der Firma Schaffer/Eppenstein wurden die Lamellen zum Betrieb der K'ANN Holz GmbH nach Kalwang/Obersteiermark transportiert und dort in der klimatisierten Lagerhalle zwischengelagert. Vor der maschinellen Sortierung wurden an den Lamellen jeweils am vorderen und hinteren Ende rund 3 bis 5 cm lange Probestücke für die spätere Auswertung der mittleren Jahrringbreite und der Lage der Lamelle im Stamm mittels Kappsägenschnitt entnommen. Die Probestücke wurden in weiterer Folge in das Bautechnikzentrum der TU Graz transportiert und in der dortigen Klimakammer gelagert.

2.2 Maschinelle Sortierung

Nach einer weiteren Zwischenlagerung wurden die Lamellen mit Hilfe der nach DIN 4074 zugelassenen Sortiermaschine ‚Grademaster 403‘ maschinell sortiert. Vor der Ermittlung der eigentlichen Sortierparameter wurden die Lamellen auf das Sollmaß 160 / 34 mm gehobelt und die Feuchte der einzelnen Bretter gemessen. Danach wurde das Gewicht der einzelnen Bretter mittels Wägezellen bestimmt und die Lamelle mittels ‚Hammerschlag‘ zu Längsschwingungen angeregt. Abschliessend wird der ‚schwächste Querschnitt‘ sowie die Brettlänge aus den Aufzeichnungen einer Scaneinrichtung basierend auf einer vierseitigen digitalen Kameraaufzeichnung ermittelt. Aus den vorgegebenen Querschnittsabmessungen und der gemessenen Länge werden die Geometriedaten bestimmt und mit Hilfe der Daten aus den Wägezellen die Rohdichte ermittelt. Mit Hilfe der Rohdichte, der aus der Längsschwingung analysierten Ersten Eigenschwingung und der Länge kann so der dynamische E-Modul errechnet werden. Dieser wiederum bildet mit einem Ästigkeitsparameter aus dem Scenvorgang einen Maschinenparameter, welcher der Zuordnung in die einzelnen Festigkeitsklassen der ÖNORM DIN 4074 – 1 – MS17, MS13 und MS10 dient. Für die Sortierung in die Festigkeitsklasse MS 7 ist die angeführte Sortieranlage nicht zugelassen.

Alle oben angeführten Einzelparameter wurden während des Sortierprozesses aufgezeichnet und stehen somit für die Auswertung im Zuge des weiteren Projektverlaufes zur Verfügung.



Abb.9: Übersicht über die Sortieranlage ‚DIMTER Grademaster 403‘

Um eine Zuordnung der Maschinendaten zu den Bezeichnungen im Rahmen des Projektes sicherzustellen, wurden die Lamellen im Anschluss an den Scanvorgang mit einer laufenden Nummer versehen. Eine Darstellung der Ausbeuteverhältnisse der einzelnen Sortierklassen enthält die unten stehende Tabelle.

Tab. 3: Darstellung der Ausbeuteverhältnisse der einzelnen Festigkeitsklassen

Anzahl maschinell sortiert	Anzahl klassifiziert	Anzahl MS 7	Anzahl MS10	Anzahl MS 13	Anzahl MS 17
677	668	255	298	73	42
	100 %	38,17 %	44,61 %	10,93 %	6,29 %

Anmerkung:

Die Differenz aus der Anzahl maschineller sortierter Lamellen von 677 Lamellen und der Anzahl der klassifizierten Lamellen von 668 ergibt sich aus der Tatsache, dass die Sortieranlage für einzelne Brettlamellen keinen Sortierparameter messen konnte. Diese Lamellen werden dann automatisch der Sortierklasse ‚MS7‘ zugeordnet. Für die Auswertung der Ausbeute wurden diese Lamellen nicht berücksichtigt.

In Anschluss an die maschinelle Sortierung wurden die Brettlamellen in das Bautechnikzentrum der TU Graz transportiert und dort zwischengelagert.

2.3 Scannen der Brettoberflächen und Auswerten von Astigkeitsparametern

Nach Durchführung der maschinellen Sortierung wurde das Schnittholz in das Bautechnikzentrum der Technischen Universität Graz gebracht und dort zwischengelagert. Um einerseits die erforderlichen Astparameter nach ÖNORM DIN 4074-1 zu ermitteln und andererseits auch eine Dokumentation der einzelnen Bretter zur Verfügung zu haben wurden deren Oberflächen mittels digitaler Farbkameras aufgenommen. Dieser Vorgang erfolgte mit Unterstützung durch das Joanneum Research, Abteilung für Digitale Bildverarbeitung, Leitung Dr. A. Rinnhofer. Die Aufzeichnung der Bilddaten erfolgte dabei so, dass alle vier Seiten eines Brettes separat in einer für die spätere Weiterverarbeitung ausreichenden Auflösung (1 mm/Pixel in Vorschubrichtung und 0,5 mm/Pixel in Querrichtung) festgehalten wurden. Um die beim Durchlauf durch den Scanner auftretenden Schwingungen zu minimieren und somit die erforderliche Qualität des digitalen Bildmaterials sicherzustellen war dabei auch die Entwicklung einer geeigneten Führungseinrichtung erforderlich.

Das Aufnahmesystem bestand dabei aus folgenden Komponenten:

- einer RGB Linescankamera (jeweils 2048 Pixel für R, G und B)
- einer Beleuchtungseinheit bestehend aus 4 über dem Aufnahmebereich angeordnete HQI – Lampen
- dem Förderband zum Transport der Holzlamellen unter dem Aufnahmebereich (Geschwindigkeit des Förderbandes ca. 1 m/s)
- einer Framgrabberkarte zur Akquisition der Aufnahmedaten
- dem Bildverarbeitungsrechner zur Steuerung des ganzen Systems
- dem Aufnahmeprogramm zur Speicherung der anfallenden Daten

Ein Aufnahmevorgang für eine Lamelle bestand aus folgenden Einzelschritten:

- Einlegen der Lamelle
- Starten der Aufnahme im Aufnahmeprogramm
- Transport der Lamelle unter dem Aufnahmebereich hindurch
- Beenden des Aufnahmevorganges und Abspeichern der Bilddaten



Abb. 10: Farbscanner zum Aufnehmen der Brettoberflächen

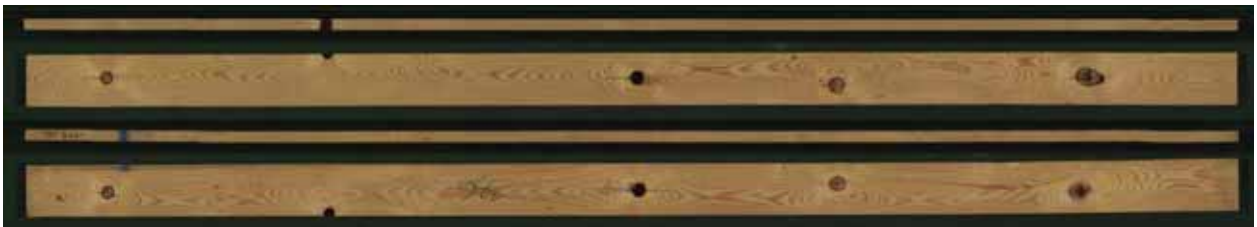


Abb.11: Gescannte Brettoberfläche der Probe 46_06

Für die Ermittlung der Astparameter wurde zunächst die automatische Weiterverarbeitung mittels spezieller Bildanalyseverfahren der Fa. Joanneum Research angestrebt. Die erzielten Ergebnisse zeigten jedoch, dass damit nicht die geeignete Zuverlässigkeit erreicht werden konnte. Somit musste die Auswertung der Astparameter auf ‚manuellem‘ Wege erfolgen, wobei angemerkt werden muss, dass wegen des immensen Aufwandes für die eigentlich nach dem Versuchsprogramm vorgesehenen Auswertung spezieller Astparameter Abstand genommen werden musste und lediglich die nach ÖNORM DIN 4074-1 erforderlichen Astparameter DEB (DIN Einzelastkriterium für Bretter) und DAB (DIN Astansammlungskriterium für Bretter) als Maß für die Astgröße bzw. der Häufigkeit der Äste durchgeführt werden konnte. Die Auswertung der Astkriterien erfolgte mit Hilfe des Softwareprogrammes ‚CorelDraw‘ so, dass die Bilder aller vier Oberflächen in das Programm geladen werden mussten und entlang von Führungslinien ausgerichtet wurden. In der weiteren Folge wurde der augenscheinlich größte Einzelast visuell ermittelt und vermessen. Für das Astansammlungskriterium wurde ein nach Norm vorgeschriebener Balken von 150 mm Breite so über die Brettoberfläche gelegt, dass damit der Bereich mit der größten Astansammlung identifiziert und bemaßt werden konnte. Die so ermittelten Astdaten wurden schließlich in einer Datenbank festgehalten und ausgewertet.

2.4 Maschinelle Schnittholzsortierung EuroGrecomat 704

Um einen Vergleich mit den Sortierergebnissen der maschinellen Schnittholzsortierung mittels Grademaster 403 herzustellen wurde im weiteren Verlauf des Projektes beschlossen eine zusätzliche maschinelle Sortierung mit einem auf anderen physikalischen Prinzipien beruhenden Sortiersystem durchzuführen. Durch Kontakte des wissenschaftlichen Leiters dieses Projektes war es möglich eine weitere Schnittholzsortierung bei der Fa. DOKA / Amstetten zu erreichen. Bei der Sortieranlage der Fa. DOKA handelt es sich um einen

sogenannten ‚EuroGrecomat 704‘. Der Sortierprozess dieser Anlage beruht auf der Messung und Auswertung von Daten die aus einer Kombination aus (statischer) Biegeeinheit und einer Röntgeneinheit zur Erfassung der Rohdichte bzw. von Ästen gewonnen werden.

2.5 Konditionierung

Nach dem Rücktransport der Bretter von Amstetten nach Graz wurden diese rund drei Wochen in der Klimakammer des Bautechnikzentrums bei einem Normklima von 20°C und 65 % relativer Luftfeuchtigkeit konditioniert bevor mit der weiteren Versuchsdurchführung fortgesetzt wurde.

2.6 Ultraschallmessung am Schnittholz

Ein einfaches und in der Praxis gut anwendbares Verfahren um die mechanischen Kennwerte von Schnittholz zu ermitteln ist durch das Verfahren der Ultraschalllaufzeitmessung gegeben. Diese wurde an den zur Verfügung stehenden Brettern durchgeführt und erfolgte unmittelbar vor den nachfolgend durchgeführten zerstörungsbehafteten Zugversuchen. Die Messung erfolgte mit dem Ultraschallgerät ‚Sylvatest‘ an drei Messstellen in den Viertelpunkten des Querschnittes. Zur Vorbereitung für die Messung wurden auf jeder Stirnseite drei Messstellen mit einer Schablone markiert und ein Loch von rund einem Zentimeter Tiefe und passendem Durchmesser vorgebohrt. Die Messung der Ultraschalllaufzeit erfolgte in Holzlängsrichtung mittels zweier Konusköpfe, die in die vorgebohrten Löcher der Messstellen eingesteckt wurden. Die Ermittlung der Kennwerte erfolgte durch Angabe des Mittelwertes der drei Messungen.

Um die mit der Messung der Brettängen ermittelten Ultraschallgeschwindigkeiten auf die Referenzholzfeuchte von $u = 12\%$ bzw. die Referenzholztemperatur von $T = 20\text{ °C}$ beziehen zu können wurden die Messdaten der einzelnen Bretter unmittelbar vor der weiteren Prüfung mit dem Messgerät GANN Hydromette 4050 ermittelt. Dieses Gerät erfasst die Holzfeuchte, die an drei Stellen im späteren Einspannbereich gemessen wurde, auf Basis einer elektrischen Kapazitätsmessung und die Holztemperatur mittels speziellem Aufsatz berührungslos auf Infrarotbasis.



Abb. 12: Ultraschallmessgerät Sylvatest (links) und Konusschallkopf (rechts)

2.7 Ermittlung der Zugfestigkeit und des Zug-E-Moduls in Bauteilgröße



Abb.13: Zugprüfanlage GEZU 850 und Detail der Einspannbacken

Vor Beginn der Zugversuche wurden die geometrischen Abmessungen Breite und Dicke des Brettquerschnittes im Messbereich an drei Stellen mittels digitaler Schiebelehre erfasst und aufgezeichnet. Die Ermittlung der Brettlänge erfolgte ebenso wie die Aufzeichnung der Holzfeuchte bereits bei der US- Messung. Im Anschluss erfolgte die Wägung der Bretter zur Bestimmung der Rohdichte, sowie die Aufzeichnung allfälliger Wuchsmerkmale bzw. der Sortiermerkmale nach ÖNORM DIN 4074-1.

Daran anschließend wurde der Messbereich für die Zug-E-Modul Messung nach ÖNORM EN 408 an den Brettern festgelegt und das dazu erforderliche Messgestänge montiert. Der Messbereich wies dabei einen Abstand von 5 x Breite des Brettes (= 5 x rund 160 mm = 800 mm) auf. Der lichte Abstand der Klemmbacken der Zugmaschine wurde normgemäß mit 9 x Breite des Brettes (=9 x rund 160 mm = 1440 mm eingehalten. Danach wurde der Probekörper in die Prüfmaschine GEZU 850 eingebaut, mit einem Klemmdruck von rund 2,0 N/mm² (in Ausnahmefällen: um ein Rutschen der Probe zu vermeiden mit einem Klemmdruck bis zu 3,0 N/mm²) geklemmt und in Abhängigkeit von der Probenqualität eine Zugkraft von bis zu 45 kN bei gleichzeitiger Auszeichnung der entsprechenden Wege mittels der beiden seitlich der Probe angebrachten induktiven Weggeber aufgebracht.

Danach wurde das Messgestänge demontiert und die Probe unter abermaliger Querpressung mit dem oben angegebenen Querdruck bis zum Bruch belastet. Die in ÖNORM EN 408 festgelegte Zeit von 300 s +/- 120 s vom Beginn der Belastung bis zum Bruch konnte wegen der großen Streubreiten in den mechanischen Qualitäten nicht bei allen Probekörpern eingehalten werden, wurde jedoch im Mittel erfüllt.

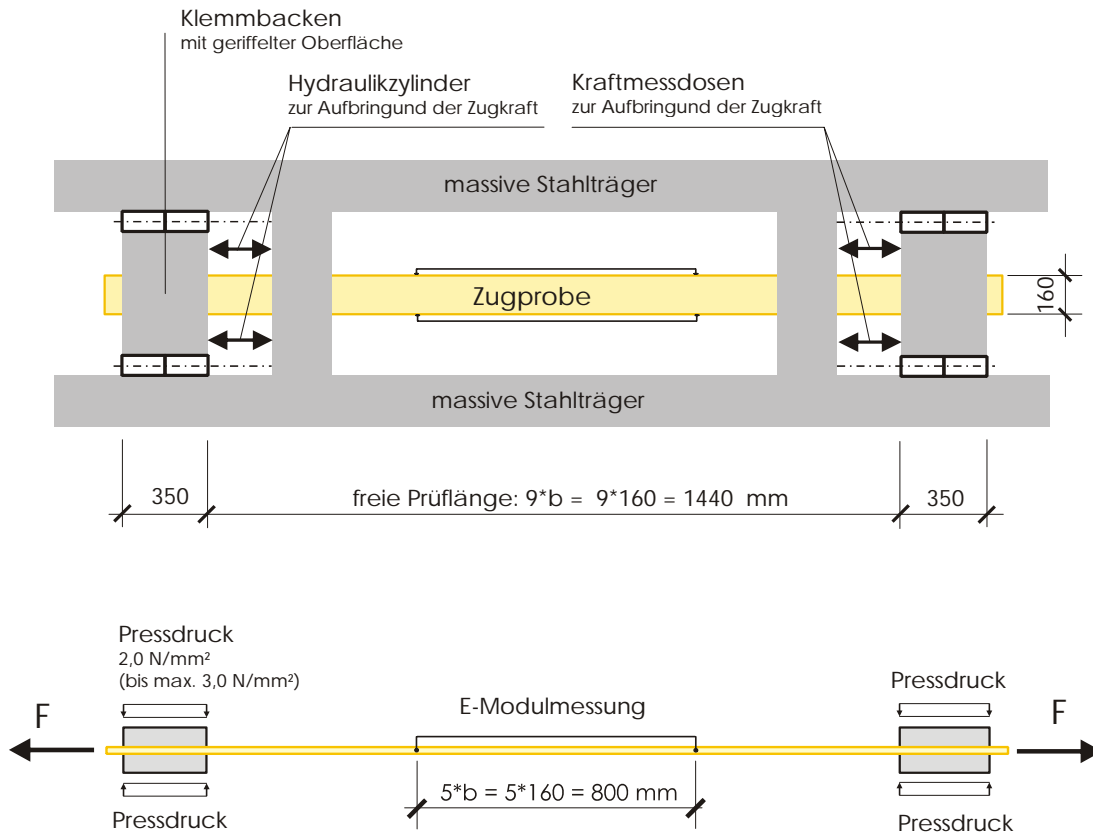


Abb. 14: Beschreibung der Hauptbestandteile der Zugprüfanlage GEZU 850 und der Abmessungen der Prüfkonguration nach EN 408

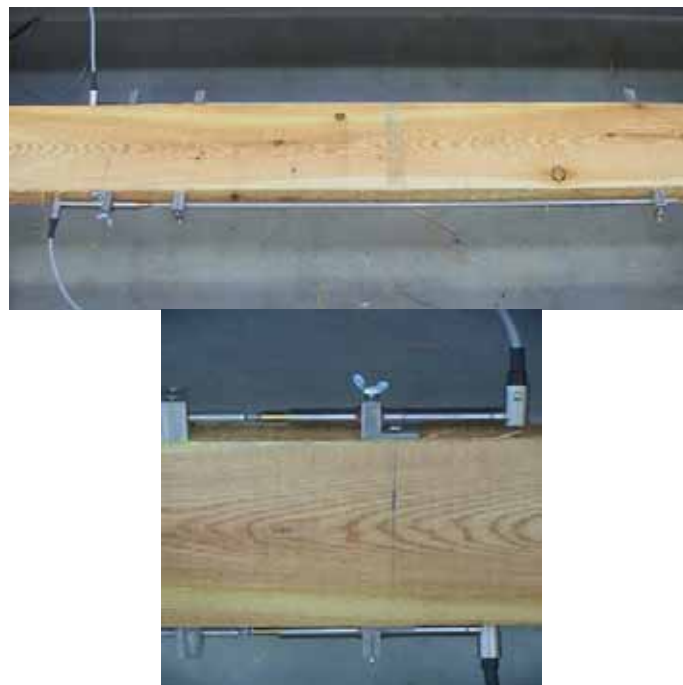


Abb. 15: Prüfgestänge und Weggeber zur Bestimmung des Zug-E-Moduls

Nach dem Bruchversuch wurden die bruchauslösenden Ursachen beurteilt und mittels digitaler Bildaufnahmen dokumentiert. Anschließend wurden an einem Teil der Proben Abschnitte zur Ermittlung der Holzfeuchte mittels Darmmethode entnommen.

Um eine übersichtlichere und systematische Auswertung des doch umfangreichen Datenmaterials vornehmen zu können wurde eine Datenbank in MS Access erstellt. Diese gestattet die relativ einfach Filterung der gewünschten Informationen und die anschließende weitere Bearbeitung und Darstellung der Ergebnisse im Tabellenkalkulationsprogramm MS Excel.

Die Auswertung der Zug-E-Moduli erfolgte vorgängig aus den aufgezeichneten Kraft-Weg-Daten der einzelnen Versuche und wurde erst dann in die Datenbank eingegeben.

2.8 Auswertung

a) Auswertung der mittleren Jahrringbreite und der Lage im Stamm

- Ermittlung der mittleren Jahrringbreite

Bei Brettern, die Mark enthielten, blieb ein Bereich von 25 mm von der Markröhre in Übereinstimmung mit den Festlegungen der ÖNORM DIN 4074-1 außer Betracht. Darauf basierend wurde anschließend die mittlere Jahrringbreite für den jeweiligen Querschnitt bestimmt.

In Abhängigkeit von der Lage der einzelnen Bretter im Stammquerschnitt werden hier drei Möglichkeiten angeführt, wie die einzelnen Messstrecken zu legen sind.

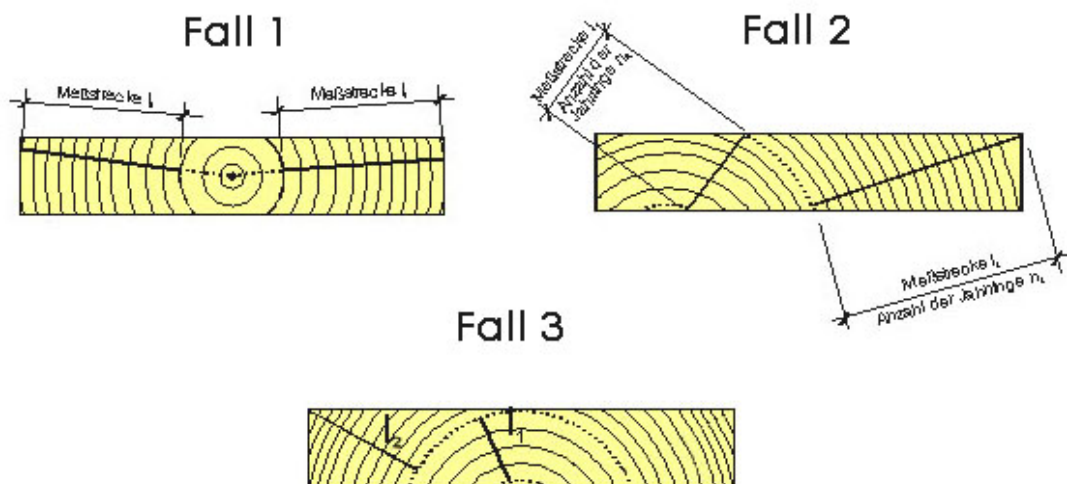


Abb. 16: Möglichkeit der Messstreckenermittlung

- Fall 1: Das Mark liegt im Querschnitt.
- Fall 2: Das Mark liegt außerhalb des Querschnittes, aber exzentrisch im Querschnitt.
- Fall 3: Das Mark liegt außerhalb des Querschnittes, aber zentrisch im Querschnitt.

Die mittlere Jahrringbreite wurde nach folgender Formel nach DIN 52 181 bestimmt.

$$\text{mittl. JRB} = \frac{\sum l_i}{\sum n_i} \dots [\text{mm}]$$

Es bedeuten:

mittl. JRB	mittlere Jahringbreite [mm]
$\sum l_i$	Summe aller Messstrecken über den Querschnitt [mm]
$\sum n_i$	Summe der ausgezählten Jahrringe über die Messstrecken [-]

b) Ermittlung der Astparameter nach ÖNORM DIN 4074 -1

Die Ermittlung der Astigkeitsparameter erfolgte nach den Festlegungen der ÖNORM DIN 4074 -1. Diese Norm sieht unterschiedliche Methoden zur Auswertung der Astparameter für Kantholz, sowie für Bretter, Bohlen und Latten vor. Ausgefallene Äste sind gleich zu bewerten wie eingewachsene Äste. Wird der Ast von Rinde umgeben so wird diese dem Ast hinzugerechnet. Hinsichtlich der Größe der zu berücksichtigenden Äste sind alle jene in die entsprechenden Astmaße miteinzubeziehen, deren kleinster Durchmesser an der Schnittfläche 5 mm übersteigt. Die Messung der Astmaße hat laut DIN 52181 auf 1 mm genau zu erfolgen.

Für die im Rahmen dieses Projektes zu beurteilenden Bretter sind in Übereinstimmung mit dieser Norm zwei Astparameter zu ermitteln:

- DEB (DIN Einzelast für Bretter, Bohlen und Latten)

Zur Ermittlung dieses Parameters werden ALLE an den Oberflächen erscheinenden Abmessungen EINES Astes summiert und der doppelten Breite gegenübergestellt. Die einzelnen Abmessungen des Astes werden dabei aus dem Abstand der Tangenten an den Ast parallel zur Längsrichtung des Brettes ermittelt. Ausnahmen bestehen für Kantenäste, bei denen die Teile, die an der inneren (rechten) Seite liegen nur dann in Rechnung zu stellen sind, wenn das Astmaß a auf der Schmalseite ein bestimmtes Maß in Abhängigkeit von der Sortierklasse nicht übersteigt, sowie für Kantenflächenäste bei denen die Erstreckung über einen bestimmten Teil der Querschnittsbreite in Abhängigkeit von der Sortierklasse eingeschränkt ist.

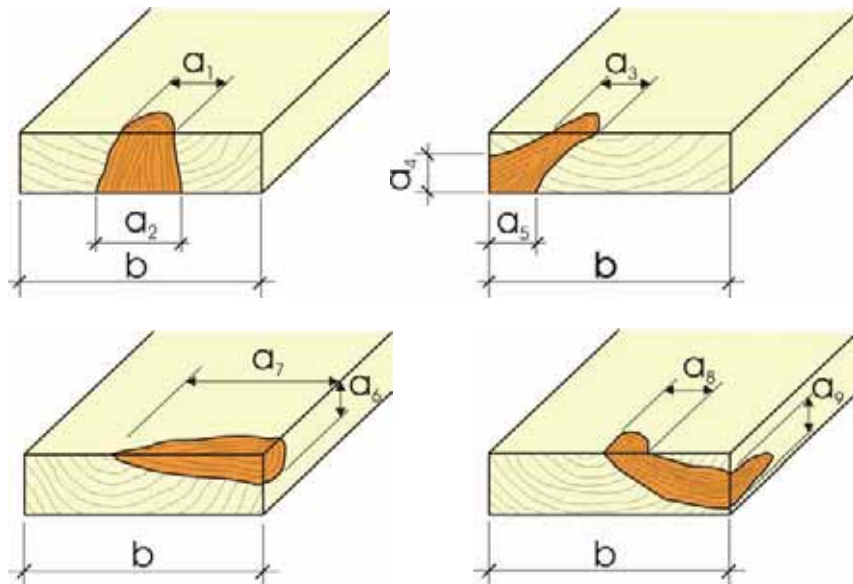


Abb.17: Definition des Astparameters DEB nach ÖNORM DIN 4074-1

- DAB (DIN Astansammlung für Bretter, Bohlen und Latten)

Dieser Parameter berücksichtigt die Astwirkungen auf die Festigkeit von knapp hintereinander oder auf gleicher Längskoordinate liegenden Ästen bzw. Astansammlungen.

Der Astparameter DAB wird im Prinzip aus der Summe der, nach Vorschrift DEB berechneten Astmaße aller Astschnittflächen berechnet, die sich überwiegend innerhalb eines Messbereiches mit der Länge von 150 mm geteilt durch die doppelte Querschnittsbreite befinden. Astmaße die sich überlappen werden nur einfach berücksichtigt.

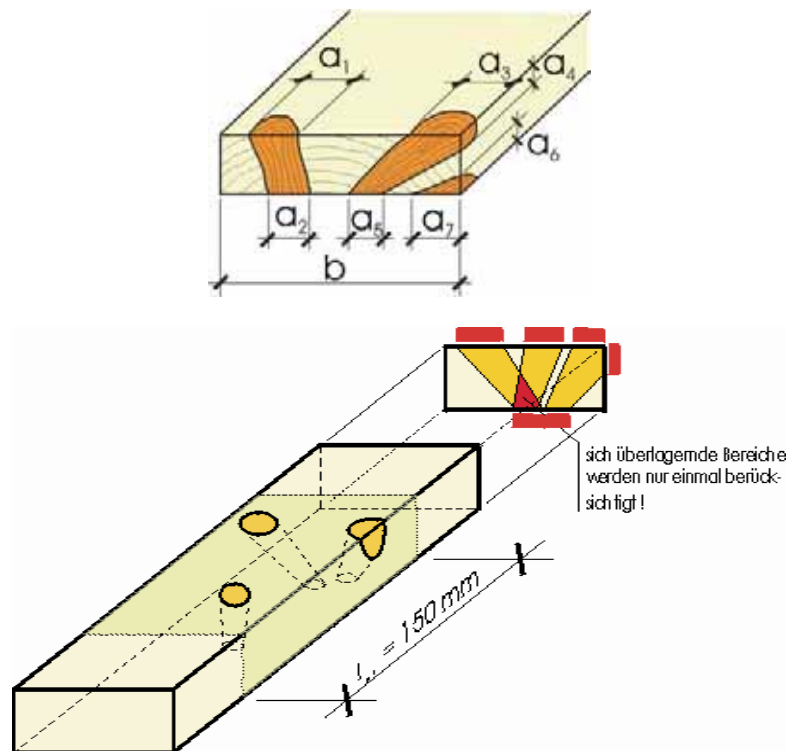


Abb.18: Definition des Astparameters DAB nach ÖNORM DIN 4074-1

c) Ultraschallmessung am Schnittholz

Schall breitet sich in einem allseitig ausgedehnten Medium als Longitudinalwelle aus. Im homogenen, isotropen Festkörper muss die zweiseitige behinderte Querkontraktion berücksichtigt werden und es gilt folgende Differentialgleichung zur Beschreibung der Wellenausbreitung:

$$\frac{d^2u}{dx^2} = \frac{1}{v^2} \cdot \frac{d^2u}{dt^2} \quad \text{mit} \quad v^2 = \frac{E_{\text{Dyn}} \cdot (1 - \nu)}{\rho \cdot (1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu)}$$

Es bedeuten:

v	Wellengeschwindigkeit	v	Querdehnungszahl
u,x	Verschiebungsvektoren	ρ	Dichte
E_{dyn}	Dynamischer E-Modul	t	Zeit

Solange die Wellenlänge größer ist als die Abmessungen des Körpers rechtwinklig zur Längsrichtung, in der die Wellenausbreitung gemessen wird, gilt:

$$v^2 = \frac{E_{\text{Dyn}}}{\rho} \quad \text{bzw.} \quad v = \sqrt{\frac{E_{\text{Dyn}}}{\rho}} \quad [\text{m/s}]$$

Die mit dem Gerät ‚Sylvatest‘ ermittelte Ausbreitungsgeschwindigkeit lässt sich durch folgende Formel ermitteln

$$v_0 = \frac{l}{t} \cdot 10^6 \quad [\text{m/s}]$$

Es bedeuten:

- v_0 (nicht korrigierte) Ultraschallgeschwindigkeit in m/s
- l Länge der Probe in m
- t Ultraschalllaufzeit ermittelt mit dem Messgerät ‚Sylvatest‘ in μs

Im Wesentlichen hängt die Geschwindigkeit, mit der sich eine Welle ausbreitet also vom Elastizitätsmodul und der Dichte ab. In einschlägigen Publikationen konnte festgestellt werden, dass der dynamische E-Modul im Allgemeinen etwa 5% bis 10% größer als der statische E-Modul ist.

Zusätzlich wird die Schallgeschwindigkeit maßgeblich durch den strukturellen Aufbau des Holzes beeinflusst. Zunehmender Faserwinkel und Äste verringern zum Beispiel die Schallgeschwindigkeit. Einen weiteren Einfluss auf die Schallgeschwindigkeit haben auch die Holzfeuchte, die Temperatur und die Lage der Messstellen im Querschnitt.

- Einfluss der Holzfeuchte

Mit zunehmender Holzfeuchte nimmt die Ultraschallgeschwindigkeit ab und strebt asymptotisch der Schallgeschwindigkeit in Wasser zu. Durch Versuche wurde herausgefunden, dass die Ultraschallgeschwindigkeit am stärksten bei gesundem Holz im Feuchtigkeitsbereich von 0 bis etwa 30% abnimmt. Oberhalb der Fasersättigung ist die Geschwindigkeitsabnahme unbedeutend. In der Fachliteratur findet man folgende Korrekturformel für Holzfeuchten unter 28%.

$$v_{12} = \frac{v_0}{[1 - 0,0053(u - 12)]} \quad [\text{m/s}] \quad \text{für } u < 28\%$$

Es bedeuten:

- v_{12} Ultraschallgeschwindigkeit bezogen auf eine Holzfeuchte von $u = 12\%$ in m/s
- v_0 nicht feuchte und temperaturkorrigierte Ultraschallgeschwindigkeit in m/s
- u Holzfeuchte in %

- Einfluss der Temperatur

Mechanische Holzeigenschaften und die Holzfeuchte werden grundsätzlich durch die Temperatur beeinflusst. Daher ergibt sich eine gegenseitige Beeinflussung dieser beiden Faktoren und es wurde folgende Umrechnungsformel zur Erfassung des Temperatureinflusses auf die Ultraschallgeschwindigkeit angegeben:

$$v_{12/20} = \frac{v_{12}}{[1 - 0,0008(T - 20)]} \quad [\text{m/s}] \quad \text{für } u = 12\%$$

Es bedeuten:

$v_{12/20}$	Ultraschallgeschwindigkeit bezogen auf eine Holzfeuchte von $u = 12\%$ und eine Holztemperatur von $T = 20^\circ\text{C}$ in m/s
v_{12}	Ultraschallgeschwindigkeit bezogen auf eine Holzfeuchte von $u = 12\%$ in m/s
T	Holztemperatur in $^\circ\text{C}$

- Einfluss der Lage der Messstelle im Querschnitt

Da bei Zuelementen die Schnittart einen großen Einfluss auf die Zugfestigkeit hat, kann das Festigkeitsprofil mittels dreier Messpunkte im Querschnitt am besten ermittelt werden. Dabei kann der Elastizitätsmodul des zu prüfenden Probekörpers aus dem Mittelwert der Geschwindigkeit abgeschätzt werden und in weiterer Folge über die minimale Schallgeschwindigkeit ein Schluss auf die Festigkeit vorgenommen werden.

In weiterer Folge wurde aus den ermittelten und auf die Referenzbedingung $u = 12\%$ und $T = 20^\circ$ umgerechneten Geschwindigkeiten mit folgender Formel der dynamische E-Modul für jede Lamelle ermittelt:

$$E_{\text{Dyn}} = v_{12/20}^2 \cdot \rho \quad [\text{N/mm}^2]$$

Es bedeuten:

E_{Dyn}	Dynamischer E-Modul	$[\text{N/mm}^2]$
v	Ultraschallgeschwindigkeit	$[\text{m/s}]$
ρ	gemessene Rohdichte beim Versuch	$[\text{kg/m}^3]$

Wie die Regressionsanalyse mehrerer durchgeführter Forschungsprojekte zeigt, verändert sich der Korrelationskoeffizient durch Nichtberücksichtigung der in der Praxis nur aufwendig zur ermittelnden Rohdichte nur unwesentlich, selbst das Vernachlässigen des quadratischen Zusammenhanges der Ausbreitungsgeschwindigkeit geht nur mit Veränderungen von 1-2 % gegenüber der Mitberücksichtigung einher. Im Allgemeinen wird daher in der praktischen Anwendung der Zusammenhang zwischen den mechanischen Kenngrößen E-Modul und Festigkeit und der Ultraschallgeschwindigkeit direkt gegenübergestellt und die abgeleiteten Korrelations- bzw. Regressionsmodelle auf dieser Basis entwickelt.

d) Versuche zur Ermittlung der Rohdichte, des Zug-E-Moduls und der Zugfestigkeit nach ÖNORM EN 408

- Bestimmung der Rohdichte

Die zur Ermittlung der Rohdichte erforderliche Bestimmung des Volumens ist mit den oben angeführten geometrischen Abmessungen möglich. Die Masse des Brettes wurde mit Hilfe einer Waage (SARTORIUS EA60 EDE-I) welche die Ermittlung der Masse mit einer Genauigkeit von ± 1 g gestattet durchgeführt.

Die Ermittlung der Rohdichte erfolgte nach der Formel:

$$\rho_u = \frac{m_u}{V_u} \quad [\text{kg/m}^3]$$

Es bedeuten:

ρ_u	Rohdichte in kg/m^3
m_u	Masse des Brettes in kg
V_u	Volumen des Brettes in m^3

Nach EN 384 ist die Rohdichte auf eine Holzfeuchte von $u = 12$ % zu beziehen. Pro Prozent Holzfeuchteunterschied ist die Rohdichte für Holzfeuchten um 0,5 % zu vermindern bzw. zu erhöhen. Diese Regelung ist für eine (mittlere) Holzfeuchten von $10\% < u < 18\%$ anzuwenden.

Die Rohdichte ρ_{12} ist also mit der folgenden Formel zu ermitteln.

$$\rho_{12} = \rho_u \cdot [1 - 0,005 \cdot (u - 12)] \quad [\text{kg/m}^3]$$

Es bedeuten:

ρ_{12}	Rohdichte bei einer Holzfeuchte $u = 12$ %
ρ_u	Rohdichte bei einer Holzfeuchte u
u	Holzfeuchte in %

Auf eine Umrechnung auf Kleinproben mit dem Faktor 1,05 (Einfluß der Astigkeit) wurde im Rahmen der Auswertung verzichtet.

- Ermittlung des Zug-E-Moduls

Der Zug-Elastizitätsmodul $E_{t,0}$ ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$E_{t,0} = \frac{I_1(F_2 - F_1)}{A(w_2 - w_1)} \quad [\text{N/mm}^2]$$

Es bedeuten:

$F_2 - F_1$	eine Laststeigerung im linearen Bereich der Last-Verformungs-Kurve, in Newton;
$w_2 - w_1$	die Verformungszunahme entsprechend der Laststeigerung $F_2 - F_1$, in Millimeter
A	Querschnittsfläche der Probe in mm^2

Nach EN 384 ist die Last F_1 bzw. F_2 bei 10 % bzw. 40 % der Bruchlast und die jeweils zugehörigen Verformungen für die Berechnung gemäß obiger Formel einzuführen. Der Zug-Elastizitätsmodul ist mit einer Fehlergrenze von 1% zu berechnen. Für die Auswertung des E-Moduls in diesem Projekt wurde abweichend davon die den Messpunkten der Spannungs-Dehnungs-Beziehung bestangepasste Gerade mittels Regressionsanalyse ermittelt und der E-Modul als Steigung dieser Geraden im linear elastischen Bereich ermittelt.

Gemäß EN 384 ist der Zug-E-Modul auf eine Holzfeuchte von $u = 12 \%$ zu beziehen, dabei ist pro Prozent Holzfeuchteunterschied eine Erhöhung bzw. Verminderung von 2 % des E-Moduls vorzunehmen. Der auf eine Holzfeuchte von 12 % bezogene E-Modul lässt sich somit mittels folgender Formel errechnen.

$$E_{t,0} = E_{t,0,u} \cdot [1 + 0,02 \cdot (u - 12)] \quad [\text{N/mm}^2]$$

Es bedeuten:

$E_{t,0}$	Zug-E-Modul bei einer Holzfeuchte $u = 12 \%$
$E_{t,0,u}$	Zug-E-Modul bei einer Holzfeuchte u
u	Holzfeuchte in %

Wie bei der Ermittlung der Rohdichte gilt dieser Ansatz für Rohdichten bei einer mittleren Holzfeuchte von $10 \% < u < 12 \%$

- Bestimmung der Zugfestigkeit

Die Zugfestigkeit $f_{t,0}$ ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$f_{t,0}' = \frac{F_{\max}}{A} \quad [\text{N/mm}^2]$$

Es bedeuten:

$f_{t,0}'$	Zugfestigkeit in N/mm^2
F_{\max}	maximale Zugkraft beim Bruch der Probe in N
A	Querschnittsfläche der Probe in mm^2

Die so bestimmten Festigkeiten sind wegen des Größeneinflusses noch auf eine Referenzbreite von $b = 150 \text{ mm}$ zu beziehen. Der Faktor zur Umrechnung ist nach EN 384 wie folgt definiert.

$$k_b = \left(\frac{150}{b} \right)^{0,2}$$

Es bedeuten:

k_b Faktor zur Berücksichtigung des Breiteneinflusses [-]
 b Breite der Probe in mm

Somit lässt sich die Festigkeit wie folgt angeben.

$$f_{t,0} = \frac{f_{t,0}'}{k_b} \quad \text{N/mm}^2$$

Es bedeuten:

$f_{t,0}$ Zugfestigkeit bezogen auf die Referenzbreite $b = 150 \text{ mm}$ in N/mm^2
 $f_{t,0}'$ Zugfestigkeit bezogen auf die Breite b in N/mm^2
 k_b Faktor zur Berücksichtigung des Breiteneinflusses [-]

2.9 Ergebnisse

a) Mechanische Kennwerte

Tab. 4: Rohdichte ρ_{12} in kg/m³

Auswertung nach	Bezeichnung	Anzahl	Min	Mittelwert	Max	Standardabweichung	Variationskoeffizient	Schiefe	Exzess
		[-]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[%]	[-]	[-]
-	<u>Alle</u>	<u>393</u>	<u>309</u>	<u>441</u>	<u>590</u>	<u>46,96</u>	<u>10,66</u>	<u>0,2183</u>	<u>0,3612</u>
Herkunft	<u>Alpenost- rand</u>	<u>184</u>	<u>309</u>	<u>430</u>	<u>590</u>	<u>50,32</u>	<u>11,71</u>	<u>0,3432</u>	<u>0,4004</u>
	<u>Mühl- und Waldviertel</u>	<u>209</u>	<u>368</u>	<u>450</u>	<u>572</u>	<u>41,52</u>	<u>9,22</u>	<u>0,3984</u>	<u>0,2976</u>
Höhen- stufe	<u>300 – 500 m</u>	<u>138</u>	<u>378</u>	<u>456</u>	<u>590</u>	<u>42,19</u>	<u>9,25</u>	<u>0,8255</u>	<u>0,5211</u>
	<u>500 – 900 m</u>	<u>116</u>	<u>309</u>	<u>439</u>	<u>572</u>	<u>56,47</u>	<u>12,87</u>	<u>-0,0294</u>	<u>-0,2208</u>
	<u>> 900 m</u>	<u>139</u>	<u>352</u>	<u>427</u>	<u>506</u>	<u>37,35</u>	<u>8,75</u>	<u>-0,0616</u>	<u>-0,9987</u>
Rundholz- klasse (Sortierung im Wald)	<u>B</u>	<u>142</u>	<u>309</u>	<u>440</u>	<u>513</u>	<u>40,98</u>	<u>9,32</u>	<u>-0,9434</u>	<u>0,9714</u>
	<u>C</u>	<u>133</u>	<u>368</u>	<u>440</u>	<u>550</u>	<u>40,01</u>	<u>9,09</u>	<u>0,2162</u>	<u>-0,4881</u>
	<u>Cx</u>	<u>118</u>	<u>345</u>	<u>442</u>	<u>590</u>	<u>59,63</u>	<u>13,48</u>	<u>0,6102</u>	<u>-0,3390</u>
Rundholz- klasse (Rundholz- sortierer)	<u>A</u>	<u>24</u>	<u>392</u>	<u>443</u>	<u>495</u>	<u>26,08</u>	<u>5,89</u>	<u>-0,0809</u>	<u>-0,2724</u>
	<u>AB</u>	<u>164</u>	<u>323</u>	<u>446</u>	<u>590</u>	<u>47,56</u>	<u>10,67</u>	<u>0,2945</u>	<u>0,6353</u>
	<u>B</u>	<u>5</u>	<u>309</u>	<u>364</u>	<u>455</u>	<u>63,23</u>	<u>17,38</u>	<u>0,8883</u>	<u>-1,2509</u>
	<u>C</u>	<u>131</u>	<u>345</u>	<u>435</u>	<u>550</u>	<u>43,10</u>	<u>9,90</u>	<u>-0,0069</u>	<u>-0,5850</u>
	<u>Cx</u>	<u>46</u>	<u>354</u>	<u>463</u>	<u>572</u>	<u>51,35</u>	<u>11,08</u>	<u>0,1799</u>	<u>-0,2242</u>
	<u>Braun</u>	<u>23</u>	<u>369</u>	<u>403</u>	<u>440</u>	<u>22,19</u>	<u>5,50</u>	<u>0,0639</u>	<u>-1,2906</u>
nach Lage im Baum	<u>1. Bloch</u>	<u>229</u>	<u>309</u>	<u>438</u>	<u>590</u>	<u>49,06</u>	<u>11,19</u>	<u>0,3022</u>	<u>0,2699</u>
	<u>3. Bloch</u>	<u>89</u>	<u>323</u>	<u>431</u>	<u>516</u>	<u>39,37</u>	<u>9,13</u>	<u>-0,2016</u>	<u>0,0139</u>
	<u>5. Bloch</u>	<u>75</u>	<u>345</u>	<u>459</u>	<u>572</u>	<u>44,14</u>	<u>9,61</u>	<u>0,1956</u>	<u>0,8439</u>

Tab. 5: Zug-E-Modul in N/mm²

Auswertung nach	Bezeichnung	Anzahl	Min	Mittelwert	Max	Standardabweichung	Variationskoeffizient	Schiefe	Exzess
		[<u>-</u>]	[<u>m/s</u>]	[<u>m/s</u>]	[<u>m/s</u>]	[<u>m/s</u>]	[<u>%</u>]	[<u>-</u>]	[<u>-</u>]
-	<u>Alle</u>	<u>393</u>	<u>1999</u>	<u>10170</u>	<u>18516</u>	<u>2904</u>	<u>28,56</u>	<u>0,0400</u>	<u>-0,3632</u>
Herkunft	<u>Alpenost-rand</u>	<u>184</u>	<u>3220</u>	<u>9865</u>	<u>15475</u>	<u>2860</u>	<u>28,99</u>	<u>-0,0181</u>	<u>-0,7907</u>
	<u>Mühl- und Waldviertel</u>	<u>209</u>	<u>1999</u>	<u>10439</u>	<u>18516</u>	<u>2924</u>	<u>28,01</u>	<u>0,0771</u>	<u>-0,0515</u>
Höhenstufe	<u>300 – 500 m</u>	<u>138</u>	<u>4530</u>	<u>11207</u>	<u>18516</u>	<u>2559</u>	<u>22,84</u>	<u>-0,0521</u>	<u>-0,0833</u>
	<u>500 – 900 m</u>	<u>116</u>	<u>3588</u>	<u>10662</u>	<u>17271</u>	<u>2799</u>	<u>26,25</u>	<u>0,0837</u>	<u>-0,3035</u>
	<u>> 900 m</u>	<u>139</u>	<u>1999</u>	<u>8731</u>	<u>16048</u>	<u>2751</u>	<u>31,51</u>	<u>0,3285</u>	<u>-0,1205</u>
Rundholzklasse (Sortierung im Wald)	<u>B</u>	<u>142</u>	<u>5425</u>	<u>11028</u>	<u>16667</u>	<u>2457</u>	<u>22,28</u>	<u>-0,0848</u>	<u>-0,6077</u>
	<u>C</u>	<u>133</u>	<u>3937</u>	<u>9648</u>	<u>15475</u>	<u>2684</u>	<u>27,82</u>	<u>0,2515</u>	<u>-0,5953</u>
	<u>Cx</u>	<u>118</u>	<u>1999</u>	<u>9726</u>	<u>18516</u>	<u>3385</u>	<u>34,80</u>	<u>0,2127</u>	<u>-0,2425</u>
Rundholzklasse (Rundholzsortierer)	<u>A</u>	<u>24</u>	<u>8862</u>	<u>11682</u>	<u>16048</u>	<u>2188</u>	<u>18,73</u>	<u>0,2908</u>	<u>-1,1476</u>
	<u>AB</u>	<u>164</u>	<u>3588</u>	<u>11329</u>	<u>18516</u>	<u>2880</u>	<u>25,43</u>	<u>-0,0563</u>	<u>-0,5547</u>
	<u>B</u>	<u>5</u>	<u>5942</u>	<u>8837</u>	<u>14618</u>	<u>3673</u>	<u>41,56</u>	<u>1,2548</u>	<u>0,5716</u>
	<u>C</u>	<u>131</u>	<u>3220</u>	<u>9465</u>	<u>14459</u>	<u>2504</u>	<u>26,46</u>	<u>-0,1618</u>	<u>-0,6753</u>
	<u>Cx</u>	<u>46</u>	<u>4530</u>	<u>8907</u>	<u>13275</u>	<u>2016</u>	<u>22,63</u>	<u>-0,0298</u>	<u>-0,1441</u>
	<u>Braun</u>	<u>23</u>	<u>1999</u>	<u>7165</u>	<u>13001</u>	<u>2715</u>	<u>37,90</u>	<u>0,1370</u>	<u>-0,3214</u>
nach Lage im Baum	<u>1. Bloch</u>	<u>229</u>	<u>1999</u>	<u>10453</u>	<u>18516</u>	<u>3146</u>	<u>30,09</u>	<u>0,0032</u>	<u>-0,4698</u>
	<u>3. Bloch</u>	<u>89</u>	<u>3937</u>	<u>9822</u>	<u>14647</u>	<u>2765</u>	<u>28,15</u>	<u>-0,2292</u>	<u>-0,8321</u>
	<u>5. Bloch</u>	<u>75</u>	<u>4530</u>	<u>9720</u>	<u>14185</u>	<u>2124</u>	<u>21,85</u>	<u>0,0312</u>	<u>-0,4455</u>

Tab. 6: Zugfestigkeit $f_{t,0}$ in N/mm²

Auswertung nach	Bezeichnung	Anzahl	Min	Mittelwert	Max	Standardabweichung	Variationskoeffizient	Schiefe	Exzess
		[-]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[%]	[-]	[-]
-	<u>Alle</u>	<u>393</u>	<u>2,01</u>	<u>24,01</u>	<u>71,81</u>	<u>12,58</u>	<u>52,37</u>	<u>1,0102</u>	<u>1,0147</u>
Herkunft	<u>Alpenost-rand</u>	<u>184</u>	<u>5,00</u>	<u>24,71</u>	<u>71,81</u>	<u>13,78</u>	<u>55,75</u>	<u>0,9328</u>	<u>0,5164</u>
	<u>Mühl- und Waldviertel</u>	<u>209</u>	<u>2,01</u>	<u>23,40</u>	<u>71,36</u>	<u>11,41</u>	<u>48,78</u>	<u>1,0423</u>	<u>1,5129</u>
Höhenstufe	<u>300 – 500 m</u>	<u>138</u>	<u>6,84</u>	<u>28,20</u>	<u>71,81</u>	<u>13,32</u>	<u>47,22</u>	<u>0,7590</u>	<u>0,0736</u>
	<u>500 – 900 m</u>	<u>116</u>	<u>5,00</u>	<u>23,14</u>	<u>63,84</u>	<u>10,62</u>	<u>45,89</u>	<u>1,0678</u>	<u>1,8645</u>
	<u>> 900 m</u>	<u>139</u>	<u>2,01</u>	<u>20,58</u>	<u>71,36</u>	<u>12,21</u>	<u>59,34</u>	<u>1,3439</u>	<u>2,3960</u>
Rundholzklasse (Sortierung im Wald)	<u>B</u>	<u>142</u>	<u>6,14</u>	<u>29,04</u>	<u>71,81</u>	<u>13,62</u>	<u>46,89</u>	<u>0,7411</u>	<u>0,5021</u>
	<u>C</u>	<u>133</u>	<u>6,05</u>	<u>21,75</u>	<u>63,84</u>	<u>11,05</u>	<u>50,78</u>	<u>1,3453</u>	<u>2,0963</u>
	<u>Cx</u>	<u>118</u>	<u>2,01</u>	<u>20,51</u>	<u>53,30</u>	<u>10,95</u>	<u>53,38</u>	<u>0,9171</u>	<u>0,6454</u>
Rundholzklasse (Rundholzsortierer)	<u>A</u>	<u>24</u>	<u>21,31</u>	<u>41,59</u>	<u>71,36</u>	<u>13,19</u>	<u>31,71</u>	<u>0,4952</u>	<u>-0,3448</u>
	<u>AB</u>	<u>164</u>	<u>5,00</u>	<u>28,14</u>	<u>71,81</u>	<u>12,93</u>	<u>45,96</u>	<u>0,7299</u>	<u>0,3264</u>
	<u>B</u>	<u>5</u>	<u>7,61</u>	<u>15,05</u>	<u>25,70</u>	<u>8,40</u>	<u>55,77</u>	<u>0,6350</u>	<u>-2,7823</u>
	<u>C</u>	<u>131</u>	<u>6,05</u>	<u>19,92</u>	<u>44,63</u>	<u>8,72</u>	<u>43,79</u>	<u>0,6100</u>	<u>-0,1257</u>
	<u>Cx</u>	<u>46</u>	<u>5,11</u>	<u>17,26</u>	<u>33,76</u>	<u>6,66</u>	<u>38,58</u>	<u>0,6333</u>	<u>-0,1548</u>
	<u>Braun</u>	<u>23</u>	<u>2,01</u>	<u>15,03</u>	<u>39,52</u>	<u>9,09</u>	<u>60,47</u>	<u>1,0978</u>	<u>1,0287</u>
nach Lage im Baum	<u>1. Bloch</u>	<u>229</u>	<u>2,01</u>	<u>25,86</u>	<u>71,81</u>	<u>13,83</u>	<u>53,48</u>	<u>0,8491</u>	<u>0,4843</u>
	<u>3. Bloch</u>	<u>89</u>	<u>5,11</u>	<u>21,91</u>	<u>53,63</u>	<u>10,64</u>	<u>48,56</u>	<u>0,7735</u>	<u>0,3945</u>
	<u>5. Bloch</u>	<u>75</u>	<u>7,51</u>	<u>20,89</u>	<u>55,24</u>	<u>9,39</u>	<u>44,97</u>	<u>1,3545</u>	<u>2,6790</u>

b) Holztechnologische Kennwerte

Tab. 7: Mittlere Jahrringbreite

Auswertung nach	Bezeichnung	Anzahl	Min	Mittelwert	Max	Standardabweichung	Variationskoeffizient	Schiefe	Exzess
		[-]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[%]	[-]	[-]
-	Alle	393	0,75	3,02	8,69	1,308	43,33	0,9764	0,8255
Herkunft	Alpenost-rand	184	0,75	3,31	6,88	1,458	44,02	0,5618	-0,4669
	Mühl- und Waldviertel	209	1,11	2,76	8,69	1,101	39,88	1,4164	3,7375
Höhenstufe	300 – 500 m	138	1,33	2,85	8,69	1,055	37,04	1,9496	6,9525
	500 – 900 m	116	1,11	2,97	6,88	1,460	49,09	1,0541	0,1331
	> 900 m	139	0,75	3,22	6,67	1,380	42,81	0,3339	-0,5481
Rundholzklasse (Sortierung im Wald)	B	142	1,05	2,73	6,88	1,168	42,83	1,3822	2,2996
	C	133	0,89	3,16	8,69	1,362	43,10	0,8838	1,0647
	Cx	118	0,75	3,21	6,64	1,353	42,16	0,6980	-0,2148
Rundholzklasse (Rundholzsortierer)	A	24	1,36	2,80	4,31	0,583	20,79	0,1424	1,7592
	AB	164	1,05	3,01	8,69	1,406	46,68	1,2763	1,4805
	B	5	2,03	4,32	6,88	1,980	45,80	0,1996	-1,6887
	C	131	0,89	3,00	6,37	1,311	43,69	0,6180	-0,5182
	Cx	46	0,75	2,93	6,46	1,198	40,87	0,7924	0,8039
	Braun	23	0,94	3,27	4,58	1,070	32,77	-0,5573	-0,7401
nach Lage im Baum	1. Bloch	229	0,94	3,15	8,69	1,353	43,01	1,0402	1,0189
	3. Bloch	89	0,75	3,07	6,46	1,364	44,48	0,6048	-0,4577
	5. Bloch	75	0,96	2,57	5,01	0,9717	37,86	0,7981	0,2805

Tab. 8: Astparameter DEB – DIN Einzelast

Auswertung nach	Bezeichnung	Anzahl	Min	Mittelwert	Max	Standardabweichung	Variationskoeffizient	Schiefte	Exzess
		[<u>-</u>]	[<u>m/s</u>]	[<u>m/s</u>]	[<u>m/s</u>]	[<u>m/s</u>]	[<u>%</u>]	[<u>-</u>]	[<u>-</u>]
-	<u>Alle</u>	<u>393</u>	<u>0</u>	<u>0,229</u>	<u>0,499</u>	<u>0,0826</u>	<u>36,01</u>	<u>0,2606</u>	<u>0,2479</u>
Herkunft	<u>Alpenost-rand</u>	<u>184</u>	<u>0</u>	<u>0,224</u>	<u>0,423</u>	<u>0,0740</u>	<u>33,04</u>	<u>-0,0213</u>	<u>0,3971</u>
	<u>Mühl- und Waldviertel</u>	<u>209</u>	<u>0</u>	<u>0,234</u>	<u>0,499</u>	<u>0,0893</u>	<u>38,21</u>	<u>0,3514</u>	<u>-0,0138</u>
Höhenstufe	<u>300 – 500 m</u>	<u>138</u>	<u>0</u>	<u>0,210</u>	<u>0,499</u>	<u>0,0843</u>	<u>40,10</u>	<u>0,5439</u>	<u>0,6557</u>
	<u>500 – 900 m</u>	<u>116</u>	<u>0</u>	<u>0,211</u>	<u>0,387</u>	<u>0,0755</u>	<u>35,72</u>	<u>-0,0337</u>	<u>0,1566</u>
	<u>> 900 m</u>	<u>139</u>	<u>0,077</u>	<u>0,263</u>	<u>0,483</u>	<u>0,0760</u>	<u>28,89</u>	<u>0,3512</u>	<u>0,0852</u>
Rundholzklasse (Sortierung im Wald)	<u>B</u>	<u>142</u>	<u>0</u>	<u>0,204</u>	<u>0,442</u>	<u>0,0790</u>	<u>38,70</u>	<u>0,4122</u>	<u>0,4761</u>
	<u>C</u>	<u>133</u>	<u>0,099</u>	<u>0,245</u>	<u>0,499</u>	<u>0,0718</u>	<u>29,27</u>	<u>0,3973</u>	<u>0,5289</u>
	<u>Cx</u>	<u>118</u>	<u>0</u>	<u>0,241</u>	<u>0,483</u>	<u>0,0911</u>	<u>37,74</u>	<u>0,1103</u>	<u>0,0363</u>
Rundholzklasse (Rundholzsortierer)	<u>A</u>	<u>24</u>	<u>0</u>	<u>0,142</u>	<u>0,362</u>	<u>0,0709</u>	<u>49,96</u>	<u>0,5823</u>	<u>3,8480</u>
	<u>AB</u>	<u>164</u>	<u>0</u>	<u>0,195</u>	<u>0,499</u>	<u>0,0713</u>	<u>36,59</u>	<u>0,6896</u>	<u>1,9005</u>
	<u>B</u>	<u>5</u>	<u>0,115</u>	<u>0,189</u>	<u>0,267</u>	<u>0,0713</u>	<u>37,63</u>	<u>0,0706</u>	<u>-2,9027</u>
	<u>C</u>	<u>131</u>	<u>0,095</u>	<u>0,251</u>	<u>0,442</u>	<u>0,0664</u>	<u>26,45</u>	<u>0,2970</u>	<u>0,3790</u>
	<u>Cx</u>	<u>46</u>	<u>0,185</u>	<u>0,304</u>	<u>0,445</u>	<u>0,0570</u>	<u>18,77</u>	<u>0,2188</u>	<u>-0,2312</u>
	<u>Braun</u>	<u>23</u>	<u>0,160</u>	<u>0,300</u>	<u>0,483</u>	<u>0,0882</u>	<u>29,42</u>	<u>0,3990</u>	<u>-0,5248</u>
nach Lage im Baum	<u>1. Bloch</u>	<u>229</u>	<u>0</u>	<u>0,208</u>	<u>0,499</u>	<u>0,0876</u>	<u>42,17</u>	<u>0,6516</u>	<u>0,7989</u>
	<u>3. Bloch</u>	<u>89</u>	<u>0,117</u>	<u>0,239</u>	<u>0,361</u>	<u>0,0588</u>	<u>24,60</u>	<u>0,0761</u>	<u>-0,6161</u>
	<u>5. Bloch</u>	<u>75</u>	<u>0,158</u>	<u>0,283</u>	<u>0,445</u>	<u>0,0620</u>	<u>21,86</u>	<u>0,2845</u>	<u>-0,4642</u>

Tab. 9: Astparameter DAB – DIN Astansammlung

Auswertung nach	Bezeichnung	Anzahl	Min	Mittelwert	Max	Standardabweichung	Variationskoeffizient	Schiefe	Exzess
		[<u>-</u>]	[<u>m/s</u>]	[<u>m/s</u>]	[<u>m/s</u>]	[<u>m/s</u>]	[<u>%</u>]	[<u>-</u>]	[<u>-</u>]
-	<u>Alle</u>	<u>393</u>	<u>0</u>	<u>0,403</u>	<u>0,904</u>	<u>0,1800</u>	<u>44,71</u>	<u>0,1261</u>	<u>-0,3602</u>
Herkunft	<u>Alpenost-rand</u>	<u>184</u>	<u>0</u>	<u>0,416</u>	<u>0,904</u>	<u>0,1804</u>	<u>43,37</u>	<u>0,0533</u>	<u>-0,3829</u>
	<u>Mühl- und Waldviertel</u>	<u>209</u>	<u>0</u>	<u>0,391</u>	<u>0,889</u>	<u>0,1792</u>	<u>45,85</u>	<u>0,1914</u>	<u>-0,2896</u>
Höhenstufe	<u>300 – 500 m</u>	<u>138</u>	<u>0</u>	<u>0,346</u>	<u>0,770</u>	<u>0,1757</u>	<u>50,72</u>	<u>0,2303</u>	<u>-0,8286</u>
	<u>500 – 900 m</u>	<u>116</u>	<u>0</u>	<u>0,381</u>	<u>0,850</u>	<u>0,1708</u>	<u>44,82</u>	<u>0,1462</u>	<u>-0,0992</u>
	<u>> 900 m</u>	<u>139</u>	<u>0,077</u>	<u>0,477</u>	<u>0,904</u>	<u>0,1675</u>	<u>35,14</u>	<u>0,1237</u>	<u>0,0401</u>
Rundholzklasse (Sortierung im Wald)	<u>B</u>	<u>142</u>	<u>0</u>	<u>0,353</u>	<u>0,801</u>	<u>0,1671</u>	<u>47,26</u>	<u>0,2748</u>	<u>-0,3258</u>
	<u>C</u>	<u>133</u>	<u>0,099</u>	<u>0,442</u>	<u>0,889</u>	<u>0,1619</u>	<u>29,27</u>	<u>0,3973</u>	<u>0,5289</u>
	<u>Cx</u>	<u>118</u>	<u>0</u>	<u>0,417</u>	<u>0,904</u>	<u>0,2011</u>	<u>48,18</u>	<u>0,0352</u>	<u>-0,5355</u>
Rundholzklasse (Rundholzsortierer)	<u>A</u>	<u>24</u>	<u>0</u>	<u>0,246</u>	<u>0,519</u>	<u>0,1389</u>	<u>56,51</u>	<u>-0,0529</u>	<u>-0,6211</u>
	<u>AB</u>	<u>164</u>	<u>0</u>	<u>0,344</u>	<u>0,850</u>	<u>0,1648</u>	<u>47,92</u>	<u>0,2438</u>	<u>-0,3782</u>
	<u>B</u>	<u>5</u>	<u>0,115</u>	<u>0,324</u>	<u>0,485</u>	<u>0,1562</u>	<u>48,14</u>	<u>-0,3995</u>	<u>-1,6906</u>
	<u>C</u>	<u>131</u>	<u>0,114</u>	<u>0,438</u>	<u>0,889</u>	<u>0,1603</u>	<u>36,59</u>	<u>0,0371</u>	<u>-0,2580</u>
	<u>Cx</u>	<u>46</u>	<u>0,221</u>	<u>0,561</u>	<u>0,904</u>	<u>0,1537</u>	<u>27,42</u>	<u>0,1700</u>	<u>-0,2479</u>
	<u>Braun</u>	<u>23</u>	<u>0,160</u>	<u>0,485</u>	<u>0,864</u>	<u>0,1753</u>	<u>36,15</u>	<u>-0,1240</u>	<u>0,0816</u>
nach Lage im Baum	<u>1. Bloch</u>	<u>229</u>	<u>0</u>	<u>0,356</u>	<u>0,889</u>	<u>0,1798</u>	<u>50,53</u>	<u>0,2814</u>	<u>-0,3566</u>
	<u>3. Bloch</u>	<u>89</u>	<u>0,129</u>	<u>0,445</u>	<u>0,904</u>	<u>0,1621</u>	<u>36,42</u>	<u>0,2798</u>	<u>0,0095</u>
	<u>5. Bloch</u>	<u>75</u>	<u>0,187</u>	<u>0,495</u>	<u>0,852</u>	<u>0,1522</u>	<u>30,72</u>	<u>0,1446</u>	<u>-0,3641</u>

c) Ultraschallkennwerte

Tab. 10: Ultraschallgeschwindigkeit $v_{12/20}$ in m/s

Auswertung nach	Bezeichnung	Anzahl	Min	Mittelwert	Max	Standardabweichung	Variationskoeffizient	Schiefte	Exzess
		[<u>-</u>]	[<u>m/s</u>]	[<u>m/s</u>]	[<u>m/s</u>]	[<u>m/s</u>]	[<u>%</u>]	[<u>-</u>]	[<u>-</u>]
-	<u>Alle</u>	<u>393</u>	<u>4434</u>	<u>5580</u>	<u>6317</u>	<u>406,9</u>	<u>7,29</u>	<u>-0,5090</u>	<u>-0,4905</u>
Herkunft	<u>Alpenost-rand</u>	<u>184</u>	<u>4434</u>	<u>5555</u>	<u>6238</u>	<u>425,8</u>	<u>7,67</u>	<u>-0,3993</u>	<u>-0,7851</u>
	<u>Mühl- und Waldviertel</u>	<u>209</u>	<u>4450</u>	<u>5603</u>	<u>6317</u>	<u>389,1</u>	<u>6,95</u>	<u>-0,6078</u>	<u>-0,1337</u>
Höhenstufe	<u>300 – 500 m</u>	<u>138</u>	<u>4675</u>	<u>5700</u>	<u>6275</u>	<u>382,3</u>	<u>6,71</u>	<u>-0,5821</u>	<u>-0,5354</u>
	<u>500 – 900 m</u>	<u>116</u>	<u>4799</u>	<u>5691</u>	<u>6203</u>	<u>310,2</u>	<u>5,45</u>	<u>-0,7258</u>	<u>0,1405</u>
	<u>> 900 m</u>	<u>139</u>	<u>4434</u>	<u>5369</u>	<u>6317</u>	<u>418,4</u>	<u>7,79</u>	<u>-0,1160</u>	<u>-0,7709</u>
Rundholzklasse (Sortierung im Wald)	<u>B</u>	<u>142</u>	<u>4770</u>	<u>5692</u>	<u>6317</u>	<u>376,7</u>	<u>6,62</u>	<u>-0,5144</u>	<u>-0,7509</u>
	<u>C</u>	<u>133</u>	<u>4434</u>	<u>5565</u>	<u>6093</u>	<u>360,7</u>	<u>6,48</u>	<u>-0,8127</u>	<u>0,2676</u>
	<u>Cx</u>	<u>118</u>	<u>4450</u>	<u>5463</u>	<u>6275</u>	<u>455,5</u>	<u>8,34</u>	<u>-0,1822</u>	<u>-0,9323</u>
Rundholzklasse (Rundholzsortierer)	<u>A</u>	<u>24</u>	<u>4959</u>	<u>5763</u>	<u>6317</u>	<u>403,6</u>	<u>7,00</u>	<u>-0,3930</u>	<u>-1,1906</u>
	<u>AB</u>	<u>164</u>	<u>4675</u>	<u>5704</u>	<u>6275</u>	<u>367,9</u>	<u>6,45</u>	<u>-0,6384</u>	<u>-0,4578</u>
	<u>B</u>	<u>5</u>	<u>4858</u>	<u>5457</u>	<u>6009</u>	<u>475,7</u>	<u>8,72</u>	<u>-0,0789</u>	<u>-1,8491</u>
	<u>C</u>	<u>131</u>	<u>4434</u>	<u>5539</u>	<u>6148</u>	<u>395,9</u>	<u>7,15</u>	<u>-0,7748</u>	<u>-0,0668</u>
	<u>Cx</u>	<u>46</u>	<u>4545</u>	<u>5362</u>	<u>5909</u>	<u>322,6</u>	<u>6,02</u>	<u>-0,3080</u>	<u>-0,5159</u>
	<u>Braun</u>	<u>23</u>	<u>4450</u>	<u>5208</u>	<u>5932</u>	<u>434,0</u>	<u>8,33</u>	<u>0,2874</u>	<u>-0,9926</u>
nach Lage im Baum	<u>1. Bloch</u>	<u>229</u>	<u>4450</u>	<u>5582</u>	<u>6317</u>	<u>419,9</u>	<u>7,52</u>	<u>-0,5045</u>	<u>-0,5770</u>
	<u>3. Bloch</u>	<u>89</u>	<u>4434</u>	<u>5628</u>	<u>6203</u>	<u>395,1</u>	<u>7,02</u>	<u>-0,7348</u>	<u>0,0427</u>
	<u>5. Bloch</u>	<u>75</u>	<u>4545</u>	<u>5518</u>	<u>6238</u>	<u>376,3</u>	<u>6,82</u>	<u>-0,3288</u>	<u>-0,5250</u>

Tab. 11: Dynamischer E-Modul E_{dyn} in N/mm²

Auswertung nach	Bezeichnung	Anzahl	Min	Mittelwert	Max	Standardabweichung	Variationskoeffizient	Schiefe	Exzess
		[<u>-</u>]	[<u>m/s</u>]	[<u>m/s</u>]	[<u>m/s</u>]	[<u>m/s</u>]	[<u>%</u>]	[<u>-</u>]	[<u>-</u>]
-	<u>Alle</u>	<u>393</u>	<u>7475</u>	<u>13862</u>	<u>21842</u>	<u>2759</u>	<u>19,91</u>	<u>-0,1317</u>	<u>-0,3507</u>
Herkunft	<u>Alpenost-rand</u>	<u>184</u>	<u>7475</u>	<u>13411</u>	<u>18910</u>	<u>2860</u>	<u>21,32</u>	<u>-0,1713</u>	<u>-0,9279</u>
	<u>Mühl- und Waldviertel</u>	<u>209</u>	<u>7800</u>	<u>14259</u>	<u>21842</u>	<u>2611</u>	<u>18,31</u>	<u>-0,0041</u>	<u>0,1739</u>
Höhenstufe	<u>300 – 500 m</u>	<u>138</u>	<u>10599</u>	<u>14861</u>	<u>21842</u>	<u>2222</u>	<u>14,95</u>	<u>0,4810</u>	<u>0,2642</u>
	<u>500 – 900 m</u>	<u>116</u>	<u>7549</u>	<u>14339</u>	<u>20142</u>	<u>2727</u>	<u>19,01</u>	<u>-0,5046</u>	<u>-0,1312</u>
	<u>> 900 m</u>	<u>139</u>	<u>7475</u>	<u>12472</u>	<u>19472</u>	<u>2720</u>	<u>21,81</u>	<u>0,2180</u>	<u>-0,8057</u>
Rundholzklasse (Sortierung im Wald)	<u>B</u>	<u>142</u>	<u>7549</u>	<u>14363</u>	<u>19472</u>	<u>2484</u>	<u>17,30</u>	<u>-0,5706</u>	<u>-0,0924</u>
	<u>C</u>	<u>133</u>	<u>7929</u>	<u>13751</u>	<u>18910</u>	<u>2521</u>	<u>18,33</u>	<u>-0,1648</u>	<u>-0,4918</u>
	<u>Cx</u>	<u>118</u>	<u>7475</u>	<u>13384</u>	<u>21842</u>	<u>3218</u>	<u>24,05</u>	<u>0,3090</u>	<u>-0,3196</u>
Rundholzklasse (Rundholzsortierer)	<u>A</u>	<u>24</u>	<u>8862</u>	<u>11682</u>	<u>16048</u>	<u>2188</u>	<u>18,73</u>	<u>0,2908</u>	<u>-1,1476</u>
	<u>AB</u>	<u>164</u>	<u>8228</u>	<u>14623</u>	<u>21842</u>	<u>2703</u>	<u>18,49</u>	<u>-0,1164</u>	<u>-0,1317</u>
	<u>B</u>	<u>5</u>	<u>7549</u>	<u>11143</u>	<u>16438</u>	<u>3825</u>	<u>34,32</u>	<u>0,6815</u>	<u>-1,6822</u>
	<u>C</u>	<u>131</u>	<u>7475</u>	<u>13512</u>	<u>18910</u>	<u>2660</u>	<u>19,68</u>	<u>-0,4360</u>	<u>-0,4890</u>
	<u>Cx</u>	<u>46</u>	<u>8840</u>	<u>13411</u>	<u>19400</u>	<u>2447</u>	<u>18,25</u>	<u>0,2687</u>	<u>-0,2021</u>
	<u>Braun</u>	<u>23</u>	<u>7800</u>	<u>11000</u>	<u>14857</u>	<u>1904</u>	<u>17,31</u>	<u>0,6184</u>	<u>-0,3345</u>
nach Lage im Baum	<u>1. Bloch</u>	<u>229</u>	<u>7475</u>	<u>13823</u>	<u>21842</u>	<u>2940</u>	<u>21,27</u>	<u>-0,0439</u>	<u>-0,3867</u>
	<u>3. Bloch</u>	<u>89</u>	<u>7929</u>	<u>13806</u>	<u>18910</u>	<u>2671</u>	<u>19,35</u>	<u>-0,2858</u>	<u>-0,5354</u>
	<u>5. Bloch</u>	<u>75</u>	<u>8840</u>	<u>14048</u>	<u>19400</u>	<u>2277</u>	<u>16,21</u>	<u>-0,2780</u>	<u>-0,4037</u>

d) Ausbeuten der maschinellen Sortierungen

Tab. 12: Ausbeuteverhältnisse Grademaster 403 (ohne Gewichtung - Einschnittbild)

Auswertung nach	Bezeichnung	Anzahl	<= MS 7	MS 10	MS 13	MS 17
		[-]	[Stk] bzw. [%]	[Stück] bzw. [%]	[Stück] bzw. [%]	[Stück] bzw. [%]
-	Alle	668	255 38,17	298 44,61	73 10,93	42 6,29
Herkunft	Alpenostrand	332	152 45,78	132 39,76	33 9,94	15 4,52
	Mühl- und Waldviertel	336	103 30,65	166 49,40	40 11,90	27 8,04
Höhenstufe	300 – 500 m	225	48 21,33	115 51,11	42 18,67	20 8,89
	500 – 900 m	207	74 35,75	98 47,34	22 10,63	13 6,28
	> 900 m	236	133 56,36	85 36,02	9 3,81	9 3,81
Rundholzklasse (Sortierung im Wald)	B	239	50 20,92	115 48,12	39 16,32	31 12,97
	C	225	103 45,78	101 44,89	16 7,11	1 0,44
	Cx	212	101 47,64	82 38,68	18 8,49	10 4,72
Rundholzklasse (Rundholzsortierer)	A	41	4 9,76	18 43,90	9 21,95	10 24,39
	AB	275	80 29,09	121 44,00	45 16,13	29 10,55
	B	9	5 55,56	3 33,33	1 11,11	0 0,00
	C	215	85 39,53	111 51,63	17 7,91	2 0,93
	Cx	86	51 59,30	34 39,53	0 0,00	1 1,16
	Braun	41	29 70,73	11 26,83	1 2,44	0 0,00
nach Lage im Baum	1. Bloch	379	135 35,62	152 40,11	55 14,51	37 9,76
	3. Bloch	164	68 41,46	80 48,78	14 8,54	2 1,22
	5. Bloch	124	51 41,13	66 53,23	4 3,23	3 2,42

Tab. 13: Ausbeuteverhältnisse EuroGreComat 704 (ohne Gewichtung - Einschnittbild)

Auswertung nach	Bezeichnung	Anzahl	MS 7	MS 10	MS 13	MS 17
		[-]	[Stk] bzw. Ausbeute[%]	[Stück] bzw. [Ausbeute]	[Stück] bzw. [Ausbeute]	[Stück] bzw. [Ausbeute]
-	<u>Alle</u>	<u>579</u>	<u>66</u> <u>11,40</u>	<u>189</u> <u>32,64</u>	<u>146</u> <u>25,22</u>	<u>176</u> <u>30,40</u>
Herkunft	Alpenostrand	267	43 16,10	80 29,96	65 24,34	77 28,84
	Mühl- und Waldviertel	312	23 7,37	109 34,94	81 25,96	99 31,73
Höhenstufe	300 – 500 m	210	12 5,71	53 25,24	56 26,67	88 41,90
	500 – 900 m	183	23 12,57	59 32,24	45 24,59	56 30,60
	> 900 m	186	31 16,67	77 41,40	45 24,19	32 17,20
Rundholzklasse (Sortierung im Wald)	B	214	14 6,54	52 24,30	59 27,57	89 41,59
	C	203	21 10,34	94 46,31	44 21,67	42 20,69
	Cx	162	31 19,14	43 26,54	43 26,54	45 27,78
Rundholzklasse (Rundholzsortierer)	A	41	0 0,00	6 14,63	11 26,83	24 58,54
	AB	248	24 9,68	47 18,95	68 27,42	108 43,55
	B	4	1 25,00	1 25,00	1 25,00	1 25,00
	C	189	18 9,52	88 46,56	46 24,34	36 19,05
	Cx	70	14 20,00	36 51,43	16 22,86	4 57,14
	Braun	27	9 33,33	11 40,74	4 14,81	3 11,11
nach Lage im Baum	1. Bloch	324	33 10,19	86 26,54	73 22,53	131 40,43
	3. Bloch	146	20 13,70	45 30,82	47 32,19	33 22,60
	5. Bloch	109	13 11,93	58 53,21	26 23,85	12 11,01

Tab. 14: Ausbeuten Ultraschallgeschwindigkeit (ohne Gewichtung – Einschnittbild)

Auswertung nach	Bezeichnung	Anzahl	Ausschuß	MS 7	MS 10	MS 13	MS 17
		[-]	[Stk] bzw. Ausbeute[%]	[Stk] bzw. Ausbeute[%]	[Stück] bzw. [Ausbeute]	[Stück] bzw. [Ausbeute]	[Stück] bzw. [Ausbeute]
-	Alle	427	96 22,48	49 11,48	92 21,55	81 18,97	109 25,53
Herkunft	Alpen- ostrand	202	58 28,71	20 9,90	36 17,82	32 15,84	56 27,72
	Mühl- und Wald-viertel	225	38 16,89	29 12,89	56 24,89	49 21,78	53 23,56
Höhenstufe	300 – 500 m	144	22 15,28	13 9,03	29 20,14	25 17,36	55 38,19
	500 – 900 m	132	15 11,36	13 9,85	33 25,00	36 27,27	35 26,52
	> 900 m	151	59 39,07	23 15,23	30 19,87	20 13,25	19 12,58
Rundholz- klasse (Sortierung im Wald)	B	149	25 16,78	13 8,72	30 20,13	24 16,11	57 38,26
	C	145	25 17,24	22 15,17	35 24,14	35 21,14	28 19,31
	Cx	133	46 34,59	14 10,53	27 20,30	22 16,54	24 18,05
Rundholz- klasse (Rundholz- sortierer)	A	24	3 12,50	4 16,67	3 12,50	2 8,33	12 50,00
	AB	172	26 15,12	15 8,72	34 19,77	29 16,86	68 39,53
	B	7	3 42,86	1 14,29	0 0,00	2 28,57	1 14,29
	C	136	29 21,32	14 10,29	34 25,00	33 24,26	26 19,12
	Cx	63	21 33,33	11 17,46	19 30,16	11 17,46	1 1,59
	Braun	25	14 56,00	4 16,00	2 8,00	4 16,00	1 4,00
nach Lage im Baum	1. Bloch	241	55 22,82	29 12,03	50 20,75	43 17,84	64 26,56
	3. Bloch	99	22 22,22	7 7,07	19 19,19	20 20,20	31 31,31
	5. Bloch	87	19 21,84	13 14,94	23 26,44	18 20,69	14 16,09

Tab. 15: Ergebnisse der mechanischen Kenngrößen bei Durchführung der maschinellen Sortierungen

Auswertung nach	Bezeichnung	Ausschuß	MS 7	MS 10	MS 13	MS 17
Grademaster 403	Stück	=	=	184 46,82 %	34 8,65 %	17 4,33 %
	ρ_{12} [kg/m ³]	=	=	MW: 452 5 %: 385	MW: 463 5 %: 398	MW: 490 5 %: 419
	$E_{0,1}$ [N/mm ²]	=	=	MW: 10767 5 %: 7664	MW: 13765 5 %: 12.017	MW: 15274 5 %: 11870
	$f_{t,0,1}$ [N/mm ²]	=	=	MW: 26,17 5 % NV: 9,24 5 % LNV: 12,58	MW: 38,00 5 % NV: 13,92 5 % LNV: 17,96	MW: 40,84 5 % NV: 22,29 5 % LNV: 25,16
Euro GreComat 704	Stück	63 16,03 %	48 12,21 %	109 27,74 %	85 21,63 %	88 22,39 %
	ρ_{12}	=	MW: 402 5 %: 344	MW: 439 5 %: 306	MW: 462 5 %: 400	MW: 472 5 %: 409
	$E_{0,1}$	=	MW: 7811 5 %: 5992	MW: 9364 5 %: 4241	MW: 11224 5 %: 8941	MW: 13828 5 %: 11370
	$f_{t,0,1}$	=	MW: 13,75 5 % NV: 7,93 5 % LNV: 8,58	MW: 21,41 5 % NV: 9,01 5 % LNV: 11,48	MW: 27,74 5 % NV: 13,84 5 % LNV: 16,55	MW: 37,06 5 % NV: 16,01 5 % LNV: 19,35
Ultraschall- gerät 'Sylvatest' 410 Stück	Stück		40 10,18 %	84 21,37 %	73 18,58 %	105 26,72 %
	ρ_{12}		MW: 430 5 %: 354	MW: 441 5 %: 376	MW: 447 5 %: 385	MW: 460 5 %: 398
	$E_{0,1}$		MW: 8254 5 %: 5775	MW: 9703 5 %: 7449	MW: 10951 5 %: 8191	MW: 13454 5 %: 10742
	$f_{t,0,1}$		MW: 18,98 5 % NV: 4,03 5 % LNV: 8,37	MW: 21,20 5 % NV: 10,29 5 % LNV: 11,94	MW: 24,84 5 % NV: 11,46 5 % LNV: 14,13	MW: 36,62 5 % NV: 16,19 5 % LNV: 19,54

Tab: 16: Soll- Werte nach EN 338:2002:

Festigkeits- klasse nach EN 338:2002	Zugeordnete Sortierklasse nach ÖN DIN 4074-1	Rohdichte	E- Modul	Zugfestigkeit
<u>C 16</u>	<u>MS 7</u>	$\rho_{\text{mean}} = 370 \text{ kg/m}^3$ $\rho_k = 310 \text{ kg/m}^3$	$E_{0,\text{mean}} = 8000 \text{ N/mm}^2$ $E_{0,05} = 5400 \text{ N/mm}^2$	$f_{t,0,1,k} = 10 \text{ N/mm}^2$
<u>C 24</u>	<u>MS 10</u>	$\rho_{\text{mean}} = 420 \text{ kg/m}^3$ $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$	$E_{0,\text{mean}} = 11000 \text{ N/mm}^2$ $E_{0,05} = 7400 \text{ N/mm}^2$	$f_{t,0,1,k} = 14 \text{ N/mm}^2$
<u>C 35</u>	<u>MS 13</u>	$\rho_{\text{mean}} = 480 \text{ kg/m}^3$ $\rho_k = 400 \text{ kg/m}^3$	$E_{0,\text{mean}} = 13000 \text{ N/mm}^2$ $E_{0,05} = 8700 \text{ N/mm}^2$	$f_{t,0,1,k} = 21 \text{ N/mm}^2$
<u>C 40</u>	<u>MS 17</u>	$\rho_{\text{mean}} = 500 \text{ kg/m}^3$ $\rho_k = 420 \text{ kg/m}^3$	$E_{0,\text{mean}} = 14000 \text{ N/mm}^2$ $E_{0,05} = 9400 \text{ N/mm}^2$	$f_{t,0,1,k} = 24 \text{ N/mm}^2$

e) Zusammenhänge der einzelnen Kennwerte

Zusammenhang zwischen der mittleren Jahrringbreite und der Rohdichte ρ_{12}

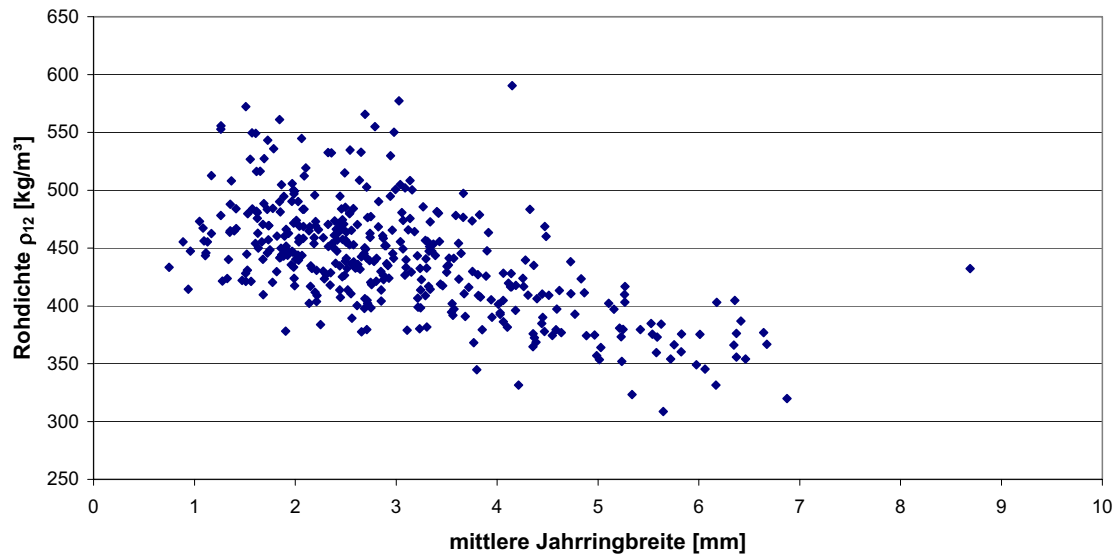


Abb.19: Zusammenhang zwischen der mittleren Jahrringbreite und der Rohdichte

Zusammenhang zwischen Rohdichte ρ_{12} und dem Zug-E-Modul

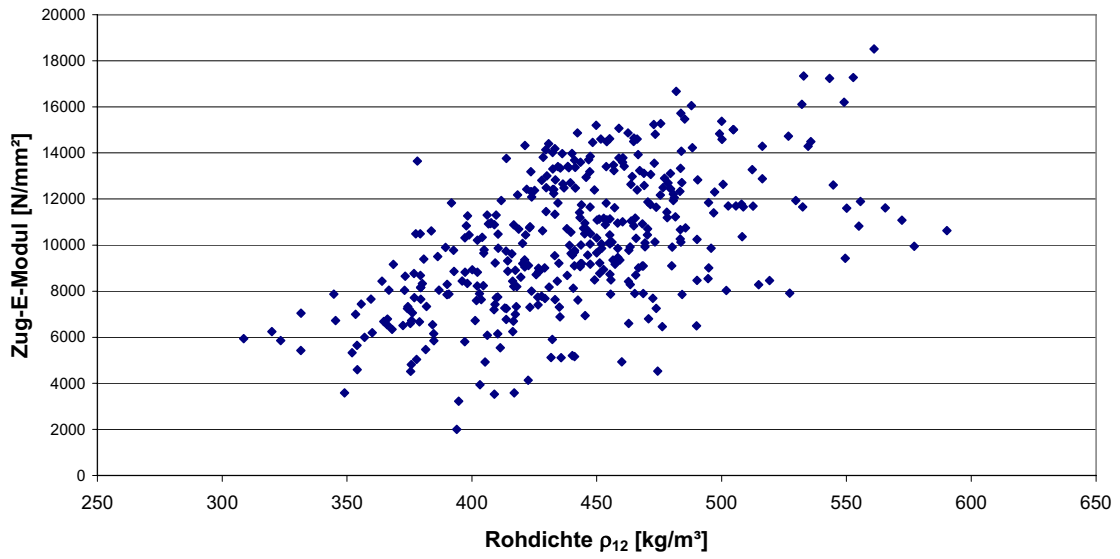


Abb.20: Zusammenhang zwischen der Rohdichte und dem Zug-E-Modul

Zusammenhang zwischen der Rohdichte ρ_{12} und der Zugfestigkeit

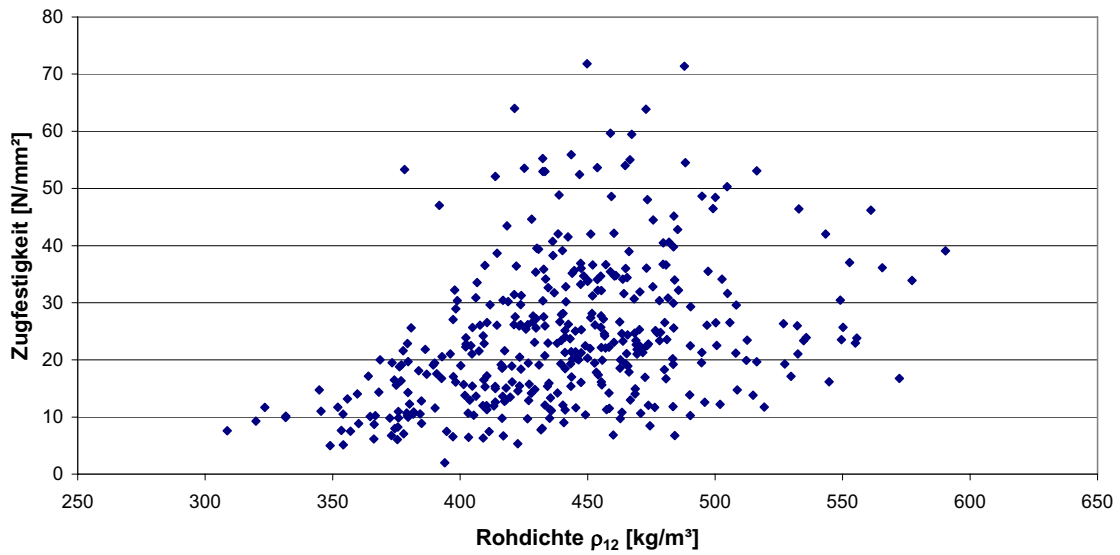


Abb.21: Zusammenhang zwischen der Rohdichte und der Zugfestigkeit

Zusammenhang zwischen dem Zug-E-Modul und der Zugfestigkeit

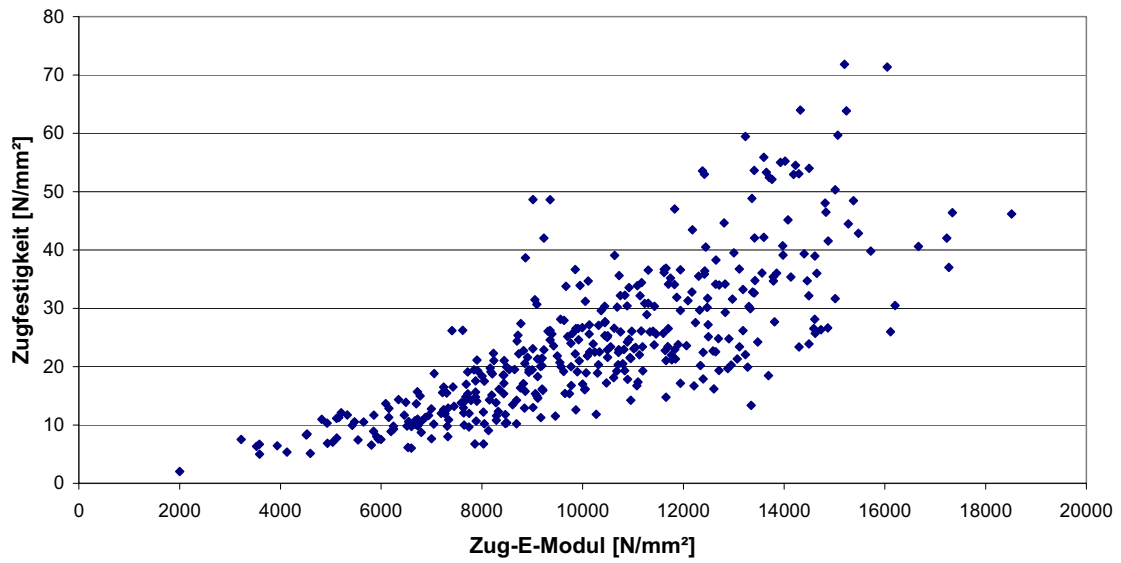


Abb.22: Zusammenhang zwischen Zug-E-Modul und Zugfestigkeit

Zusammenhang zwischen dem Zug-E-Modul und dem dynamischen E-Modul

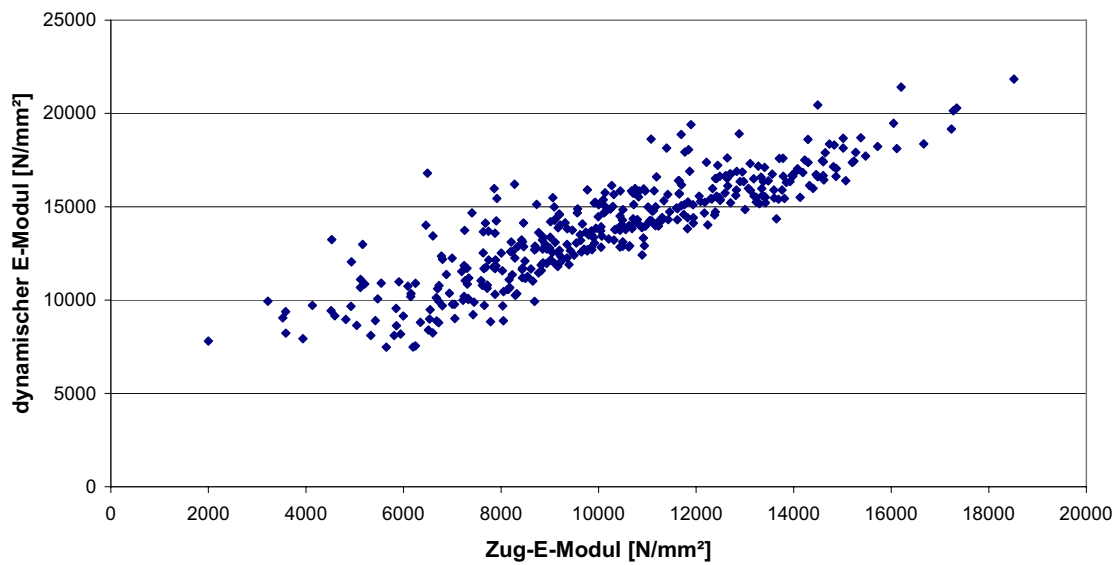


Abb.23: Zusammenhang zwischen Zug-E-Modul und dynamischem E-Modul

Zusammenhang zwischen der Ultraschallgeschwindigkeit $v_{12/20}$ und dem Zug-E-Modul

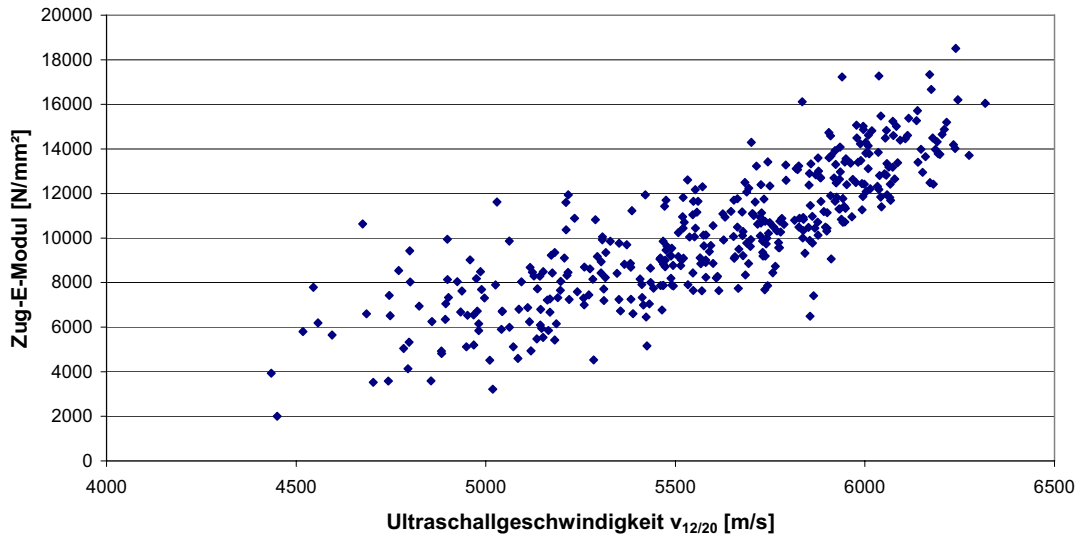


Abb.24: Zusammenhang zwischen der Ultraschallgeschwindigkeit und dem Zug-E-Modul

Zusammenhang zwischen der Ultraschallgeschwindigkeit $v_{12/20}$ und der Zugfestigkeit

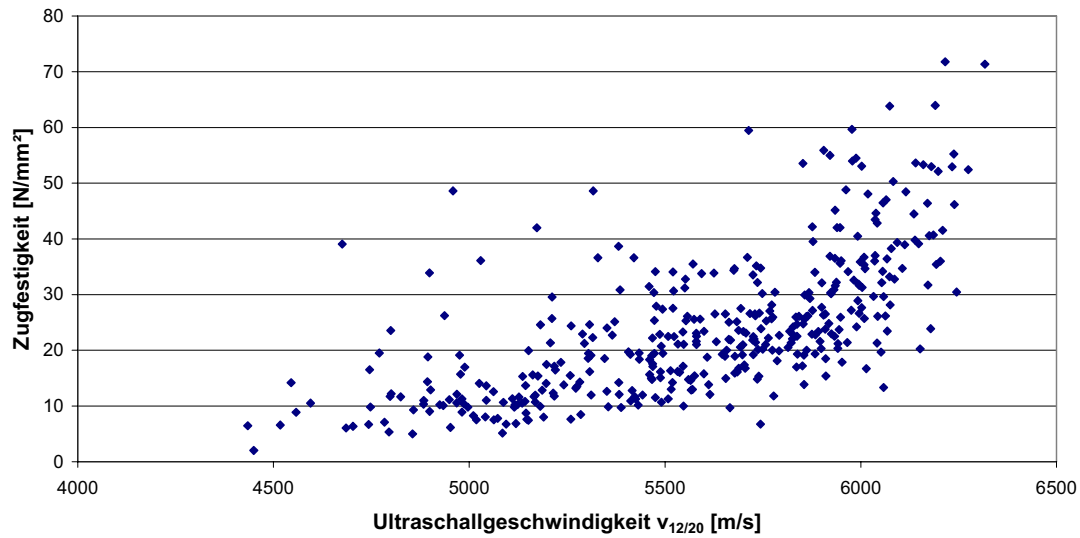


Abb.25: Zusammenhang zwischen der Ultraschallgeschwindigkeit und der Zugfestigkeit

f) Radialer Verlauf der Kennwerte

**Zusammenhang zwischen der Lage im Stamm
und der Rohdichte ρ_{12}**

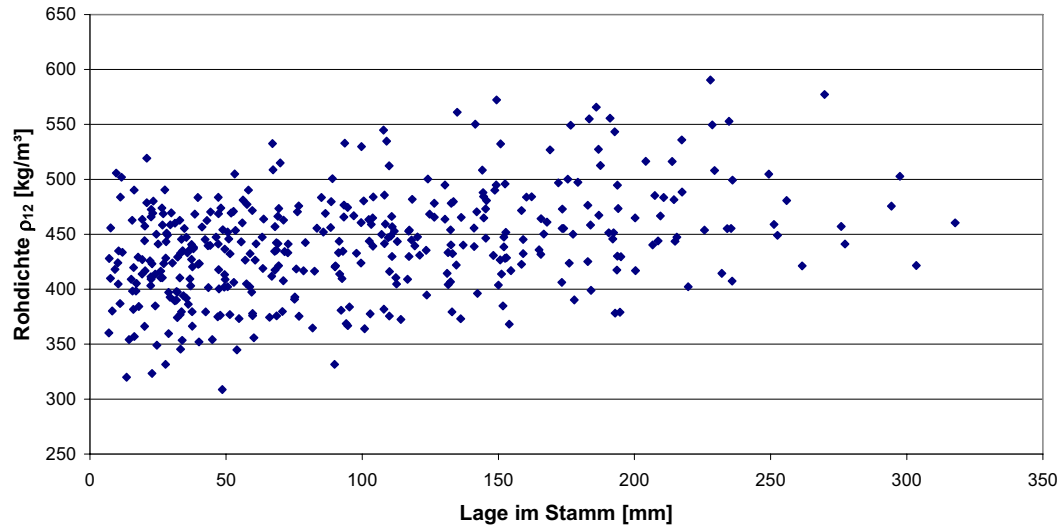


Abb.26: Zusammenhang zwischen der Lage im Stamm und der Rohdichte

**Zusammenhang zwischen der Lage im Stamm
und dem Zug-E-Modul**

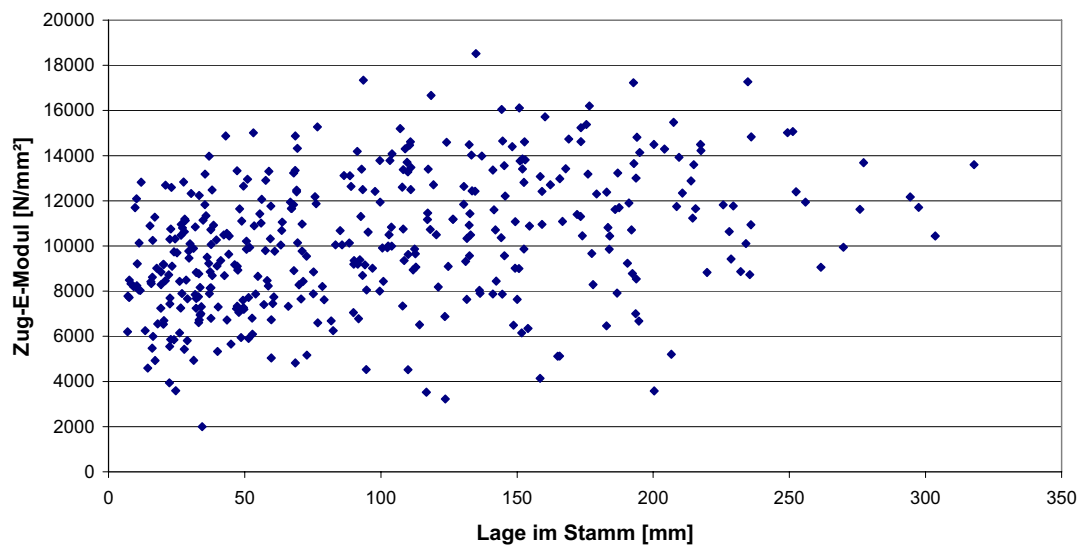


Abb.27: Zusammenhang zwischen der Lage im Stamm und dem Zug-E-Modul

Zusammenhang zwischen der Lage im Stamm und der Zugfestigkeit

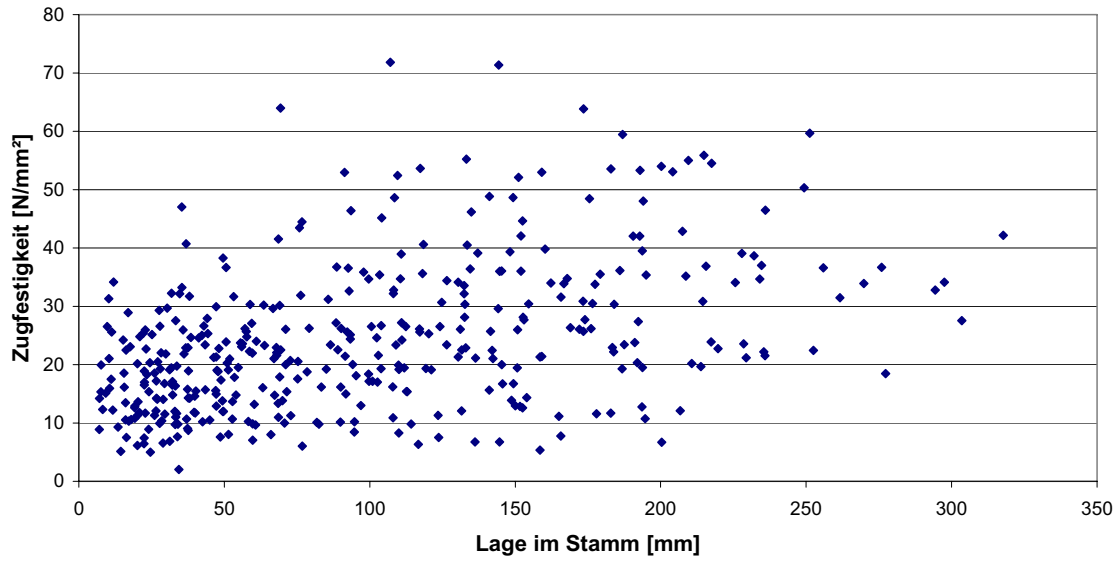


Abb.28: Zusammenhang zwischen der Lage im Stamm und der Zugfestigkeit

Zusammenhang zwischen der Lage im Stamm und dem Astparameter DEB

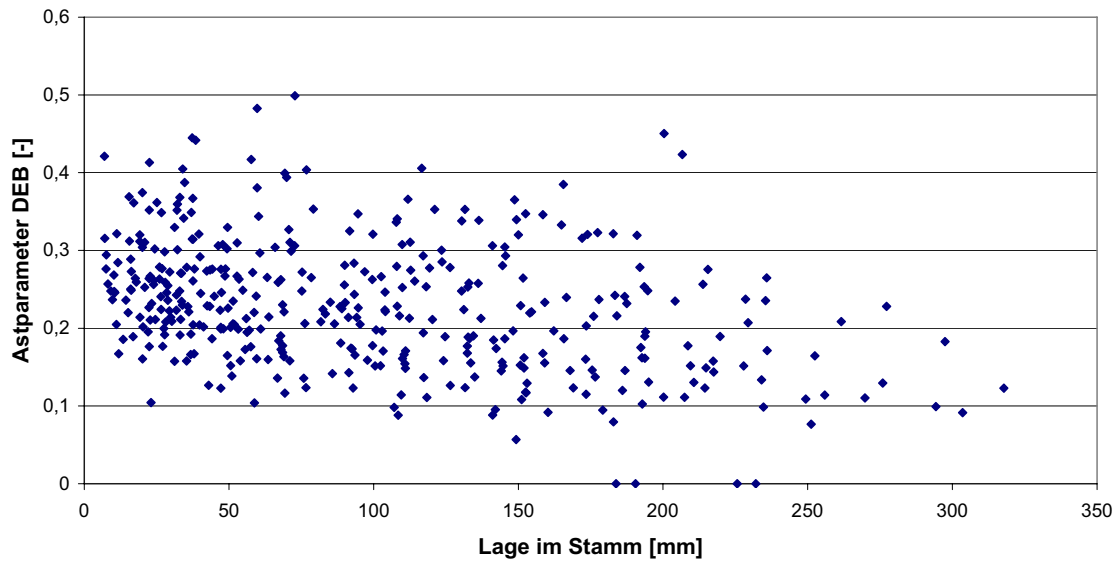


Abb. 29: Zusammenhang zwischen der Lage im Stamm und dem Astparameter DEB

Zusammenhang zwischen der Lage im Stamm und dem Astparameter DAB

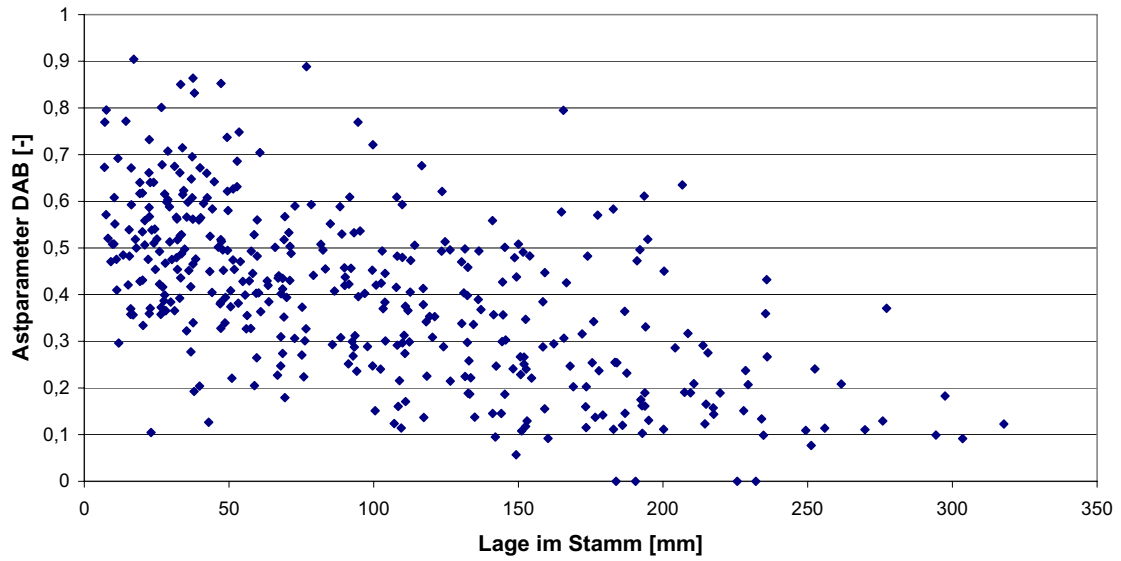


Abb. 30: Zusammenhang zwischen der Lage im Stamm und dem Astparameter DAB

g) Verlauf der Kennwerte über die Höhe

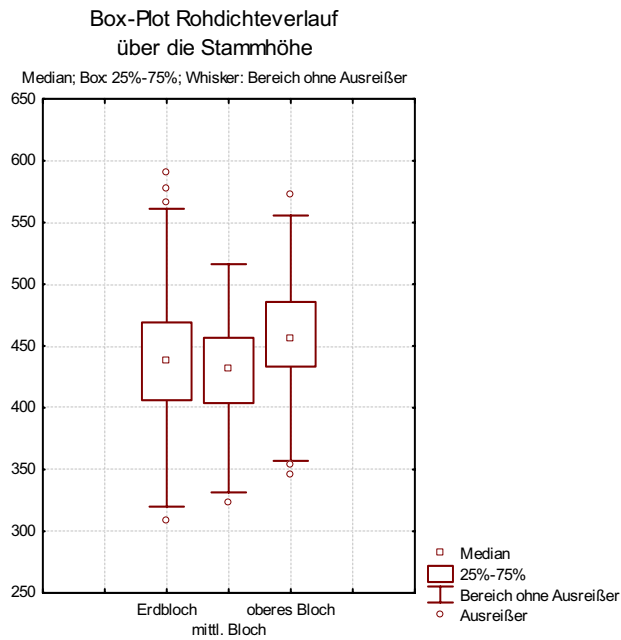


Abb.31: Verlauf der Rohdichte über die Stammhöhe

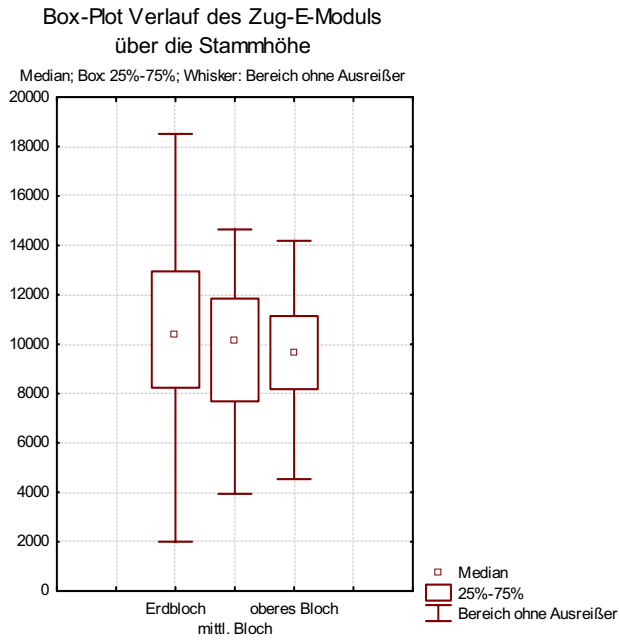


Abb.32: Verlauf des Zug-E-Moduls über die Stammhöhe

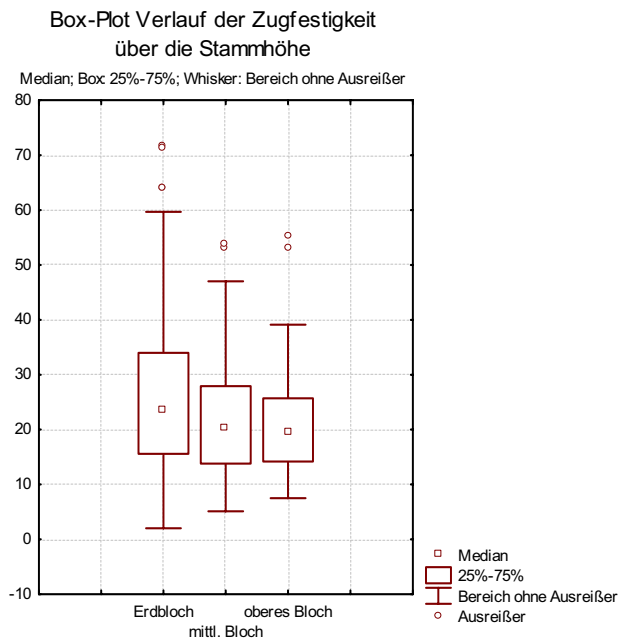


Abb. 33: Verlauf der Zugfestigkeit über die Stammhöhe

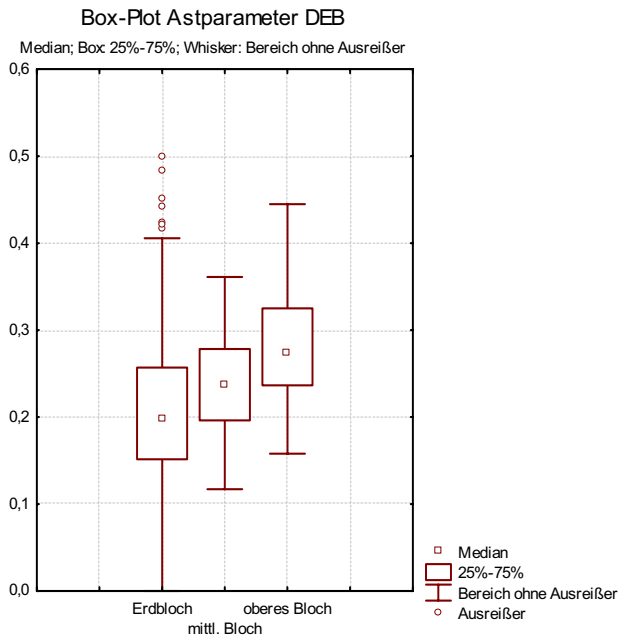


Abb. 34: Verlauf des Astparameters DEB über die Stammhöhe

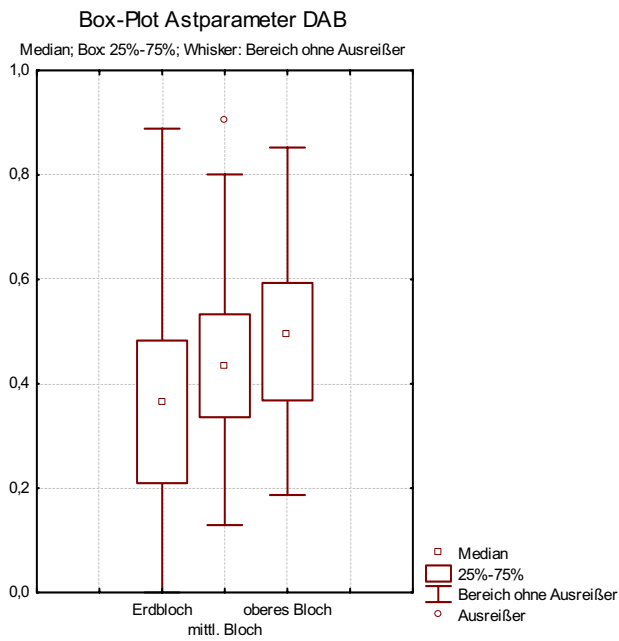


Abb. 35: Verlauf des Astparameters DAB über die Stammhöhe

h) Auswirkungen einer Vorsortierung am Rundholz auf die mechanischen Kennwerte des Schnittholzes

Wie bereits erwähnt, stellt die Möglichkeit einer möglichst frühzeitigen Erkennung der Eignung des zur Verfügung stehenden Rundholzes für die weitere Verarbeitung zu Produkten und somit insbesondere für das Starkrundholz einen wesentlichen Faktor für eine optimierte Wertschöpfung dar. Im Rahmen dieses Projektes wurden die zur Festlegung geeigneter Parameter erforderlichen Messungen durchgeführt. Die Ergebnisse sollen daher in weiterer Folge dargestellt werden.

Um eine Vorsortierung geeigneter Rundholzstämmen für eine weitere Verwendung des daraus gewonnenen Schnittholzes als lastabtragendes Bauteil durchführen zu können ist zunächst ein Grenzwert für die Ultraschallgeschwindigkeit am Rundholz v_{RH} festzulegen. Hauffe schlägt dazu in einen Grenzwert $v_{RH} > 4800$ m/s für einen möglichst effiziente Schnittholzausnutzung als Bauholz bzw. für Bretter zur Brettschichtholzherstellung vor. Als Ergebnis erhielt er eine Ausbeute von 26,25 % (84 von 320) mit einem Kennwerte $v_{RH} < 4800$ m/s und eine Ausbeute von 73,75 % mit $v_{RH} > 4800$ m/s. Wie Hauffe zeigte, kann der Großteil der Klasse mit $v_{RH} > 4800$ m/s als qualitativ hochwertige Schnittholzware eingestuft werden.

Führt man diesen Grenzwert in die zur Verfügung stehenden Daten dieses Projektes ein, so erhält man folgende Ausbeuten:

Tab: 17: Vergleich der Ausbeuten bei einer Rundholzvorsortierung

	$v_{RH} < 4800$ m/s	$v_{RH} > 4800$ m/s
Hauffe, 2001	<u>84 von 320</u> <u>26,25 %</u>	<u>236 von 320</u> <u>73,75 %</u>
XXL-Wood	<u>20 von 70</u> <u>28,57 %</u>	<u>50 von 70</u> <u>71,43 %</u>

Die Ausbeuten unterscheiden sich also nur unwesentlich.

In weiterer Folge sind die so erzielbaren mechanischen Kenngrößen von Interesse. Diese sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 18: Mechanische Kenngrößen für das Schnittholz bei einer Rundholzvorsortierung mit den vorgeschlagenen Werten

Kenngröße	$v_{RH} < 4800$ m/s	$v_{RH} > 4800$ m/s
		112 Stück
Rohdichte r_{12} [kg/m ³]	<u>MW: 414 kg/m³</u> <u>5 %: 338 kg/m³</u>	<u>MW: 451 kg/m³</u> <u>5 %: 381 kg/m³</u>
Zug-E-Modul [N/mm ²]	<u>MW: 8371 N/mm²</u> <u>5 %: 3816 N/mm²</u>	<u>MW: 10923 N/mm²</u> <u>5 %: 6483 N/mm²</u>
Zugfestigkeit [N/mm ²]	<u>MW: 18,62 N/mm²</u> <u>5 % NV: 0,20 N/mm²</u> <u>5 % LNV: 5,88 N/mm²</u>	<u>MW: 26,12 N/mm²</u> <u>5 % NV: 5,62 N/mm²</u> <u>5 % LNV: 10,56 N/mm²</u>

Betrachtet man die Ergebnisse der obigen Tabelle (Tabelle 18), so zeigt sich doch eine recht deutlich ausgeprägte Abstufung der mechanischen Kennwerte. Zu erwähnen bleibt, dass durch das Anheben des Grenzwertes v_{RH} eine noch deutlichere Abstufung erreichbar ist.

Wie die vorher dargestellten Analysen dieses Berichtes zeigen führt eine weitere Analyse ohne Berücksichtigung der für die Erzeugung von Bauschnittholz eher ungeeigneten Rundholzklasse Cx ebenfalls zu höheren Kennwerten des Schnittholzes. Auf die detaillierte Darstellung wird an dieser Stelle verzichtet.

Um eine Vorsortierung in Hinblick auf die Gewinnung von Bauschnittholz mittels Ultraschallsortierung am Rundholz noch effizienter zu gestalten, soll stattdessen eine im Sägewerk ebenfalls relativ einfach durchzuführende Maßnahme geschildert werden. Wie die relativ stark streuenden, mechanischen Kenngrößen in radialer Richtung zeigen ist das Schnittholz mit hohem mechanischen Potenzial vor allem in den äußeren Randzonen aufzufinden. Im Folgenden wird daher der Effekt aufgezeigt der eintritt, wenn zusätzlich zu der Klassenbildung mit dem Ultraschallgrenzwert am Rundholz die Lage des Brettes im Stamm berücksichtigt wird. Dazu sollen zwei weitere Klassen mit einer Lage im Stamm $R < 100$ mm bzw. $R > 100$ mm in die Analyse eingeführt werden. Die Ergebnisse dieser Überlegung sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 19: Mechanische Kenngrößen für das Schnittholz unter Berücksichtigung einer Ultraschallvorsortierung am Rundholz und der Lage im Stamm

Kenngröße	$v_{RH} < 4800$ m/s		$v_{RH} > 4800$ m/s	
	<u>R < 100 mm</u>	<u>R > 100 mm</u>	<u>R < 100 mm</u>	<u>R > 100 mm</u>
Ausbeuten	<u>63 Stück</u>	<u>49 Stück</u>	<u>160 Stück</u>	<u>122 Stück</u>
Rohdichte r12 [kg/m ³]	<u>MW: 404 kg/m³</u> <u>5 %: 324 kg/m³</u>	<u>MW: 428 kg/m³</u> <u>5 %: 360 kg/m³</u>	<u>MW: 436 kg/m³</u> <u>5 %: 376 kg/m³</u>	<u>MW: 472 kg/m³</u> <u>5 %: 402 kg/m³</u>
Zug-E-Modul [N/mm ²]	<u>MW: 7441 N/mm²</u> <u>5 %: 4208 N/mm²</u>	<u>MW: 9567 N/mm²</u> <u>5 %: 4328 N/mm²</u>	<u>MW: 10088 N/mm²</u> <u>5 %: 5990 N/mm²</u>	<u>MW: 12018 N/mm²</u> <u>5 %: 7780 N/mm²</u>
Zugfestigkeit [N/mm ²]	<u>MW: 14,27</u> <u>N/mm²</u> <u>5 % NV: 3,43</u> <u>N/mm²</u> <u>5 % LNV: 5,64</u> <u>N/mm²</u>	<u>MW: 24,22</u> <u>N/mm²</u> <u>5 % NV: 2,34</u> <u>N/mm²</u> <u>5 % LNV: 7,45</u> <u>N/mm²</u>	<u>MW: 21,56 N/mm²</u> <u>5 % NV: 6,00 N/mm²</u> <u>5 % LNV: 9,57</u> <u>N/mm²</u>	<u>MW: 32,11 N/mm²</u> <u>5 % NV: 10,08</u> <u>N/mm²</u> <u>5 % LNV: 14,06</u> <u>N/mm²</u>

Wie die angeführten Daten zeigen, kann mit dieser Vorgangsweise eine sehr deutliche Abstufung der mechanischen Kennwerte erreicht werden.

Die Kennwerte der Rundholzsortierung in Sägewerk ohne Cx- und Braunbloche ist der nachfolgenden Tabelle entnommen.

Tabelle 20: Mechanische Kenngrößen für das Schnittholz unter Berücksichtigung einer Ultraschallvorsortierung am Rundholz und der Lage im Stamm – ohne Cx- und Braunbloche

Kenngröße	$v_{RH} < 4800$ m/s		$v_{RH} > 4800$ m/s	
	<u>R < 100 mm</u>	<u>R > 100 mm</u>	<u>R < 100 mm</u>	<u>R > 100 mm</u>
Ausbeuten	<u>38 Stück</u>	<u>38 Stück</u>	<u>140 Stück</u>	<u>109 Stück</u>
Rohdichte r12 [kg/m ³]	<u>MW: 382 kg/m³</u> <u>5 %: 319 kg/m³</u>	<u>MW: 421 kg/m³</u> <u>5 %: 364 kg/m³</u>	<u>MW: 437 kg/m³</u> <u>5 %: 381 kg/m³</u>	<u>MW: 472 kg/m³</u> <u>5 %: 407 kg/m³</u>
Zug-E-Modul [N/mm ²]	<u>MW: 7241 N/mm²</u> <u>5 %: 4255 N/mm²</u>	<u>MW: 10032</u> <u>N/mm²</u> <u>5 %: 4894 N/mm²</u>	<u>MW: 10343 N/mm²</u> <u>5 %: 6239 N/mm²</u>	<u>MW: 12282 N/mm²</u> <u>5 %: 8313 N/mm²</u>
Zugfestigkeit [N/mm ²]	<u>MW: 14,53</u> <u>N/mm²</u> <u>5 % NV: 2,91</u> <u>N/mm²</u> <u>5 % LNV: 5,94</u> <u>N/mm²</u>	<u>MW: 26,00</u> <u>N/mm²</u> <u>5 % NV: 3,37</u> <u>N/mm²</u> <u>5 % LNV: 8,55</u> <u>N/mm²</u>	<u>MW: 22,37 N/mm²</u> <u>5 % NV: 6,54 N/mm²</u> <u>5 % LNV: 10,03</u> <u>N/mm²</u>	<u>MW: 33,40 N/mm²</u> <u>5 % NV: 11,57</u> <u>N/mm²</u> <u>5 % LNV: 15,23</u> <u>N/mm²</u>

2.10 Analyse der Ergebnisse

Mechanische Kennwerte

Die Analyse der mechanischen Kennwerte für das gegebene Datenmaterial zeigt eine Abhängigkeit von der Höhenlage der entnommenen Proben an. Generell kann festgestellt werden, dass mit zunehmender Höhenlage eine Verschlechterung der mechanischen Kennwerte einhergeht.

Mit einer Verbesserung der Rundholzqualität konnte auch eine deutliche Verbesserung der mechanischen Eigenschaften festgestellt werden, wobei dies insbesondere für die Klassierung durch den Rundholzexperten gilt. Aus der Analyse geht hervor, dass für den Einsatz für lastabtragendes Schnittholz insbesondere die Qualitäten A bis B (Anmerkung: Für die Klasse B sind aus dieser Untersuchung nur bedingt Aussagen möglich, da nur ein Baumstamm eingeordnet wurde. Es ist jedoch zu erwarten, dass die Erfordernisse bei Vorliegen eines größeren Samples bestätigt werden können.) geeignet erscheinen, während für die Klasse C und insbesondere Cx eine Eignung nur bedingt gegeben ist. Um dieses Material dennoch im Baubereich einsetzen zu können, sollte dieses z.B. in den innenliegenden Bereichen von Brettsperholz Verwendung finden, wo dessen spezifische Eigenschaften bezüglich der Schubtragfähigkeit auf Grund der höheren Ästigkeit einen sinnvollen Einsatz erfahren kann.

Bezüglich der Lage der entnommenen Lamellen entlang der Höhe kann festgestellt werden, dass das Material bis zu einer Höhe von rund 12 bis 15 m eine sinnvolle Verwendung im Bauwesen finden kann. In größeren Höhen steigt die Ästigkeit stärker an und dadurch fallen insbesondere die Zugfestigkeiten stark ab, während der Zug-E-Modul nahezu konstant bleibt und die Rohdichte, bedingt durch die höhere Ästigkeit mit deren höherer Rohdichte sowie den geringeren Jahrringbreiten ansteigt.

Jahrringbreiten und Astparameter

Die mittleren Jahrringbreiten des vorliegenden Datenmaterials zeigen nahezu über alle Klassifizierungskriterien annähernd gleiche Größenordnungen. Lediglich die Jahrringbreiten über die Höhe des Stammes zeigen eine abnehmende Tendenz an. Dies ist auf das Auftreten des sog. juvenilen zurückzuführen, dass im Allgemeinen in den tieferen Höhen verstärkt auftritt. Kompensiert wird dieser Effekt durch die sehr engjährig Randbereiche, in denen auch das Material mit den höchsten Kennwerten anzutreffen ist, wobei anzumerken ist, dass in diesen Bereichen auch verstärkt Druckholz auftritt.

Die ausgewerteten Astparameter nach den Kriterien DIN Einzelast bzw. DIN Astansammlung zeigen eine verstärkte Ästigkeit sowohl nach Größe und Anzahl in den höheren Lagen der Wuchsgebiete an. Der Abfall der mechanischen Kennwerte ist damit zum Teil erklärt, wobei diese Ursache noch durch zusätzliche wuchsbedingte Merkmale (kürzere Vegetationszyklen, kargere Bodenverhältnisse etc.) verursacht sein dürfte. Dieser Schluss lässt sich auf Grund der geringeren Rohdichte folgern, obwohl bei diesem Material wie bereits erwähnt eine verstärkte Ästigkeit auftrat.

Aus der Rundholzklassierung sind steigende Astparameter sowohl in qualitativer als auch quantitativer Hinsicht bei schlechter werdender Rundholzqualität zu erkennen. Dies ist nicht weiter verwunderlich, da die Rundholzsortierung in erster Linie auf Grund der Ästigkeit durchgeführt wird.

Wie bereits erwähnt steigen sowohl die Astgröße als auch deren Häufigkeit für die Baumhöhen größer 12 bis 15 m stark an, sodass aus diesem Bereich kaum brauchbares Material für eine Verwendung im Bauwesen gewonnen werden kann.

Ultraschallkennwerte

Mit den vor der zerstörungsbehafteten Prüfung durchgeführten Ultraschallmessungen konnte dieses einfache und kostengünstige Verfahren als tauglich für die Sortierung von Schnittholz identifiziert werden. Dies zeigt sich sowohl für die einzelnen Klassifizierungsmerkmale, als auch generell für den Zusammenhang zwischen mechanischen Kenngrößen und den Ultraschallparametern $v_{12/20}$ bzw. den dynamischen E-Modul. Auf Grund seiner Eignung sowohl für die Sortierung größerer Schnittholzquerschnitte als auch, wie bereits angeführt, für die Vorsortierung von Rundholz stellt dieses Verfahren eine sehr empfehlenswerte Einrichtung für die Gewinnung qualitativ hochwertiger Schnittholzsortimente dar.

Maschinelle Sortierungen

Die Verwendung von Starkholz im lastabtragenden Bereich bleibt, wie die Ausbeuteverhältnisse der maschinellen Sortierungen mittels Grademaster 403 bzw. EuroGrecomat 702 zeigen, sinnvollerweise auf die Verwendung des qualitativ hochwertigen Rundholzes der Klassen A bis B (evt. C) beschränkt. Die Ergebnisse der maschinellen Sortierungen mit den beiden erwähnten Sortiereinheiten zeigen teils widersprüchliche Aussagen, wobei generell der Zusammenhang zwischen Ausbeuteverhältnissen der jeweiligen Festigkeitsklassen und den damit verbundenen mechanischen Kenngrößen zu beachten ist. Wie gezeigt werden konnte ist die maschinelle Schnittholzsortierung mit dem vorliegenden, stark inhomogenen Material mit als äußerst problematisch einzustufen. Dies scheint vor allem auf die Einstellungsparameter der jeweiligen Anlagen zurückzuführen, welche offensichtlich für relativ homogenes Material bzw. definierte Provenienzen abgeleitet wurden.

Verlauf der Kenngrößen in der radialen Richtung

Wie aus dem Verlauf der Kenngrößen in radialer Richtung zu erkennen ist, steigen die mechanischen Kenngrößen im Mittel in radialer Richtung an. Dies ist zum einen auf die ansteigende Tendenz der Rohdichte resp. kleiner werdenden mittleren Jahrringbreiten und zum anderen auf die kleiner werdende Ästigkeit zurückzuführen. Allerdings ist aus den Diagrammen über den radialen Verlauf auch zu erkennen, dass auch die Streuung der Kenngrößen mit größer werdendem Radius der Lage im Stamm beträchtlich zunimmt. Die für eine praktische Verwendung nutzbaren Eigenschaften bleiben somit nahezu konstant, sodass dieser Effekt kaum oder nur zu einem geringen Prozentsatz technisch genutzt werden kann.

Verlauf der Kenngrößen über die Höhe im Stamm

Die mechanischen Kennwerte bleiben bis zu einer Höhe von rund 12 bis 15 m auf gleich bleibendem Niveau. Ab dieser Höhe kommt es, bedingt durch die höhere Ästigkeit zu einem Abfall der Zugfestigkeit bei annähernd konstantem E- Modul. Die Rohdichte steigt im weiteren Verlauf durch die stärkere Ästigkeit an.

Vorschlag für eine einfache Identifizierung von qualitativ hochwertigem Schnittholz

Wie mit Hilfe der vorliegenden Daten gezeigt werden kann lässt sich eine einfache Identifizierung von qualitativ hochwertigem Material durch Berücksichtigung einer Schranke für die Ultraschallsortierung am Rundholz sowie des Radius für die Lage im Stamm angeben. Dieses für die Praxis gut nutzbare Vorgehen bringt, unter einer allfälligen Berücksichtigung von visuellen Merkmalen wie der Ästigkeit gute Ergebnisse für eine Sortierung nach der Festigkeit, wobei als Kennwerte für die Ultraschalllaufzeit ein Grenzwert von 4800 m/s und für den Radius ein Grenzwert von $R = 100$ mm vorgeschlagen wird. Mit diesem Vorgehen werden einerseits qualitativ schlechtere Rundhölzer durch die Ultraschallsortierung deklassiert, andererseits können die mit dem juvenilen Holz einhergehenden Merkmale - geringere Rohdichte, erhöhte Ästigkeit und erhöhter Drehwuchs bzw. Faserneigung - eliminiert werden, sodass mit einfachsten Mitteln höherwertige Schnittholzqualitäten erzielt werden können.

Arbeitspaket 3: Bestimmung der Fasereigenschaften über Querschnitt und Höhe

3.1 Probenvorbereitungen

Aus dem Kernbereich der Modelabschnitte wurden 60 mm dicke Probenstücke herausgetrennt. Diese Probestücke wurden anschließend für die Festigkeitsprüfung, Untersuchung der makroskopischen und mikroskopischen Eigenschaften sowie für die Bestimmung des Ligningehaltes und der Faserlängen in Versuchsprobengröße unterteilt.

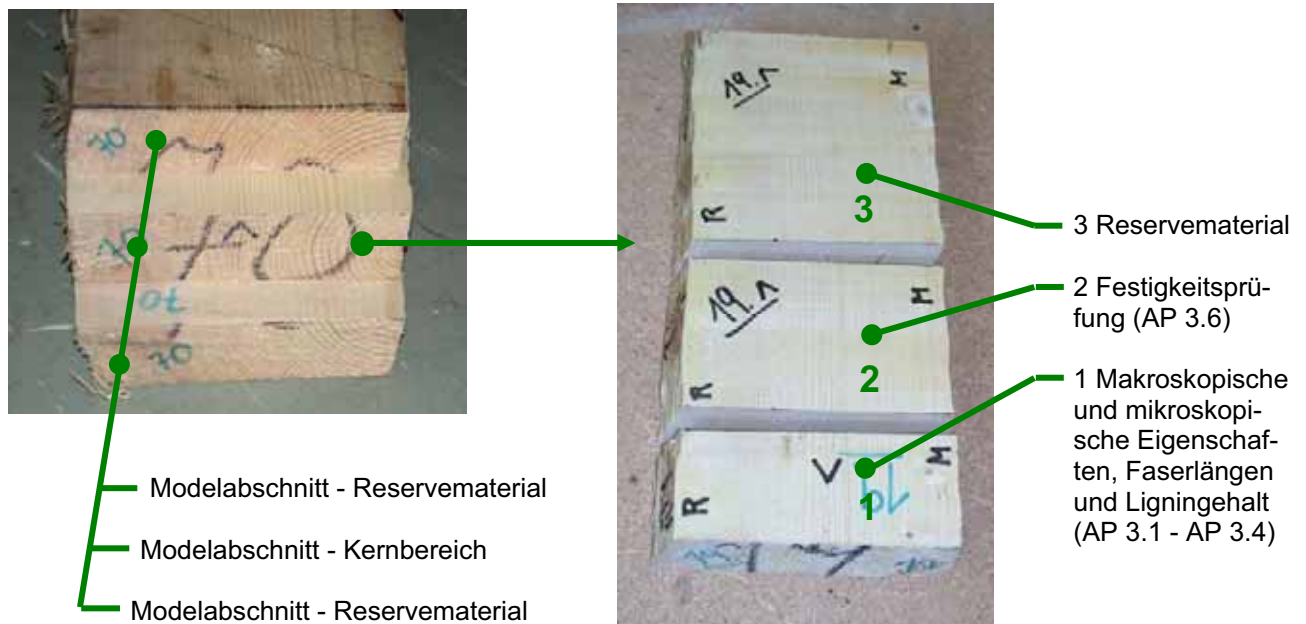


Abb. 36: Auftrennung der Modelabschnitte in einzelne Probenbereiche

Probestück 1 wurde an der Querschnitts- und Radialschnittfläche geschliffen (Körnung 400) und den dafür vorgesehenen Untersuchungen zugeführt.

Probestück 2 wurde in 4 cm Abschnitte eingeteilt und aufgetrennt. Aus jedem der Probenabschnitte wurde anschließend jeweils eine Zug-, Druck- und Scherprobe herausgearbeitet.

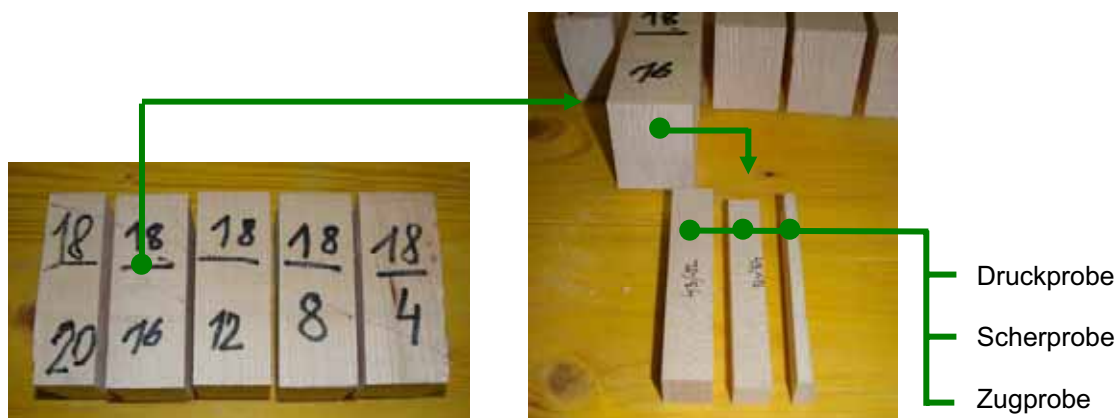


Abb.37: Einteilung des Probenmaterials für die Festigkeitsprüfung

3.2 Methodik der Datenbestimmung

3.2 1 Makroskopische Merkmale

a) Jahringbreite und Spätholzanteil

Zur Bestimmung der Jahringbreite und des Spätholzanteiles wurde ausgehend von der Markröhre radial eine Messstrecke gelegt. Entlang dieser wurden mit Hilfe eines hoch auflösenden Auflichtmikroskops die Messungen vorgenommen (Abb 38).

Die Messungen zeigten eine starke Schwankung der Jahringbreiten von 0,1 - 8,5 mm. Der Spätholzanteil beläuft sich auf ca. 20% über den Querschnitt betrachtet.

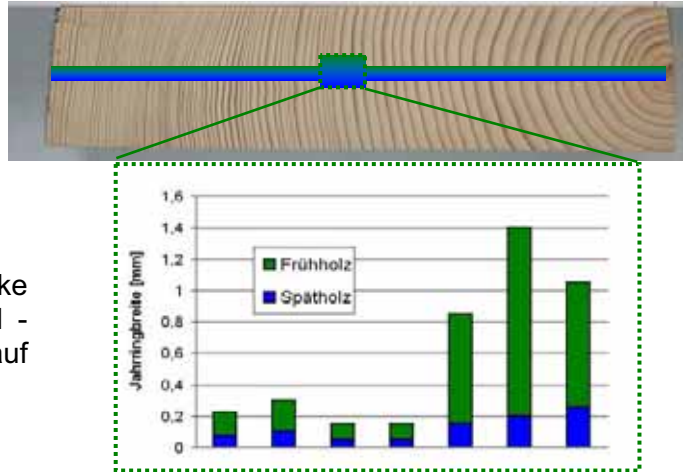


Abb.38: Messstrecke und Ausschnitt einer Jahringbreitenmessung

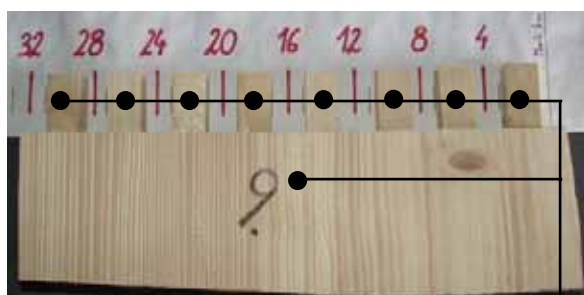
b) Dichtemessung stereometrisch und mittels Röntgen

Stereometrische Dichte-Ermittlung:

Auf einer Achse vom Mark zur Rinde wurden in 40 mm Schritten Proben mit der Größe von 20 x 20 x 40 mm (Breite x Dicke x Länge) entnommen (Abb. 39).

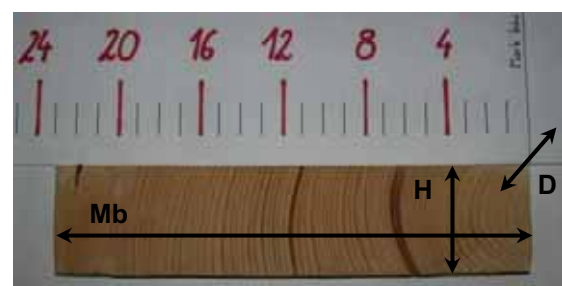
Röntgen Dichte-Messung:

Auf der Achse vom Mark zur Rinde wurde ein Profil mit den Dimensionen 50 (Höhe) mm x 12 (Dicke) x Modelbreite entnommen. Dieses Profil wurde dargetrocknet und mit einem Schleifpapier (Körnung 180) geschliffen (Abb. 40).



8 Proben (20 x 20 x 40 mm) zur Dichte-Ermittlung in 40 mm Schritten entnommen
Modelabschnitt vor der Probenpräparation

Abb. 39: stereometrische Dichtemessung - Probengeometrie



Dicke D 12 mm
Höhe H 50 mm
Modelbreite Mb

Abb. 40: Röntgen-Dichte-Messung Probengeometrie

Bei der stereometrischen Dichtemessung wurden die Proben bei 103°C gedarrt. Anschließend wurden alle Dimensionen mit einer Schublehre vermessen und die Masse ermittelt.

$$\text{Dichte} = \frac{\text{Masse}[g]}{l * b * d [mm]}$$

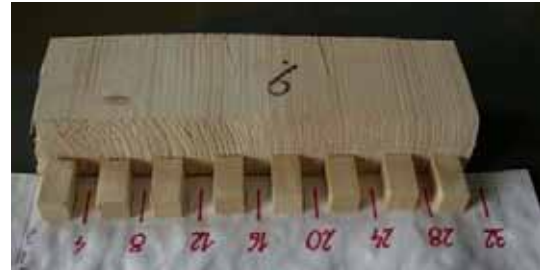


Abb. 41:- Stereometrische Dichtemessung

Mit Hilfe eines Röntgen-Dichte-Messgerätes konnten entlang eines Messprofils im Abständen von 20µm Dichtewerte ermittelt werden. Die präparierten Proben wurden gewogen und vermessen. Das Gerät ermittelt aus diesen Ausgangsdaten einen mittleren Dichtewert der ganzen Probe und legt diesen Wert auf das - durch den Röntgenstrahl - ermittelte Profil um.



Abb 42: Messung der Dichte mit Hilfe eines Röntgen-Messgerätes

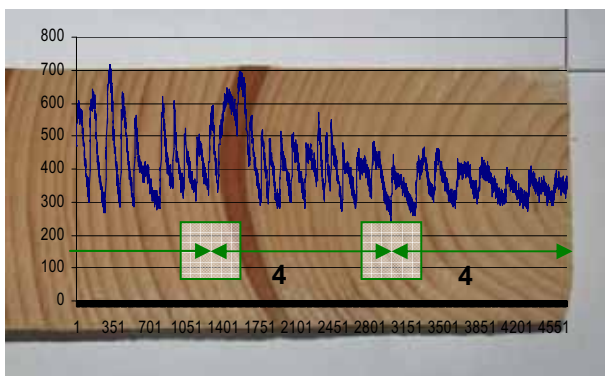


Abb. 43: Dichteprofil mit Röntgen-Dichtemessgerät ermittelt (oben, blau); Dichteproben im Abstand von 4 cm (unten, grün)

c) Drehwuchs

Die Probestücke wurden in radialer Richtung mit Hilfe eines Spaltmessers entlang der Fasern gespalten. Die Spaltfläche spiegelt den Faserverlauf und somit den Drehwuchs wieder. Es ist zu ersehen, dass der Drehwuchs am vorhandenen Material nicht sehr stark ausgeprägt ist. In Marknähe mit einer durchschnittlich ca. 2°-Verdrehung nach Links beginnend, ändert sich der Drehwuchs zur Rinde hin zu einem leichten Rechts-Drehwuchs.

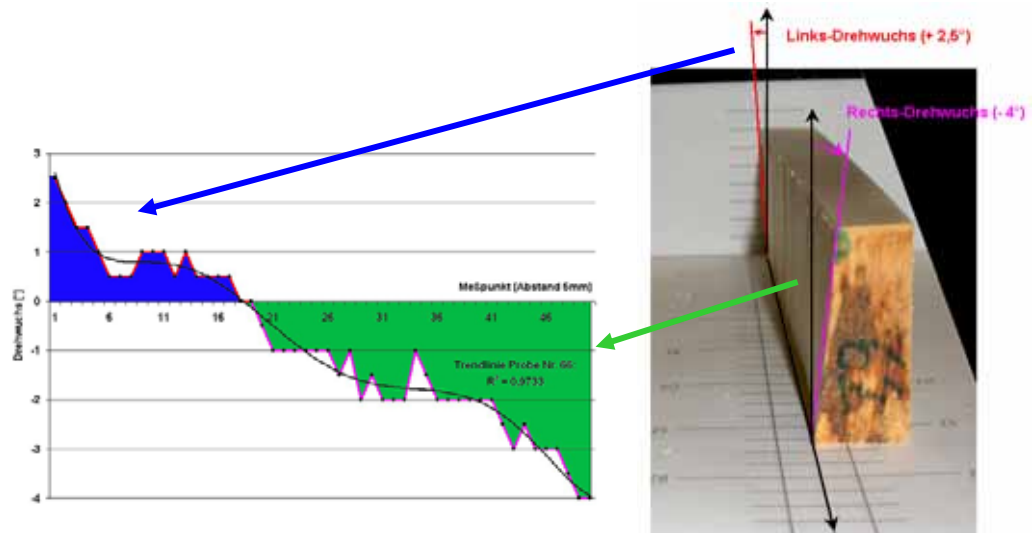


Abb. 44: Probe mit Blick auf die Spaltfläche (rechts) und die dazugehörige Messung des Drehwuchses (Marknähe: 2,5° Links-Drehwuchs; Kambiumnähe bzw. Rindennähe: 4° Rechts-Drehwuchs)

Mit Hilfe einer effizienten und einfachen Messanordnung ist im Abstand von 5 mm der Drehwuchs bestimmt worden.

Um gemessene Werte vergleichen zu können, musste die Richtung des Drehwuchses festgelegt werden: Links-Drehwuchs positiver Winkel; Rechts-Drehwuchs negativer Winkel.



Abb. 45: Messanordnung zur Drehwuchsmessung

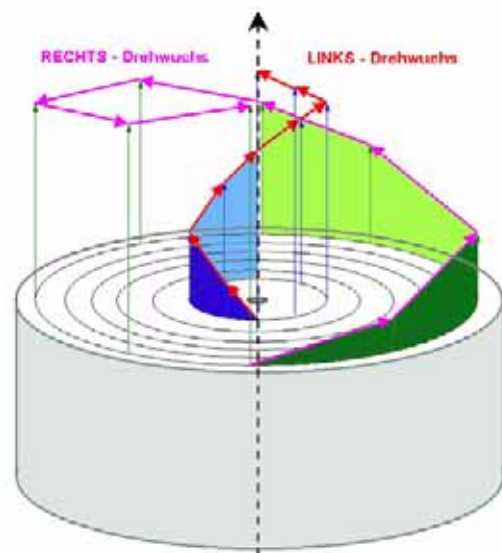


Abb. 46: Festlegung des Winkels

3.2.2 Mikroskopische Merkmale

a) Faserlänge

Nach der Ermittlung des Drehwuchses, wo der Probenabschnitt für die makroskopischen Untersuchungen in zwei Teile gespalten wurde, trennte man auf einer der Hälfte ein Abschnitt bzw. Querschnitt mit einer Stärke von ca. 15 mm ab. Anschließend wurden die zu präparierenden Jahrringe gekennzeichnet. Hier wurde im Kernbereich ein Abstand von 15 Jahrringen gewählt, wobei dieser Abstand zur Rinde hin auf 10 Jahrringschritte verringert wurde.

Die ausgewählten Jahrringe wurden anschließend aus dem Probenquerschnitt herausgeschnitten und in Früh- und Spätholz unterteilt.



Abb. 47: Herauspräparieren von Früh- und Spätholz

Um die Fasern aus den Holzverband zu lösen, wurde mit Einsatz einer chemischen Lösung ein Mazerationsprozess gestartet. Dem vorbereitet und in kleinen Eproutetten aufbewahrt Fichtenproben wurde die Mazerationslösung zugeführt und die chemische Reaktion abgewartet.

Mazerationslösung:

1,8g CrO_3 + 4ml 65%-ige HNO_3 + 26ml H_2O oder
2,65g $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ + 5ml 65%-ige HNO_3 + 25ml H_2O

Die Mazerationsdauer betrug mindestens acht Stunden bzw. die Proben wurden über Nacht in der Lösung gelassen. Bei größeren Probestücken oder bei höherem Ligningehalt wurde diese Behandlung in mehrere Durchläufe durchgeführt. Die Mazeration war abgeschlossen, wenn die Probestücke nicht mehr die Farbe Braun sondern Grau bis Weiß waren. Das angefallene Probenmaterial wurde anschließend mit destilliertem Wasser gewaschen.

Zu Beginn der Untersuchungen wurde dem Probenmaterial ein blauer Farbstoff beigegeben, um die Längenmessung zu erleichtern. Durch die leichte Modifikation der Messanordnung war dies nicht mehr notwendig.

Die mazerierten Proben wurden aus der Eproutette entnommen und in einen Wassertropfen, der sich auf einem Objektträger befindet, gelegt. Mit Hilfe einer feinen Pinzette und unter Betrachten unter dem Mikroskop konnten einzelne unbeschädigte Fasern aus dem Holzverband entnommen werden. Diese wurden in gestreckter Form in einen nebenstehenden Wassertropfen abgelegt. Um die Erkennbarkeit der Faser zu verstärken, wurde als Untergrund zur Kontrastverstärkung ein schwarz gefärbtes Glas verwendet

Die herausgelösten Fasern wurden anschließend mit einer Kamera, die direkt auf das Mikroskop aufgesetzt ist, abfotografiert. Die abgebildeten Fasern wurde anschließend an einem computerunterstützten Messprogramm ausgewertet. Mit Hilfe einer Linien-Polygon-Zuges konnte die Pixelanzahl errechnet und auf die absolute Größe bzw. Länge der Faser rückgeschlossen werden .

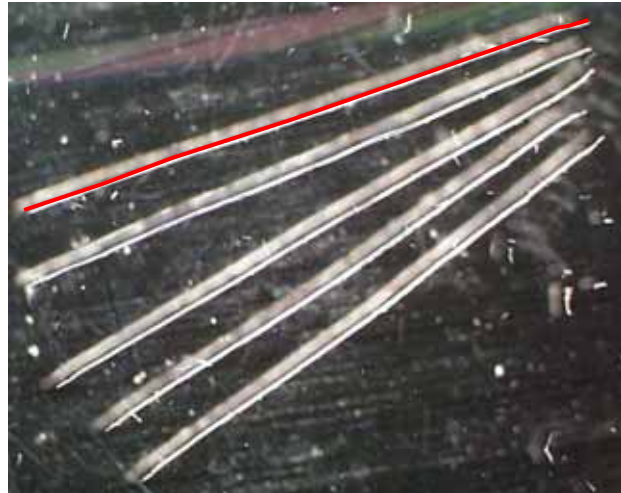


Abb. 48: Abbildung der einzelnen Fasern mit eingeblendetem Linien-Polygon-Zug (rot)

b) Mikrofibrillenwinkel sowie spezifische Zellparameter

Die Bestimmung des Mikrofibrillenwinkels und weiterer Zellparameter wurden bei **CSIRO** (Australia's **C**ommonwealth **S**cientific and **I**ndustrial **R**esearch **O**rganisation) in Melbourne, Australien, Messungen durchgeführt.

Hierbei wurde ein neuentwickelter und zu dieser Zeit weltweit einzigartiger Messaufbau, genannt "SilviScan[®]", benutzt (Abb. 50). Durch eine Kombination von analytischen Techniken wie Lichtmikroskopie, Röntgendiffraktometrie, Röntgendensitometrie, Bildanalyse, Angewandte Mathematik und die Möglichkeit der Analyse von großen Datensätzen können sehr präzise Messungen erstellt werden.

Dr. Robert Evans entwickelte in den vergangenen Jahren mit einer Forschergruppe das weltweit erste vollautomatische Analysegerät für Holzparameter, SilviScan[®], und erhielt dafür die international bedeutendste Auszeichnung auf dem Gebiet der Holzforschung, den Marcus Wallenberg Preis (siehe auch: www.ffp.csiro.au/tigr/silviscan/).

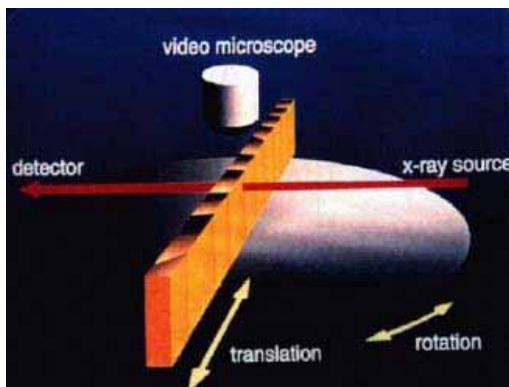


Abb.49: Schematische Darstellung des Meßprinzips des Silviscan-Gerätes

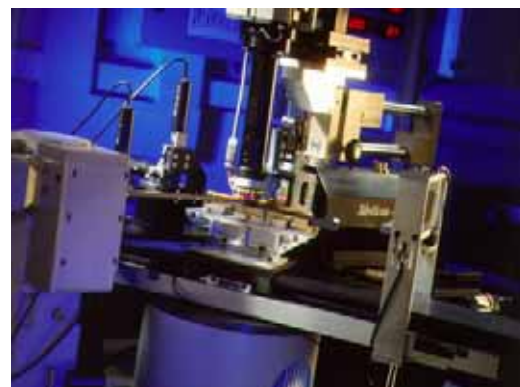


Abb. 50 - SilviScan[®] Messaufbau

Bisher wurde das Gerät für die Analyse von australischen und amerikanischen Holzarten verwendet. Die CSRIO ist an einer engen Kooperation mit dem Institut für Holzforschung an der BOKU interessiert, da die Verwendung dieses Gerätes für das Projekt XXL-Wood den ersten Einsatz für die Analyse einer europäischen Holzart darstellen würde. Dieses Interesse schlägt sich sowohl in einer verminderten Benutzungsgebühr als auch in einer bevorzugten Bereitstellung des Messgerätes für die Forschungstätigkeit nieder. Weltweit sind sehr viele Forschungsinstitute und holzverarbeitenden Konzerne an diesem Analysegerät interessiert, die Wartezeiten für die Benützung sind üblicherweise sehr lange.

Die wesentlichen Vorteile des Einsatzes des Gerätes SilviScan® für die Erfassung der Parameter: Mikrofibrillenwinkel sowie Zelldurchmesser und Zellwandstärke liegen vor allem darin, dass die zu untersuchenden Parameter durch ein standardisiertes, maschinelles Verfahren ermittelt werden, welches weit reichende Vergleiche zu bereits abgeschlossenen Untersuchungen erlaubt. Darüber hinaus werden die oben genannten Parameter in einer wesentlich höheren Auflösung (ca. eine 10er Potenz höher) als bei herkömmlichen Verfahren ermittelt. Ein weiterer Vorteil durch den Einsatz dieses Meßsystems ergibt sich aus der kurzen Messzeit, wodurch die Messergebnisse nach ca. 2 Wochen zur Verfügung stehen.

c) Bestimmung des Ligningehalts mittels IR - Spektroskopie

IR-Spektroskopie ist die Bezeichnung für ein von W. W. Coblentz 1905 erstmals praktiziertes, heute zur Routinemethode entwickeltes Verfahren der optischen Spektroskopie, bei dem die Absorptionsspektren bzw. Reflexionsspektren von anorganischen und organischen festen, flüssigen oder gasförmigen Verbindungen im Bereich des nahen (NIR), mittleren (MIR) und fernen Infrarot (FIR) zur qualitativen bzw. quantitativen Analyse und zur Konstitutionsermittlung herangezogen werden.

Das Infrarot schließt unmittelbar an das sichtbare Licht an und wird in folgende Wellenlängenbereiche unterteilt:

- Nahes Infrarot (NIR): 760 nm–2,5 µm (13 000 – 4 000 cm⁻¹ – Wellenzahlen)
- Mittleres Infrarot (MIR): 2,5–25 µm (4 000 – 400 cm⁻¹)
- Fernes Infrarot (FIR): 25–500 µm (400 – 20 cm⁻¹).

Während die sichtbaren und UV-Spektren durch Elektronensprünge zustande kommen, sind die IR-Spektren Schwingungsspektren, die dadurch zustande kommen, dass innerhalb der Moleküle die an den Bindungen beteiligten Atome Schwingungen ausführen. Man kann sich ein mehratomiges Molekül als eine Gruppierung von Massenpunkten (den Atomkernen) vorstellen, die geometrisch in einer bestimmten Weise zueinander angeordnet sind und durch „Federn“ (diese sollen die Kräfte der jeweiligen chemischen Bindungen versinnbildlichen) in Gleichgewichtslagen gehalten werden, um die sie Schwingungen ausführen, wenn ihnen die nötige Anregungsenergie in Form von IR-Strahlung zugeführt wird. Bewegen sich 2 solche Atomkerne annähernd in Richtung der „Feder“ (des „Valenzstrichs“), so liegen Valenzschwingungen (Streckschwingungen) vor. Dagegen spricht man bei Änderungen des von Valenzkräften eingeschlossenen Winkels bei dreiatomigen Molekülen von so genannten Deformationsschwingungen. Gruppen mit Atomkernen von verschiedenen Massen und/oder verschiedenen Bindungskräften haben verschieden starke Absorptionsbanden und absorbieren in jeweils verschiedenen, vielfach charakteristischen, begrenzten Bereichen.

Absorptionsbanden im NIR repräsentieren Oberschwingungen und Kombinationsbanden unter anderem von C-O, C=O, O-H, C-H und N-H Bindungen. Die Banden der einzelnen Komponenten überlappen in vielen Bereichen sehr stark. Dennoch ist eine Zuordnung zu Substanzklassen wie Polysaccharide oder aromatische Verbindungen möglich. Für die Aufklärung von Strukturen und deren Änderung oder Veränderungen in der chemischen Zu-

sammensetzung anhand von Banden ist die NIR-Spektroskopie nur eingeschränkt mit Hilfe der Derivativspektren verwendbar, sehr wohl aber für die qualitative und quantitative Bestimmung von Komponenten mit Hilfe multivariater, statistischer Methoden und präzisen Referenzmethoden. Die Stärke der NIR-Technik liegt in der einfachen Handhabung und den kurzen Messzeiten verbunden mit einem Minimum an Probenvorbereitung, die in vielen Fällen auch entfallen kann. Dies ist der Hauptgrund warum die NIR-Spektroskopie Einzug in die Prozess- und Qualitätskontrolle gefunden hat.

FT-NIR-Spektrometer

Für die Untersuchungen wurde das in Abbildung 51 gezeigte FT-IR Spektrometer herangezogen. Durch ein Bündel von Lichtleitern (Faseroptiksonde) wird das Licht (Strahlung) auf die Probe geleitet. Das nicht absorbierte, reflektierte Licht wird durch die Faserbündel zurück auf den Detektor geleitet und die Intensität als Funktion der Wellenlänge gemessen. Die Größe des Messfleckes beträgt ca 10 mm^2 .



Abb. 51: FT-IR Spektrometer Equinox 55 (links) der Firma Bruker mit einer Faseroptiksonde (rechts) für das nahe Infrarot

Mit Hilfe der Faseroptiksonde wurden je Messpunkt 100 scans (Spektren) mit einer Auflösung von 10 cm^{-1} im Bereich von $10\,000$ bis $5\,100 \text{ cm}^{-1}$ aufgenommen und der Mittelwert dieser abgespeichert. Als Referenz diente das Spektrum eines thermoplastischen Harzes (Spektralon®).

Entlang der radialen Schnittfläche wurde eine Messstrecke (Messpunktabstand 10 mm) gelegt. Begonnen wurde mit der Messung unmittelbar am Mark (Messpunkt 00) und wurde mit einer Messfleckgröße von 10 mm^2 bis zur Rinde fortgesetzt.

Nach Ermittlung und Bearbeitung (Bildung der 2.Ableitung) der Spektren wurde im Wellenzahlbereich 6000 - 5950 der Minimumwert bestimmt

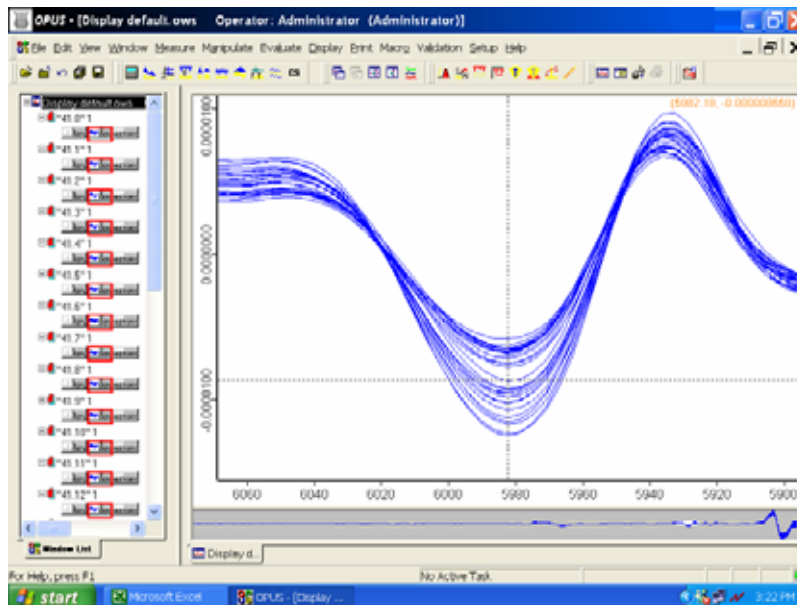


Abb. 52: Ausschnitt (Wellenzahlbereich 6060 - 5900 cm^{-1}) der Spektren der Probe 41 und der Minimumwert bei der Wellenzahl ca. 5980 cm^{-1}

Dieser Wert lässt den Mit Hilfe einer Umrechnungsfunktion Rückschluss auf den Ligningehalt zu.

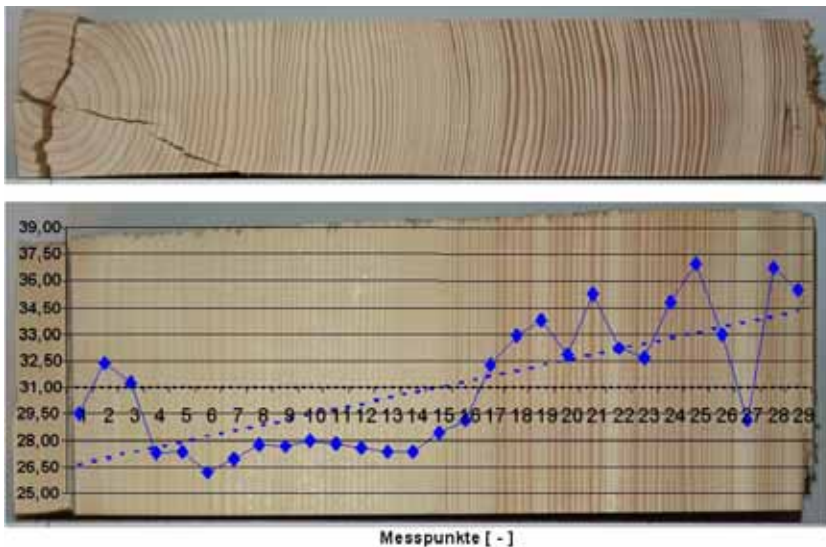


Abb. 53: Probe 41 mit geschätztem Ligningehalt

3.2.3 Festigkeitsprüfungen an kleinen, fehlerfreien Proben

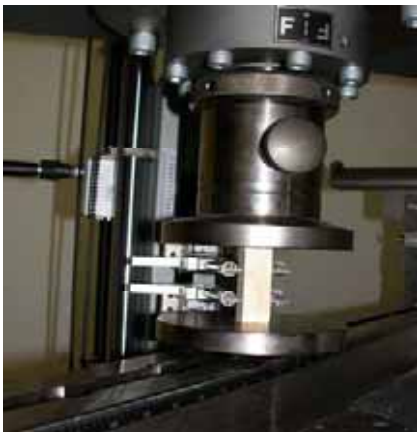
Aus dem dafür vorgesehenen Teil des Modelabschnittes wurden die Proben für die Ermittlung der Druck- Zug- und Schubfestigkeiten herauspräpariert.

Alle Festigkeitsprüfungen wurden bei einer Holzfeuchte von 12% Holzfeuchte auf einer Universal-Prüfmaschine der Fa. Zwick/Roell (Z100/SW5A) durchgeführt.

Maschinendaten:

Kraftaufnehmer: max. Prüfkraft Zug/Druck 100kN
 Wegaufnehmer: - fahrbare Traverse (Genauigkeit $\pm 2\mu\text{m}$)
 - Längenänderungsaufnehmer - MAKRO (Genauigkeit lt DIN EN 10 002 T4)
 - elektronischer Messschieber (Fa. Mitutuyo)

a) Druckprüfung



Wichtige Parameter:

Prüfgeschwindigkeit: 1mm/min
 Prüfungsende: 5% Fmax
 Vorkraft: 50N
 Vorkraftgeschw.: 5mm/min
 E-Modulermittlung: zw.10 und 40% Fmax mit 1mm/min
 MAKRO-Messlänge: 25mm

Abb. 54: Universalprüfmaschine mit eingespannter Druckprobe

b) Schertest

Die Scherproben hatten die Größe 15 x 15 x 100 mm (Breite x Dicke x Länge). Diese wurden zwischen zwei Buchenanleimern verklebt.

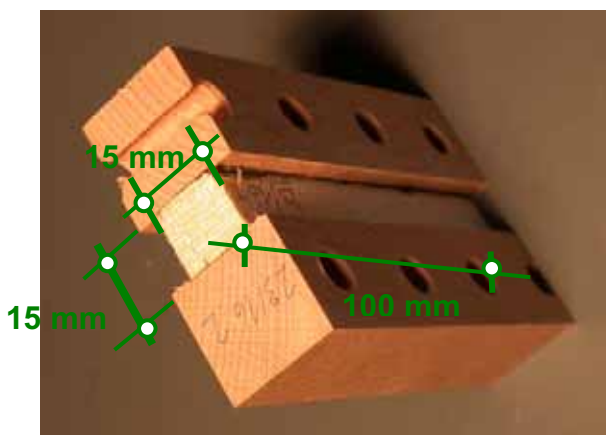


Abb. 55 -Schubproben mit angeklebten Buchenanleimern

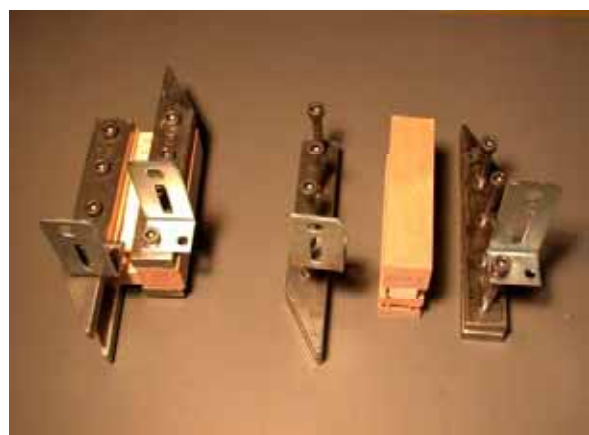


Abb. 56: Proben mit Einspannvorrichtung

Abschließend wurde vor jeder Prüfung die Einspannvorrichtung (Abb. 56) montiert. Vier Einzelteile wurden paarweise an die Buchenanleimer geschraubt. Um den Lochschlupf zu

minimieren, wurden die Stahlelemente zusätzlich an die Anleimer geklebt. Die Stahlwinkel dienten für die Aufnahme der Messuhr bzw. für das Makro an der Prüfmaschine.



Wichtige Parameter:

Prüfgeschwindigkeit: 0,25 mm/min
Prüfungsende: 5% Fmax
Vorkraft: 50 N
Vorkraftgeschw.: 5 mm/min
E-Modulermittlung: Individuelle Ermittlung
MAKRO-Messlänge: 50 mm

Abb. 57: Universalprüfmaschine mit eingespannter Scherprobe

c) Zugprüfung

In die bereits vorbereiteten Probeklötzchen wurde das Profil der Zugproben eingefräst. Diese wurden anschließend auf eine Trägerleiste aufgeleimt. Diese Leiste fand in der Doppelblattkreissäge als Führungselement seine Funktion.

Mit Hilfe einer Doppelblattkreissäge konnte aus dem profilierten Klötzchen die eingültige Probe herausgetrennt werden.

Um einen Bruch in der Zugzone zu gewährleisten, wurden die Randbereiche der Proben mit Kiefernurnieren verstärkt..

Die Zugproben hatten eine Länge von 100 mm, wobei die Zugzone 40 mm betrug. Die Breite war 10 mm - im Zugzonenbereich mit einer Schwächung von 4 mm. Die Dicke der Proben betrug ca. 1,2 mm.

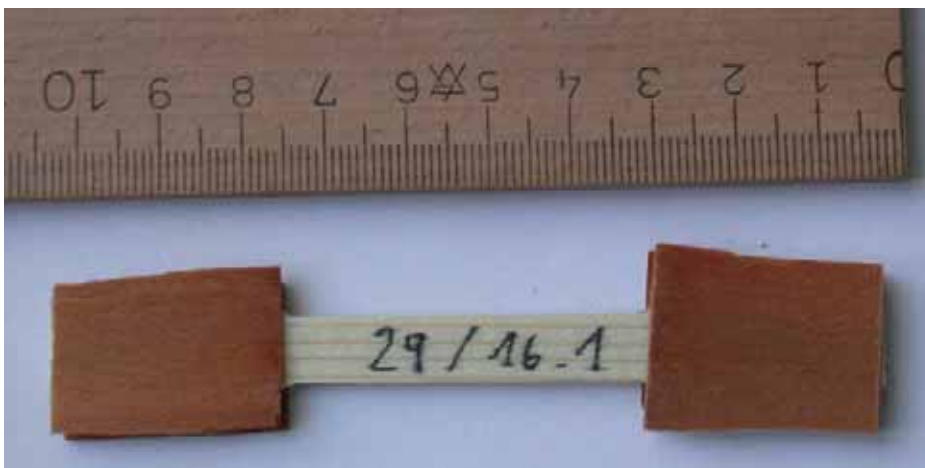


Abb. 58: Zugprobe mit Kiefernholzurnierverstärkung



Wichtige Parameter:

Prüfgeschwindigkeit: 1mm/min
Prüfungsende: 5% Fmax
Vorkraft: 50N
Vorkraftgeschw.: 5mm/min
E-Modulermittlung: zw.10 und 40% Fmax mit 1mm/min
MAKRO-Messlänge: 25mm

Abb. 59: Universalprüfmaschine mit eingespannter Zugprobe

3.3 Ergebnisse

Das vorliegende Projekt hatte in erster Linie die Aufgabe, verschiedenartige Holzparameter zu ermitteln und sie den einzelnen Bereichen im Stamm zuzuordnen. Einen guten Überblick über die „räumliche Verteilung“ der Holzeigenschaften geben somit sehr vereinfachte Modelle. Ebenfalls werden die Daten zur besseren Orientierung zusammengefasst dargestellt, wobei hier nur zwischen juvenilem (bis Durchmesser 16 cm) und adultem Holz (> 16 cm Durchmesser) sowie in manchen Fällen auch zwischen Höhenlagen, Herkunft und Blochart unterschieden wird. Es ist dabei jedenfalls zu bemerken, dass je stärker die Daten zusammengefasst wurden, desto eher Feinheiten nicht mehr darstellbar sind, da es sich bei den dargestellten Werten um Mittelwerte handelt.

Die Baummodelle ergeben sich aus der statistischen Auswertung der Daten. Bei den Modellen kann die Variabilität besser und definierter dargestellt werden, Tabellen und ergänzende Grafiken werden nur dann beigelegt, wenn sie zu einem Verständnisgewinn beitragen.

Jeweils für **Unterbloche** (Erdbloche), **Mittelbloche** und **Oberbloche** wurden die Eigenschaftsparameter in 40 mm Schritten identifiziert und gemäß ihrer statistischen Verteilung in Klassen eingeteilt.

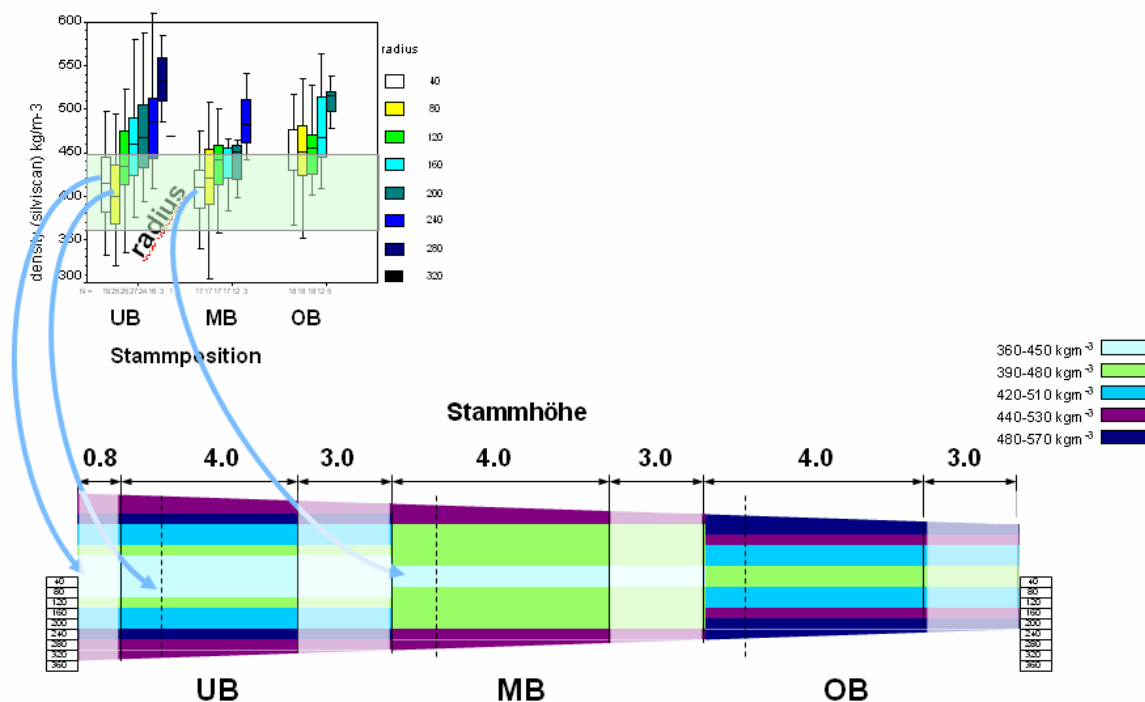


Abb. 60: Schematische Darstellung eines Baummodells (hier ein Dichtemodell)

3.1 Jahrringbreite

Die Jahrringbreite nimmt wie erwartet im Verlauf von Mark zu Rinde deutlich ab. Am stärksten ist dieser Trend am Unterblock zu bemerken, da auch hier der Anteil an adultem Holz am höchsten ist. Die abnehmende Jahrringbreite ist auch eine Reaktion auf die dichter werdenden Bestände im Verlauf des Lebenszyklus der untersuchten Bäume.

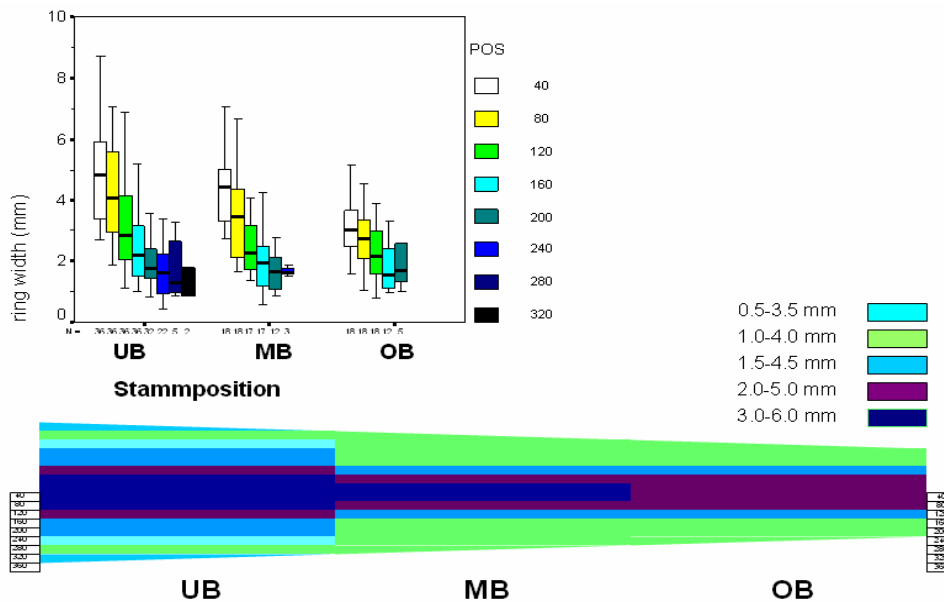


Abb. 61: Verlauf der Jahrringbreite über den Stamm

Wie auch in Tab XX und Abb. XX zu ersehen, ist der Unterschied in der Jahrringbreite zwischen juvenilem und adultem Holz sehr ausgeprägt, die Jahrringbreite des adulten Holzes ist seinerseits auch stark von der Seehöhe und der waldbaulichen Maßnahmen im Bestand beeinflusst.

Tab: 21: Mittlere Jahrringbreite der untersuchten Bloche

		Jahrringbreite [mm]			Mühl/Waldviertel		
		Alpenostrand			440m	800m	940m
		480m - 550m	850m - 880m	1260m			
Juvenil	Erdblock	5,21	5,43	4,77	3,88	2,85	4,81
	Mittelblock	3,91	5,15	3,79	2,96	2,66	4,61
	Oberblock	3,04	4,24	1,93	2,95	2,34	3,68
Adult	Erdblock	2,57	3,01	2,45	2,07	1,81	2,62
	Mittelblock	2,20	2,56	1,25	1,97	1,29	2,64
	Oberblock	2,75	2,17	1,23	2,34	1,37	2,19

Die Streuung der Jahrringbreite des juvenilen Holzes im Höhenverlauf eines Stammes ist besonders stark ausgeprägt. Im adulten Holz zeigen sich die geringsten Werte für die Jahrringbreite in der höchsten Höhenstufe von 1260 Metern (siehe auch Abb. 62).

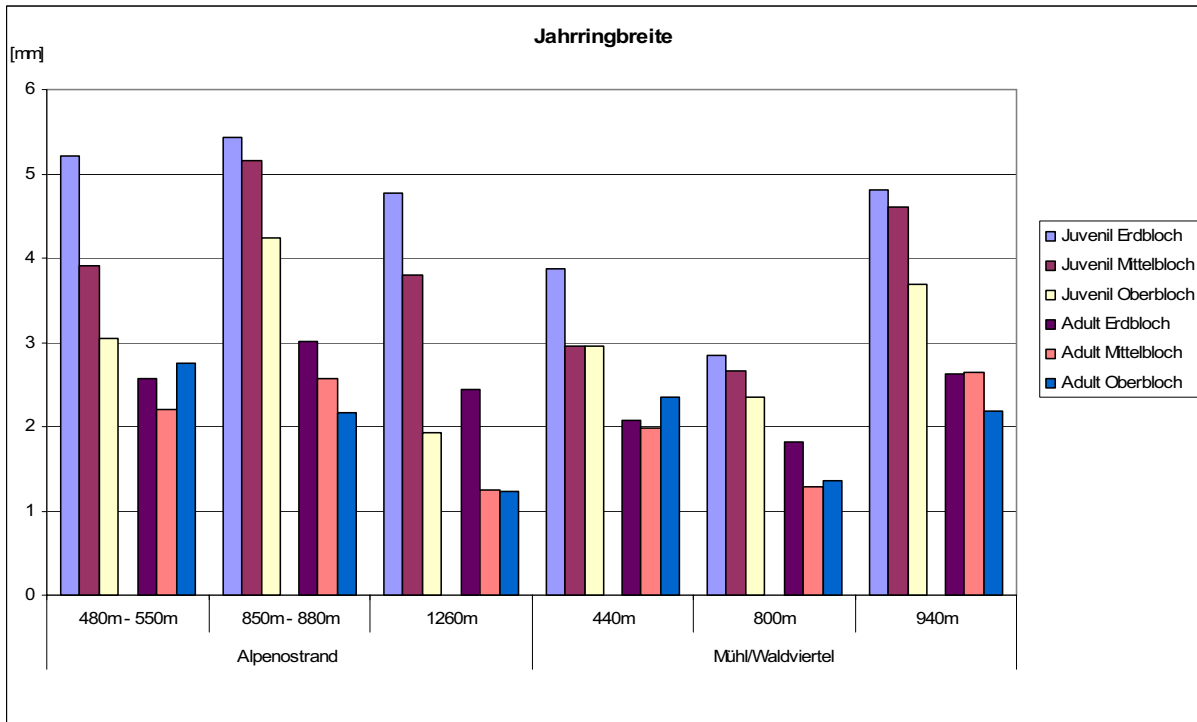


Abb. 62: Jahrringbreite in den verschiedenen Herkunftsgebieten und Höhenlagen

3.3.2 Spätholzanteil

Korrelierend zu den immer geringer werdenden Jahrringbreiten in Richtung Rinde entwickelt sich auch der Spätholzanteil. Je geringer die jahrringbreite, desto höher der Spätholzanteil, welches seine Spitzenwerte in den Unterblochen erreicht. Der deutlich sichtbare Abfall am äußersten Rand des Unterbloches erklärt sich aus der Tatsache, dass in diesem Bereich die Jahrringbreiten an die Grenze von knapp bei oder auch unter 1mm Breite kommen und sich das Spätholz nicht mehr vollständig ausbilden kann.

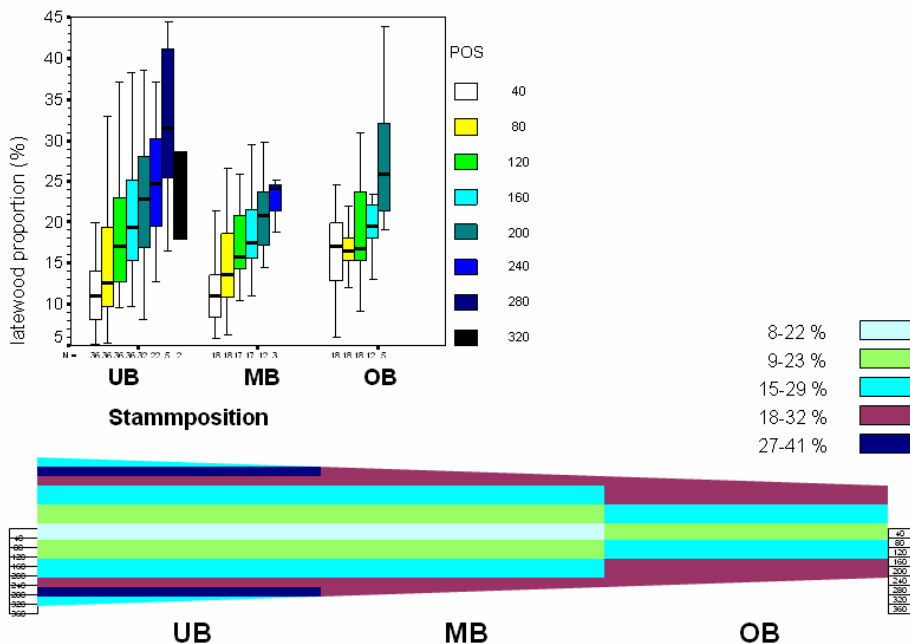


Abb. 63: Verlauf des Spätholzanteils am Stamm

3.3.3 Dichte

Die Dichte, einer der wichtigsten Holzparameter, zeigt ebenfalls eine eindeutige Tendenz, die sich mit der Jahrringbreite und dem Spätholzanteil sehr gut korrelieren lässt. In Marknähe treten die geringsten Dichtewerte auf, je mehr die Zonen Richtung Rinde gehen, umso höher wird auch die Dichte. Einzig beim Unterblock kann man auch wie beim Spätholzanteil einen Abfall der Dichtewerte in der äußersten Zone bemerken – der geringere Spätholzanteil wirkt sich auch negativ auf die Dichte aus. Bemerkenswert sind die hohen Dichtewerte in den Aussenzonen der Oberbloche.

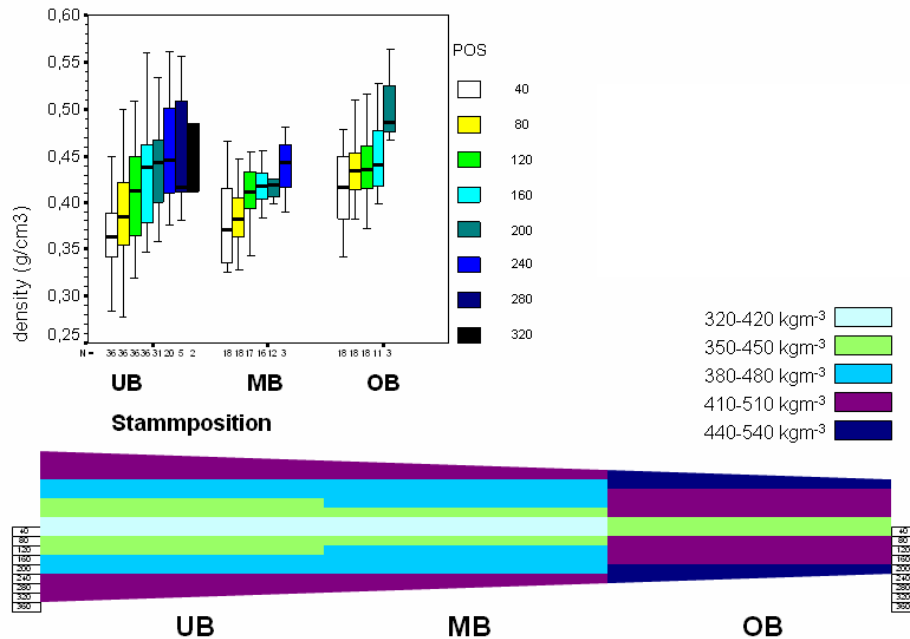


Abb. 64: Verlauf der Dichte entlang des Stammes

Tab. 22: Mittelwerte der Dichte der untersuchten Stämme

		Dichte [kg/m³]			Mühl/Waldviertel		
		Alpenostrand			440m	800m	940m
		480m - 550m	850m - 880m	1260m			
Juvenil	Erdblock	408,63	357,69	410,70	438,76	453,39	402,04
	Mittelblock	430,65	367,44	419,29	414,91	466,20	427,30
	Oberblock	466,92	385,53	483,00	444,65	475,11	479,49
Adult	Erdblock	477,27	422,90	443,91	470,36	511,62	445,29
	Mittelblock	460,84	431,86	446,70	432,01	464,08	433,86
	Oberblock	497,56	438,86	463,83	456,82	483,63	457,33

Wie in der Tabelle 22 ersichtlich, sind die Mittelwerte für die Dichteverteilung nur wenig aussagekräftig, da sich die Werte nur unwesentlich voneinander unterscheiden. Auch der klare Unterschied zwischen juvenilem und adultem Holz, wie er bei anderen Parametern sehr gut zu erkennen ist, ist in diesem Fall kaum zu bemerken.

Zwei Werte sind allerdings auffällig: Das juvenile Holz jener Bloche, die in der mittleren Höhenlage am Alpenostrand gewonnen wurden, weisen im Durchschnitt eine sehr geringe Dichte zwischen 358 und 386 kg/m³ auf. Hingegen zeigt das adulte Holz der in den mittleren Höhenlagen gewonnen Unterblochen eine signifikant hohe Dichte von durchschnittlich 512 kg/m³ auf. Diese Werte lassen sich möglicherweise durch die verschiedenartige Bestandesbegründung und -behandlung erklären.

3.3.4 Drehwuchs

Grundsätzlich ist ein Wechsel des Drehwuchses von einem leichten Linksdrehwuchs innerhalb eines Durchmessers von etwa 40 cm zu einem ebenfalls sehr leichten Rechtsdrehwuchs in den rindennahen Aussenzonen zu erkennen. Die Werte streuen sehr stark, die Mediane der einzelnen Klassenverteilungen (Abb. 65) zeigen einen Trend, der die Vermutung zulassen würde, dass der Drehwuchs zwischen 48 und 64 cm Durchmesser sich um 0° bewegt. Dieser lässt sich aber statistisch nicht absichern.

Allerdings ist aufgrund der Datenlage die Aussage zulässig, dass das adulte Holz nur einen unwesentlichen Drehwuchs aufweist (siehe auch Tabelle 23).

Tab: 23: Mittlerer Drehwuchs der Versuchsstämme

		Drehwuchs [°]			Mühl/Waldviertel		
		Alpenostrand			440m	800m	940m
		480m - 550m	850m - 880m	1260m			
Juvenil	Erdbloch	-2,88	-2,82	-2,32	-2,13	-1,75	-2,34
	Mittelbloch	-2,98	-2,69	-1,08	-4,78	-1,98	-2,12
	Oberbloch	-3,10	-2,72	-0,08	-3,28	-1,97	-1,77
Adult	Erdbloch	-1,66	-2,18	-0,37	-0,83	0,46	-0,64
	Mittelbloch	-1,39	-0,45	1,63	-4,28	-0,95	-2,19
	Oberbloch	-1,38	-0,73	1,97	-2,26	1,40	-1,09

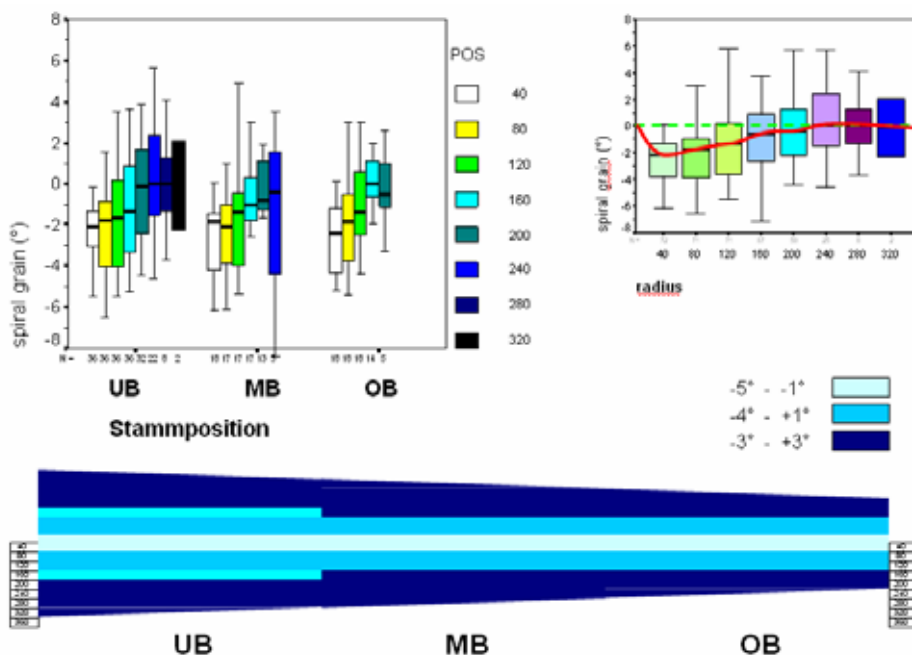


Abb. 65: Verteilung des mittleren Drehwuchses über den Stamm

3.3.5 Faserlänge

Eine der wichtigsten Erkenntnisse bei der Erfassung der Faserparameter war die Entwicklung der Faserlänge über Höhe und Durchmesser. Für die Einteilung der Klassen und die Darstellung des Modells wurde die mittlere Faserlänge aus Frühholz und Spätholz verwendet. In allen Höhenstufen eines Stammes zeigt sich dieselbe Tendenz. Die Faserlänge wird vom Mark bis zur Rinde immer größer, einige Spitzenwerte liegen bei über 7 mm Länge, was in etwa 3mm über einem durchschnittlichen Wert für Fichte liegt.

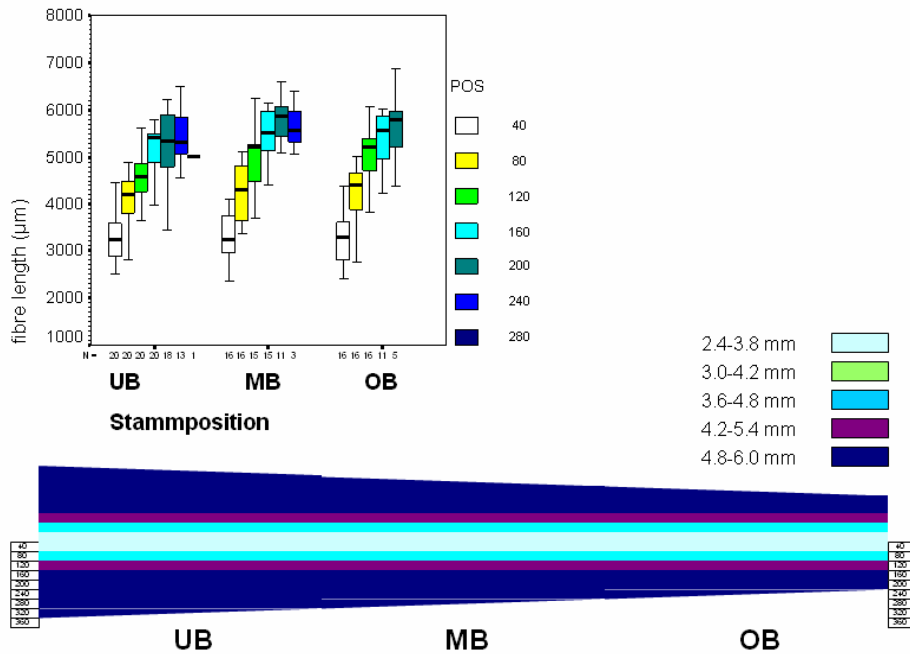


Abb. 66: Verteilung der mittleren Faserlänge (ebenfalls gemittelt aus Frühholz und Spätholz) über den Stamm

Die anschließende Tabelle 24 und dazugehörige Abbildung 67 zeigen die mittleren Faserlängen der Frühholztracheiden (**early wood**), welche prozentual einen etwas größeren Anteil im Jahrring einnehmen.

Tab. 24: Faserlänge der Frühholztracheiden

		Faserlänge ew [µm]			Mühl/Waldviertel		
		Alpenostrand					
		480m - 550m	850m - 880m	1260m	440m	800m	940m
Juvenil	Erdbloch	3702,52	3236,67	2772,38	3730,55	3263,92	3206,75
	Mittelbloch	3673,00	3266,50	3746,50	4079,83	3605,33	3085,06
	Oberbloch	3648,50	3467,50	4055,00	4081,58	3557,08	3592,75
Adult	Erdbloch	5014,78	4494,14	4772,86	5366,58	4800,63	4588,42
	Mittelbloch	5581,33	4890,50	5622,00	5504,39	5246,83	4584,18
	Oberbloch	5046,50	5394,75	5470,00	5440,36	5113,43	4784,00

Speziell in Abbildung 67 ist der deutliche Unterschied zwischen juvenilem und adultem Holz hinsichtlich der Faserlänge zu erkennen.

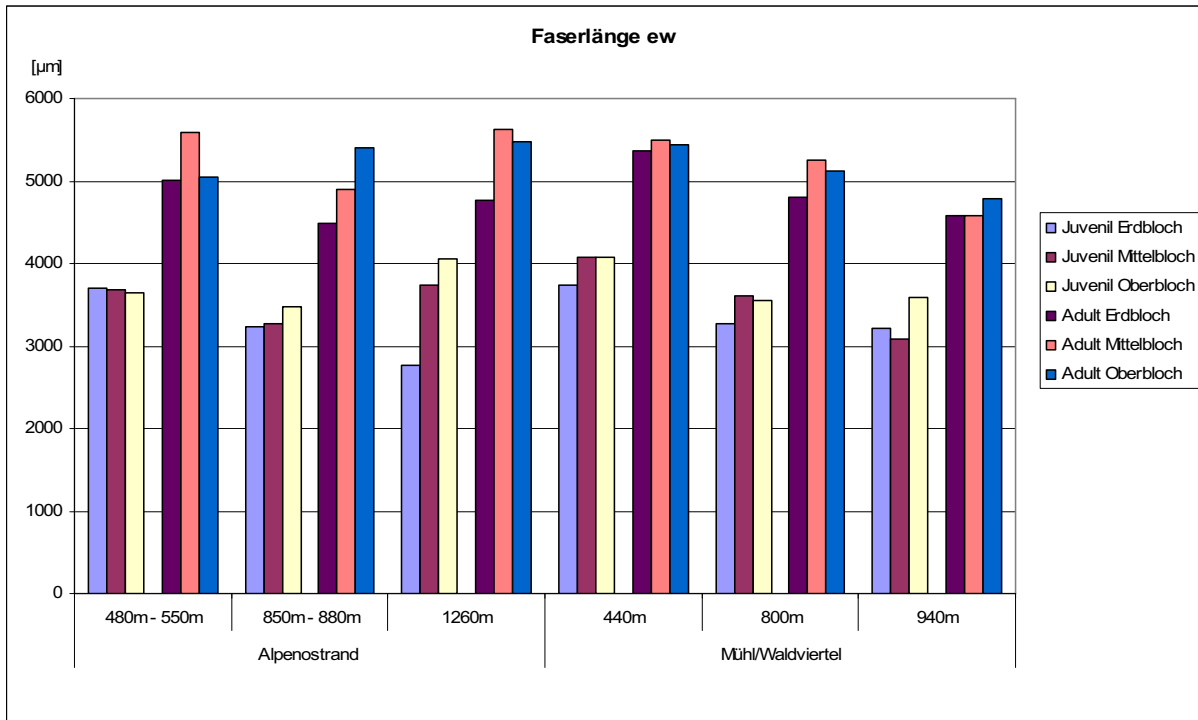


Abb. 67: Verteilung der mittleren Faserlänge von Frühholztracheiden

3.3.6 Mikrofibrillenwinkel

Der Mikrofibrillenwinkel, welcher die Festigkeitswerte der Einzelfasern sehr stark beeinflusst, zeigt in den Mittelblöcken die geringste Variationsbreite und bleibt auch auf einem niedrigen Niveau. In den Unterblöcken ist ein signifikanter Anstieg in den rindennahen, aber nicht in den äußersten Bereichen zu erkennen. Die Oberblöcke weisen die größten Mikrofibrillenwinkelwerte auf.

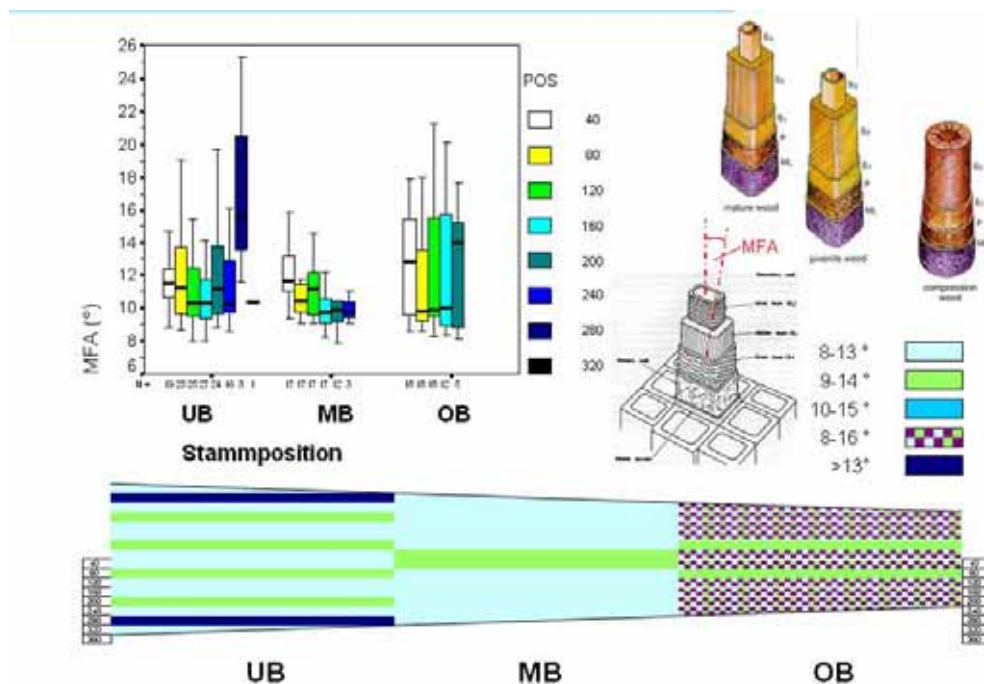


Abb. 68: Mikrofibrillenwinkel-Verteilung über den Stamm

Fasst man die Daten auf Unterbloch (Erdbloch), Mittelbloch und Oberbloch zusammen, ist zwar ein klarer Unterschied zwischen juvenilem und adultem Holz bezüglich des Mikrofibrillenwinkels zu erkennen, welcher aber speziell im Unter- und im Oberbloch innerhalb eines Grades liegt. Da die Werte insbesondere im Oberbloch sehr stark streuen, ist kein statistisch signifikanter Unterschied nachzuweisen.

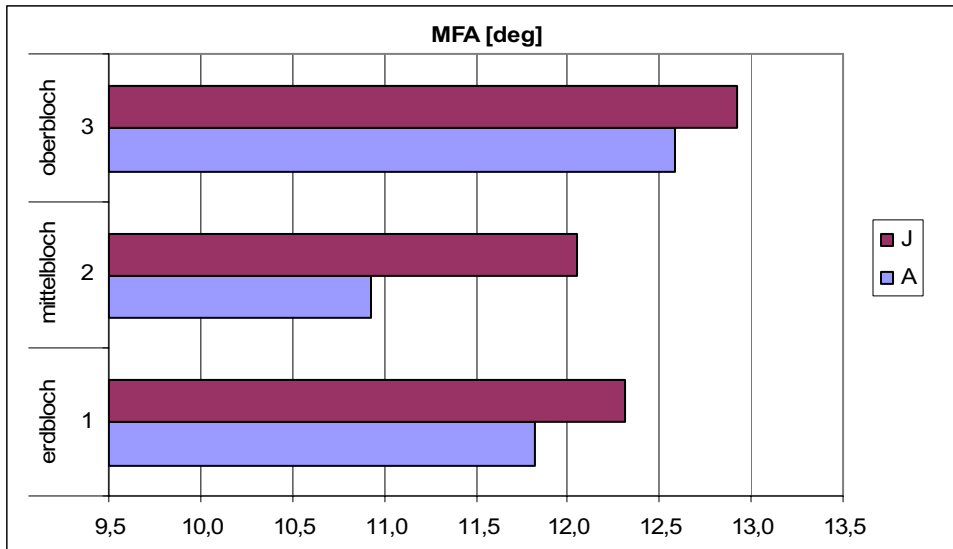


Abb. 69: Mittlerer Mikrofibrillenwinkel bezogen auf juveniles und adultes Holz in verschiedenen Stammabschnitten

3.3.7 Zellwandstärke

Die dargestellte Zellwandstärke (oder -dicke) ergibt sich aus dem Mittel zwischen radialer und tangentialer Zellwandstärke. Ebenso wie bei beinahe allen zuvor beschriebenen Parametern ist auch hier ein kontinuierlicher Anstieg der Zellwanddicke vom Mark zur Rinde hin erkennbar, wobei die höchsten Werte in den Randbereichen der Unterbloche zu finden sind.

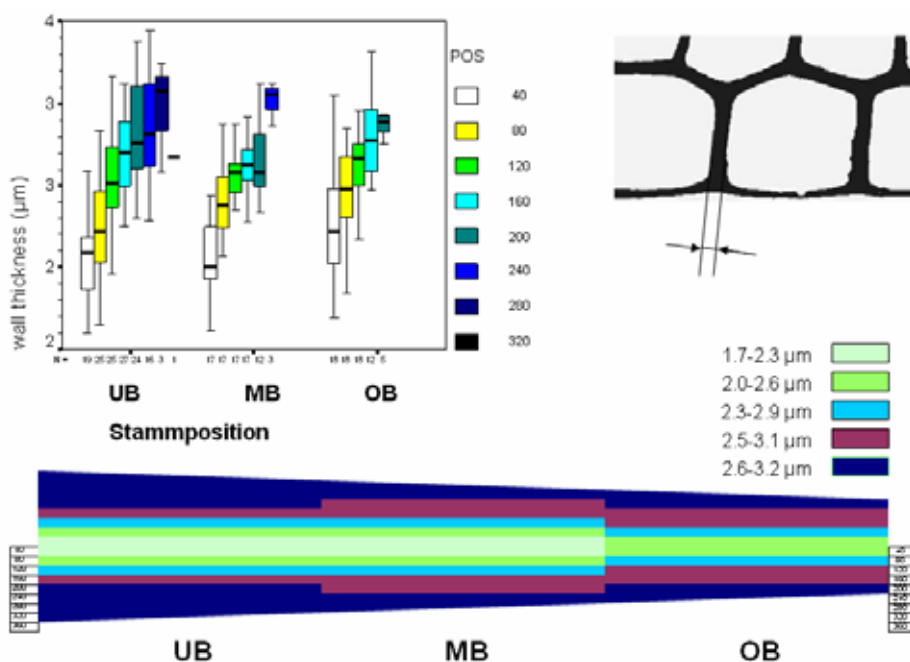


Abb.70: Verlauf der Zellwandstärke über den Stamm

3.3.8 Coarseness

Die Fibre Coarseness ist ein Faserparameter, der von der Zellstoff- und Papierindustrie geprägt wurde und kein Pendant in der deutschen Sprache besitzt. Coarseness bedeutet übersetzt z.B Rauheit, Derbheit oder Grobkörnigkeit. Die Coarseness wird beschrieben durch das Verhältnis aus Zellaussendurchmesser zu Zellinnendurchmesser auf eine Längeneinheit bezogen. Die Zellwanddicke und die Faserlänge sind Fasereigenschaften, die einen starken Zusammenhang zu diesem Parameter haben – der Korrelationskoeffizient zwischen Faserlänge und Coarseness beträgt für die vorliegenden Werte $r = 0.999$.

Je höher der Wert für die Coarseness ist, desto weniger können die einzelnen Fasern zusammengedrückt werden (Kollabierfähigkeit gering). Das ergibt eine raue und unebene Oberfläche (Name!), welche speziell bei hochwertigen Papieren unerwünscht ist. Ebenso wird bei einem hohen Coarsenesswert die Fläche, die die Fasern überlappen, verringert und der Zusammenhalt der Fasern im Zellstoff oder Papier wird geringer, was auch eine verminderte Reißfestigkeit nach sich zieht.

Die Fibre Coarseness ist ein sehr komplexer Parameter, der nur im Zusammenspiel mit anderen Faser- und Papierparametern und den erwünschten Produkteigenschaften zusammen wirklich bewertet werden kann.

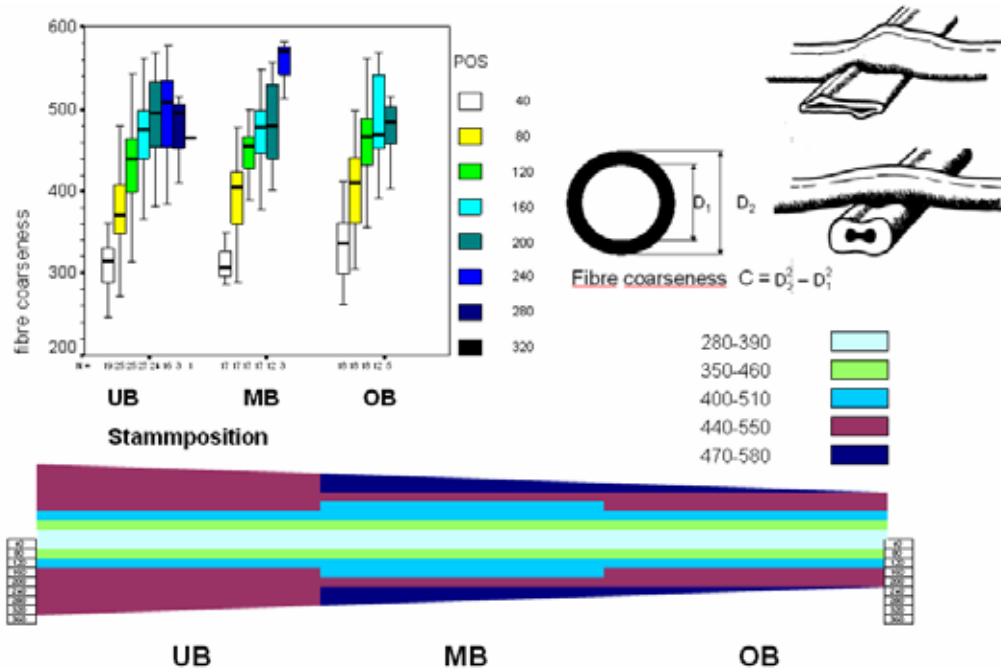


Abb. 71: Verlauf der Fibre Coarseness über den Stamm

Tab. 25: Fibre Coarseness

		Coarsness [$\mu\text{g}/\text{m}$]			Mühl/Waldviertel		
		480m - 550m	Alpenostrand 850m - 880m	1260m	440m	800m	940m
Juvenil	Erdblock	361,08	300,09	350,08	375,99	390,81	357,28
	Mittelblock	336,72	330,08	370,04	374,91	383,19	358,60
	Oberblock	354,82	333,53	418,16	349,07	385,33	388,68
Adult	Erdblock	497,89	440,07	495,43	458,37	474,10	471,65
	Mittelblock	457,96	411,48	502,06	456,38	490,05	490,37
	Oberblock	443,24	441,67	507,41	463,03	488,10	494,56

Wiederum zeigt sich ein eindeutiger Zuwachs vom Mark bis zur Rinde.

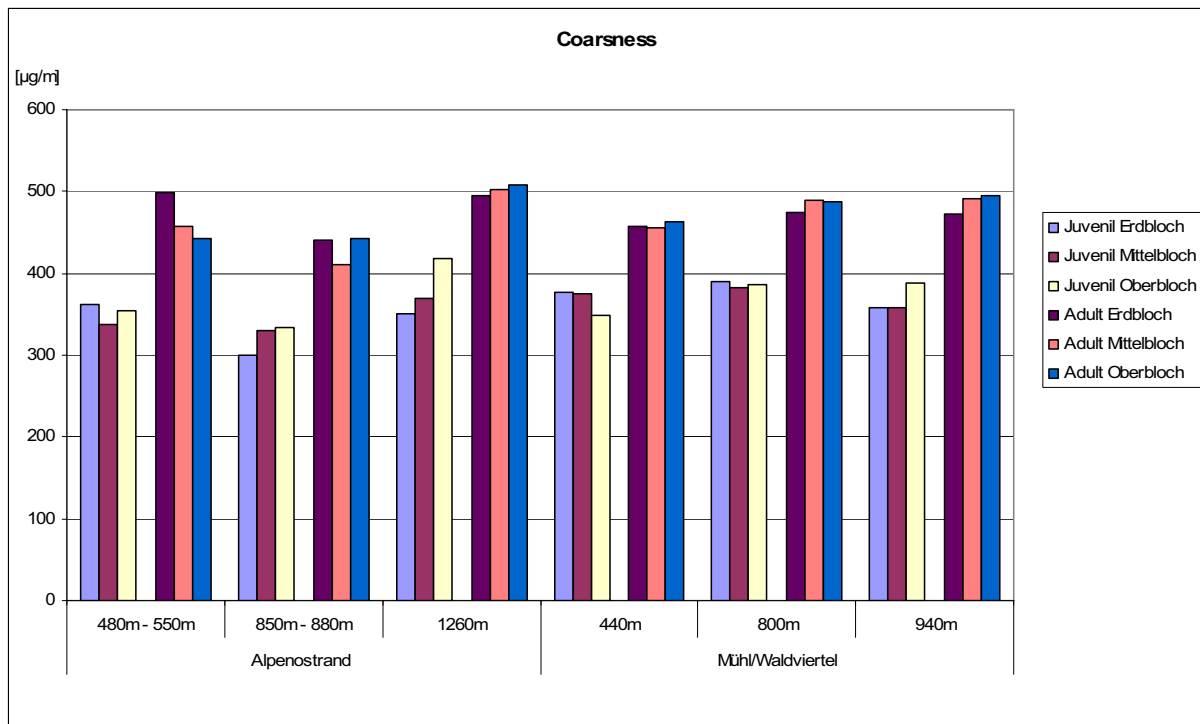


Abb. 72: Mittlere Fibre Coarseness in verschiedenen Lagen und Höhenstufen

3.3.9 Ligningehalt

Der Ligningehalt befindet sich in einem Bereich von 27,8 bis 29,5 %, wobei deutlich zu beobachten ist, dass das Reaktionsholz (Buchs) speziell im adulten Holz einen merklichen Anstieg erfährt.

Tab. 26: Ligningehalt

	Ligningehalt [%]					
	Alpenostrand			Mühl/Waldviertel		
	480m - 550m	850m - 880m	1260m	440m	800m	940m
Juvenil+Buchs	28,23	27,81	28,26	28,17	28,46	28,42
Juvenil	27,94	27,81	28,15	28,05	28,02	28,04
Adult+Buchs	29,36	28,24	28,95	28,78	29,48	28,15
Adult	28,30	28,24	28,56	28,58	28,55	28,12

Der Ligningehalt inklusive Reaktionsholz ist bis zu 1% höher als ohne Reaktionsholz. Reaktionsholz lässt sich in allen Teilen beobachten, allerdings ist das adulte Holz an den Außenrändern besonders betroffen. Besonders auffällig ist der Buchs im adulten Holz der unteren Lagen am Alpenostrand und in den mittleren Lagen des Müh- und Waldviertels. Bei diesen beiden Lagen können waldbauliche Eingriffe oder eine spezifische topographische Lage den Haupteinfluss haben.

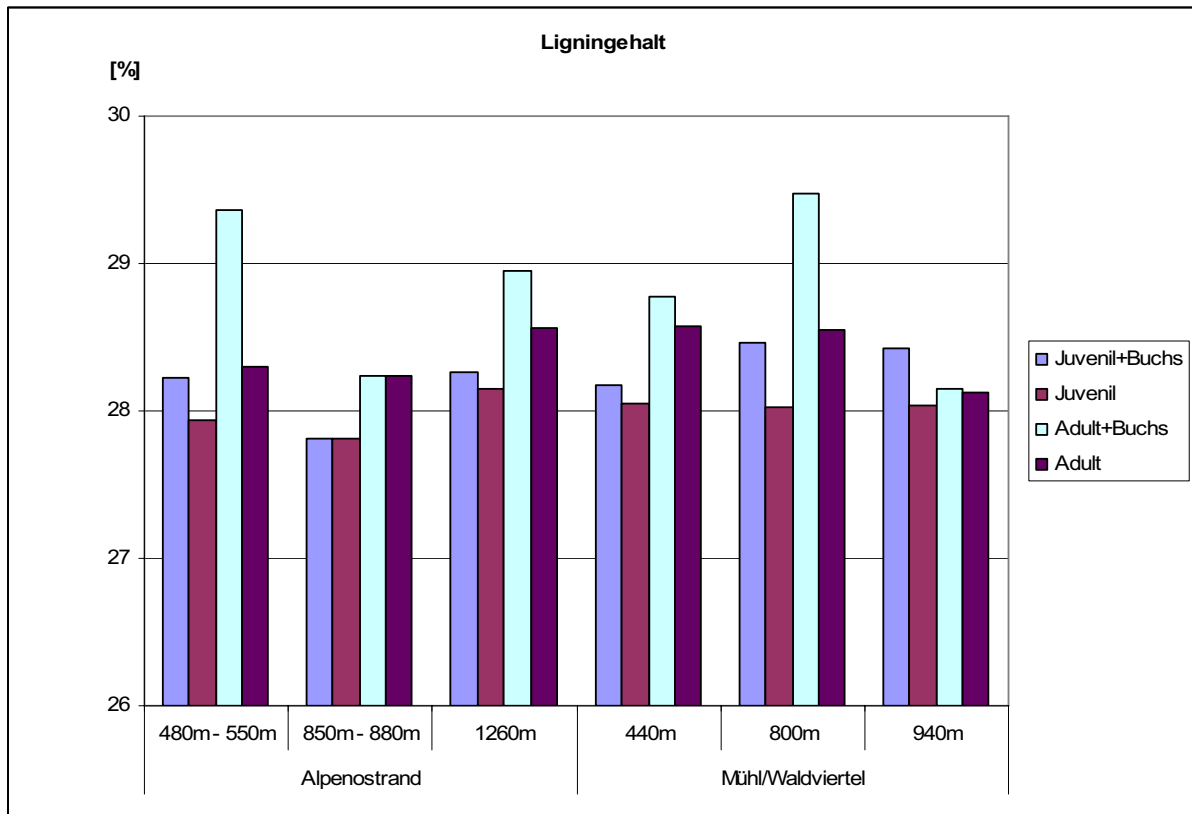


Abb.73: Ligningehalt in verschiedenen Höhenstufen

3.3.10 Druckfestigkeit

Die Druckfestigkeit an kleinen fehlerfreien Proben steigt sowohl in den Mittel- und Oberblochen nach außen hin deutlich an. In den Unterblochen zeigt sich ein anderer Trend, die Druckfestigkeit steigt zunächst an, ab einem Durchmesser von ca. 48 cm fällt sie in Richtung Rinde aber wieder rapide ab.

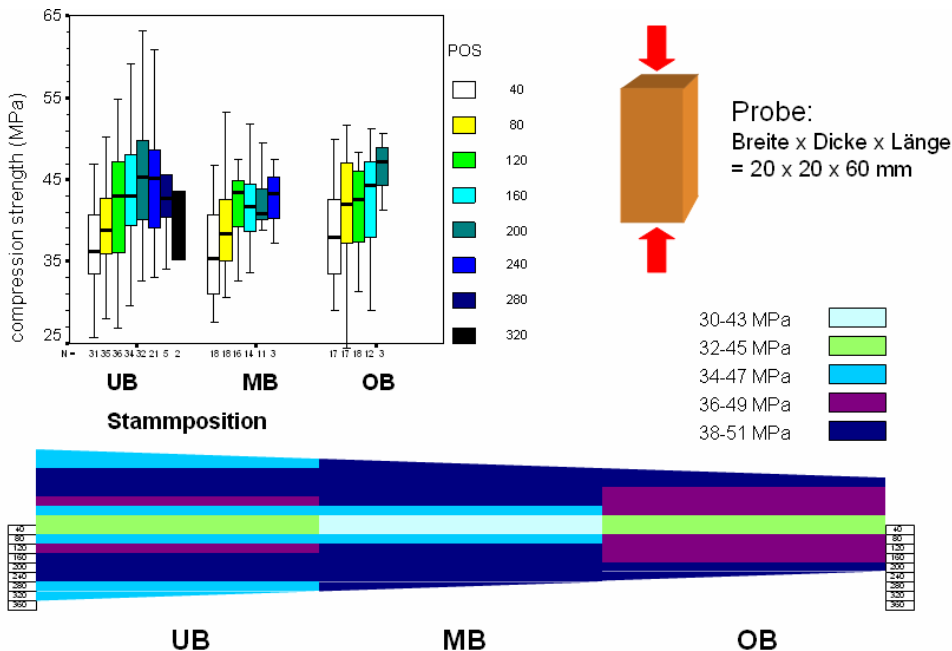


Abb. 74: Verlauf der Druckfestigkeit an kleinen fehlerfreien Proben über den Stamm

3.3.11 Zugfestigkeit

Die Zugfestigkeit an kleinen fehlerfreien Proben zeigt ebenfalls einen Anstieg in Mittel- und Oberbloch und einen deutlichen Abfall im Unterbloch. Gut zu erkennen ist die noch stärkere Streuung der Werte als bei der Druckfestigkeit.

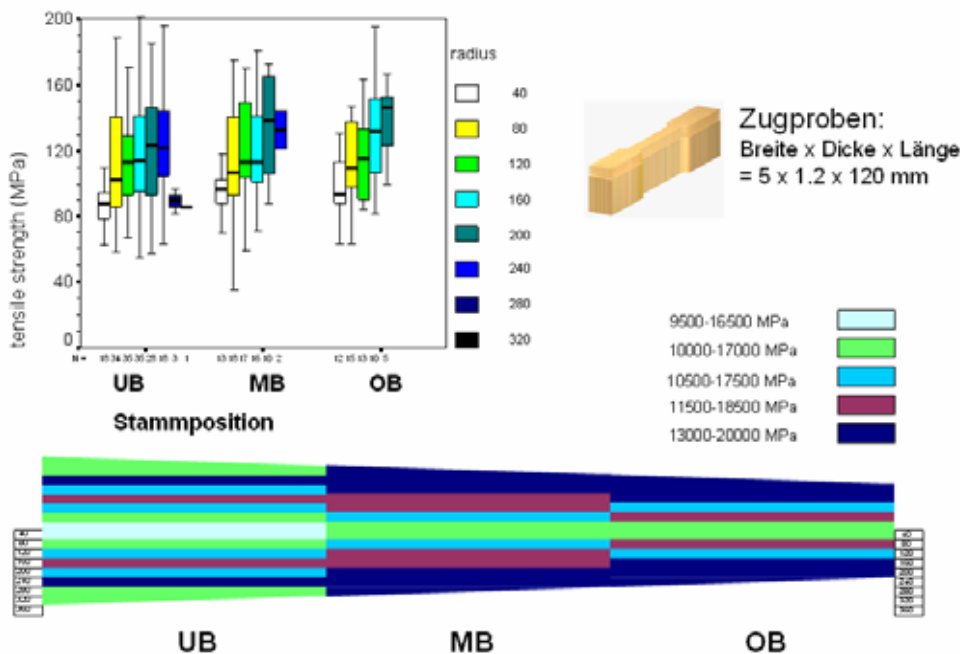


Abb. 75: Verlauf der Zugfestigkeit über den Stamm

3.3.12 Scherfestigkeit

Die Scherfestigkeit zeigt keine eindeutigen Tendenzen, die Streuungen sind sogar so hoch, dass keine vollständige Klassenbildung möglich war.

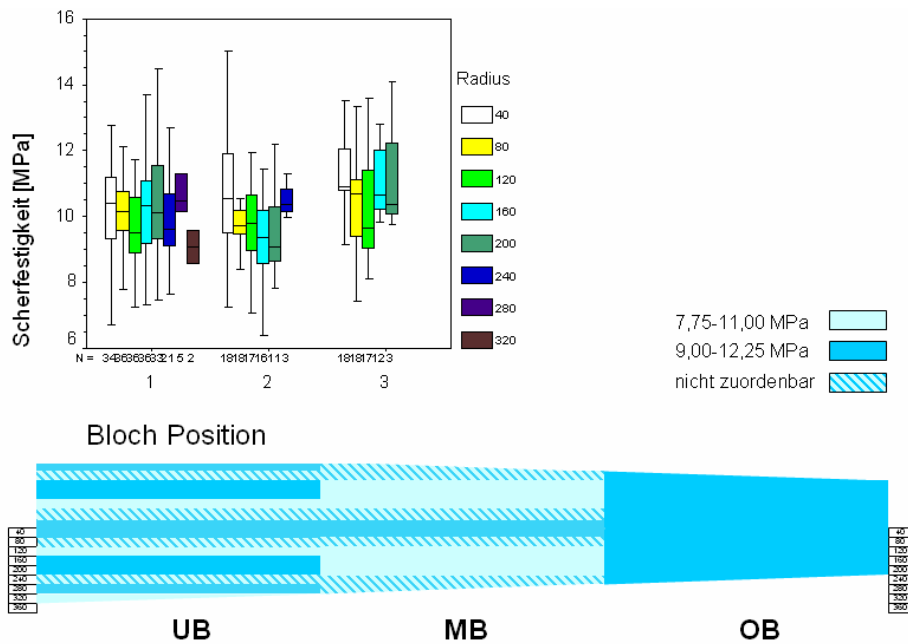


Abb. 76: Scherfestigkeit im Verlauf des Stammes

3.4 Schlussfolgerungen

Die Variabilität der Parameter sowohl entlang der Stammeshöhe als auch entlang des Radius ist sehr groß. Mithilfe eines Modells aufgrund der vorliegenden Daten ist es größtenteils möglich, die Parameter in Klassen einzuteilen und somit für eine optimierte Nutzung vorzubereiten. Allerdings muss auch darauf hingewiesen werden, dass die Streuung innerhalb der Klassen, die in diesem Fall gewählt wurden, ebenfalls sehr groß ist und es empfehlenswert wäre, mit Experten der Modellierung das Modell weiter zu entwickeln und zu verbessern.

Es ist deutlich ersichtlich, dass die Werte der Parameter insbesondere in radialer Richtung vom Alter abhängen. Darauf muss bei einer optimierten Nutzung besonders geachtet werden, wobei dies kein Problem bei der technischen Umsetzung sein sollte, da man den Stamm von außen nach innen auftrennen kann und somit auch auf die verschiedenen Parameter sehr leicht Rücksicht nehmen kann.

Die Werte für die Fasereigenschaften stellen sich als höchst interessant heraus, insbesondere die Faserlänge ist überdurchschnittlich und sollte technologisch höherwertig genutzt werden. Ob mit der Faserlänge auch eher ungewollte Papiereigenschaften auftreten, muss in Zusammenarbeit mit Spezialisten aus dem Zellstoff- und Papierbereich geklärt werden. Die alten Stämme weisen stellenweise einen sehr hohen Ligningehalt an den Stellen auf, wo Druckholz entsteht, was einhergeht mit einem großen Mikrofibrillenwinkel, der sich negativ auf die Festigkeit auswirkt. Dies ist aus waldbaulicher Sicht unvermeidlich, da die hohen Stämme mit der breiten Krone eine große Windangriffsfläche bieten. Dies ist ein großer technologischer Nachteil, da dieser Parameter ganz von den Standortverhältnissen abhängt

Die Festigkeitseigenschaften (Druck- und Zug) an den kleinen fehlerfreien Proben zeigen sehr gute Werte, sofern sie nicht vom Buchs beeinträchtigt werden. Allerdings muss hier zu bedenken gegeben werden, dass diese Werte nicht der tatsächlichen Verwendung in Bauteilgröße (die AP 2) entsprechen und somit nicht in dem Ausmaß genutzt werden können. Für die Nutzung der Festigkeitswerte müssen Technologien weiterentwickelt werden, die ein optimales und effizientes Auftrennen und Ausschneiden der Äste mit anschließendem Verbinden der astfreien Stücke (Keilzinken) ermöglichen.

Arbeitspaket 4: Konzepte für eine Nutzungsoptimierung von Starkholz

4.1 Zielsetzung und Methodik

Die Forschungsergebnisse aus AP1 bis AP3 sollten mit der methodischen Vorlage des ECODESIGN Pilot zu einem Werkzeug für die Akteure „Säger“, „Planer“ und „Hausbauer“ aufbereitet werden.

Der ECODESIGN PILOT ist eine Software Tool, welches Produktentwickler und Konstrukteure im Innovations- und Produktentwicklungsprozess unterstützt, indem geeigneten Strategien und konkrete Maßnahmen zur umweltrelevanten Verbesserung von Produkten vorgeschlagen werden. Der PILOT kann zur Produktverbesserung und Produktentwicklung bereits in der Phase der Produktplanung eingesetzt werden. Der PILOT ist vor allem für die Anwendung am Produkt gedacht, dient aber darüber hinaus als grundlegende ECODESIGN Wissensbasis die den gesamten Produktlebenszyklus – von der Rohstoffgewinnung bis zur Nachgebrauchs Phase - abdeckt.

Unter der Annahme, dass die Lebensphasen Transport, Produktnutzung und Nach Gebrauch keine signifikanten Unterschiede zu Produkten aus Schwachholz aufweisen, konzentriert sich der Schwerpunkt der Darstellung der Projektergebnisse somit auf der Rohstoffgewinnung und der Herstellung, wobei die Phase der Herstellung die Produktion vom Roh- bis zum Fertigprodukt umfasst.

Im Hinblick auf das übergeordnete Ziel des Projektes – Erhöhter Absatz von Starkholz aufgrund innovativer und nutzungsorientierter Technologien und Produkte – wurde es als Ziel führend erachtet, als ersten Schritt die Potentiale von Starkholz (wieder) ins Bewusstsein zu rücken und einem großen Kreis an potentiellen Nutzern zur Verfügung zu stellen. Die Umsetzung der Projektziele des AP 4.4 bzw. 4.5 als Weblösung ist dafür in hohem Maße geeignet. Die Qualitäten von Starkholz werden auch im Hinblick auf die Anforderungen an die umweltgerechte Produktgestaltung dargestellt, die Methode des ECODESIGN Pilot stellt die Basis dafür dar.

Die Umsetzung als Weblösung erfüllt die im Antrag formulierten Ziele in besonders ansprechender und benutzerfreundlicher Weise. Die aufgearbeiteten Projektergebnisse stehen als Webapplikation via Internet zur freien Verfügung und sollen die jeweiligen Entscheidungsträger befähigen, die Vorteile des Rohstoffes Starkholz zu erkennen und geeignet in ihren jeweiligen Entscheidungen zu berücksichtigen. Dabei sollen Antworten auf folgende Fragen gegeben werden:

Folgende Fragen sollen mit der Weblösung beantwortet werden:

1. Säger: Wie verarbeite ich einen Starkholzstamm richtig- welche Teile nutze ich wofür?“
2. Planer: Mit welchen Materialeigenschaften kann ich beim Starkholz rechnen?
3. Hausbauer: Welche Vorteile erkaufe ich mir mit Produkten aus Starkholz?

4.2 Grundkonzepte für eine Kennzeichnung von Starkholzprodukten

Die Eigenschaften von Starkholz sollten den allgemeinen Anforderungen in der Produktentwicklung zu umweltgerechter Produktgestaltung/ECODESIGN gegenübergestellt werden und daraus sollte ein Konzept für eine Kennzeichnung von Starkholzprodukten abgeleitet werden. Es sollten so die Stärken des Rohstoffs Starkholz in Bezug auf seine Umweltperformance herausgearbeitet und für die Vermarktung aufbereitet werden.

Ein Konzept für den Vergleich von ECODESIGN Anforderungen in der Produktentwicklung mit den Eigenschaften von Starkholz und eine Kriterienmatrix wurden erstellt und diese wurden in die Gestaltung der Weblösung miteinbezogen.

Form und Inhalt der Webapplikation stellen eine fundierte Basis für eine Vermarktung von Starkholz dar, die Erweiterung um eine Kennzeichnung zur Auszeichnung von Starkholzprodukten ist angedacht und einfach einzufügen.

Das Konzept der Webanwendung sieht eine Eintragungsmöglichkeit von Verarbeitern von Starkholz und Produkten aus Starkholz vor. Hier können einerseits Hersteller von traditionellen Produkten aus Starkholz gelistet werden und andererseits kann dies als Plattform für innovative Anwendungen und Verarbeitungstechnologien dienen. Unternehmen wie interessierte Nutzer können von dieser Schiene profitieren, welches als Vermarktungs- wie auch als Informationsmedium genutzt werden kann.

Die Forschungsergebnisse aus den Arbeitspaketen 1 bis 3 wurden in Form einer Weblösung als Werkzeug für die Akteure entlang der Verarbeitungskette von Starkholz aufbereitet. Als unterschiedliche Akteure wurden exemplarisch „Säger“, „Planer“ und „Hausbauer“ ausgewählt. Die freie Verfügbarkeit im Internet ermöglicht es den jeweiligen Entscheidungsträgern die Vorteile des Rohstoffes Starkholz zu erkennen und in geeigneter Form in ihren Entscheidungen zu berücksichtigen. Die gewählte Form der Aufbereitung und Darstellung der Projektergebnisse auf www.starkholz.at erlaubt eine weite Verbreitung der Thematik und soll die Qualitäten von Starkholz in Österreich den beteiligten Akteuren wieder vermehrt ins Zentrum des Bewusstseins rücken.

Ziel war die Entwicklung eines Internet Tools welches die Ergebnisse des Forschungsprojektes für die unterschiedlichen Akteure wie Forst, Sägewerk, Weiterverarbeiter und Planer aufbereitet. Es sollten drei Zugänge enthalten sein: der Starkholzstamm, die Verarbeitungsschritte und die Anwendungsbereiche für Starkholz.

Die Vorteile und Potentiale von Starkholz sollten in übersichtlicher und ansprechender Form dargestellt werden. Die in AP 1 bis AP 3 ermittelten Faser- und Festigkeitseigenschaften von Starkholz wurden abgebildet und die Verarbeitungsprozesse vom Forst bis zur Weiterverarbeitung wurden dargestellt.

Dies soll einerseits der Wissensvermittlung dienen und andererseits eine Entscheidungshilfe für potentielle Anwender darstellen.

Das Praxiswissen der Akteure in der Starkholz-Verarbeitungskette sollte mittels Fragebogen und in Gesprächen mit den Experten gesammelt und als Input für den 2. Zugang „Prozesse“ des Internet-Tools aufbereitet werden (Siehe Anhang). Damit soll eine möglichst praxisnahe Darstellung der Problemstellung erreicht werden. Gemeinsam mit diesem Praxiswissen und den erhobenen Daten zu Faser- und Festigkeitseigenschaften von Starkholz dient dies als fundierte Basis zur Erstellung von neuen Nutzungskonzepten für Starkholz.

Die Weblösung wurde derart konzipiert, dass eine inhaltliche und funktionelle Erweiterung möglich ist:

- Vorbereitet für Mehrsprachigkeit (Multilingualität)
- Eingebettet in ein Content Managementsystem
- Wartbarkeit von Inhalt und Daten ohne Programmierkenntnisse oder HTML-Kenntnisse
- Dynamisches Websystem; damit vorbereitet für den Aufbau von Starkholzprodukt- und Herstellerlisten
- Möglichkeit der Schaffung von passwortgeschützten Bereichen

4.3 Umsetzung als Weblösung mit drei Zugängen: Stamm, Prozesse und Produkte

Nachfolgend wird die Vorgehensweise zur Umsetzung aufgezeigt. Die Schritte sind untergliedert in:

- Erster visueller Prototyp
- Erster funktioneller Prototyp und
- Final Release

4.3.1 Erster visueller Prototyp

Der erste Prototyp umreißt grob den Aufbau und den Inhalt der Weblösung.

a) Allgemeine Stammdaten:

Ausgehend von einem segmentierten Starkholzmodell (Abbildung 1) können die einzelnen Bereiche eines Starkholzstammens ausgewählt werden um zu den Eigenschaften des jeweiligen Abschnittes zu gelangen. Das Modell soll den radialen und axialen Aufbau eines Baumes zeigen. Die in AP 1-3 ermittelten Kenngrößen der Faser- und Festigkeitseigenschaften und deren Verteilung im Stamm fließen in das Modell ein. Der Stamm ist axial unterteilt in Erdbloch, Mittelbloch, Oberbloch, (ev. Kronenbereich) und radial in: Kernholz, Splintholz und Rinde.

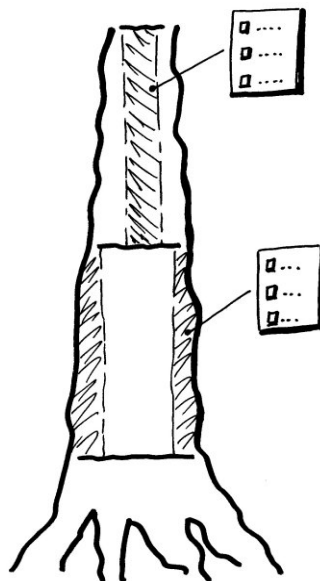


Abb. 77: Segmentiertes Starkholzmodell – visueller Prototyp

Bei der Auswahl der einzelnen Abschnitte erscheint ein Stammdatenblatt, welches u.a. folgende Punkte enthält (Abb. 78):

- Eigenschaften (Dichte, E-Modul, Ligningehalt, Faserlänge...) und deren radiale Verteilung im Bloch
- Notwendige Verarbeitungsschritte für diesen Abschnitt
- Identifizierte Anwendungsbereiche (Papier, Bau, Deko, Patte,...)

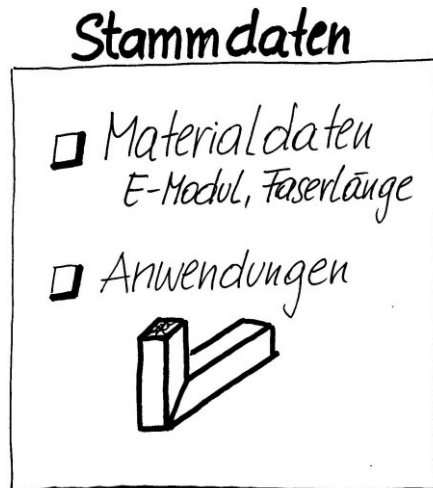


Abb. 78: Stammdatenblatt eines ausgewählten Bereichs

b) Spezielle Informationen für Kunden

Dieser Zugang bildet die Prozesse zur Verarbeitung eines Starkholzbaumes ab. Entlang des Produktlebens werden die Prozesse abgebildet, welche für die Verarbeitung von Starkholz erforderlich sind. Als Anhaltspunkt dient die Verarbeitungskette von Schwachholz, die an die Anforderungen von Starkholz adaptiert wird. Zusätzliche bzw. anders ablaufende Prozesse sind ausgewiesen.

Das Produktleben gliedert sich in fünf Abschnitte:

Rohstoffgewinnung -> Herstellung -> Distribution -> Nutzung -> Nach Gebrauch

Entlang des Produktlebens sind die einzelnen Akteure wie Forstbesitzer, Säger, Weiterverarbeiter, Transporteure, Planer, Hausbauer,... angesiedelt, denen die jeweiligen relevanten Prozesse zugeordnet sind. In diesem Zugang sollen die Akteure Antworten auf Fragen der optimalen Verarbeitung von Starkholz erhalten.

Verarbeitungsprozesse entlang eines Produktlebens:

Rohstoffgewinnung

- Forstpflge: regelmäßiges Durchforsten geringer Intensität...
- Holzernte: Fällen, Entasten, Vermessen, Kennzeichnung...
- ...

Herstellung

- Verarbeitung: Schneidetechnologie anpassen, nutzungsorientierter Einschnitt, Sortieren, Klassifizieren gem. Eigenschaften...
- Weiterverarbeitung: Fehlerabkappung, Trocknung (Konditionierung) Hobeln, Keilverzinkung, Verleimung, Zerkleinern (Hacken, Zerspanen, Zerfasern...)...
- ...

Transport

- kein Unterschied zu Schwachholz...

Nutzung

- kein Unterschied zu Schwachholz...

Nach Gebrauch

- kein Unterschied zu Schwachholz...

Verarbeitungsprozesse

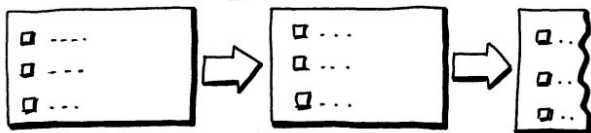


Abb. 79: Verarbeitungsprozesse entlang des Produktlebens

c) Produktmöglichkeiten

- Bau (Konstruktionsvollholz, Kanthölzer für Duo/Trio-Balken, Lamellen für Brett-schichtholz – BSH, Kreuzlagenholz – KLH, Dachlatten...)
- Deko (Fenster, Türen, Möbel...)
- Papier
- Platten (MDF, OSB, Spanplatten...)

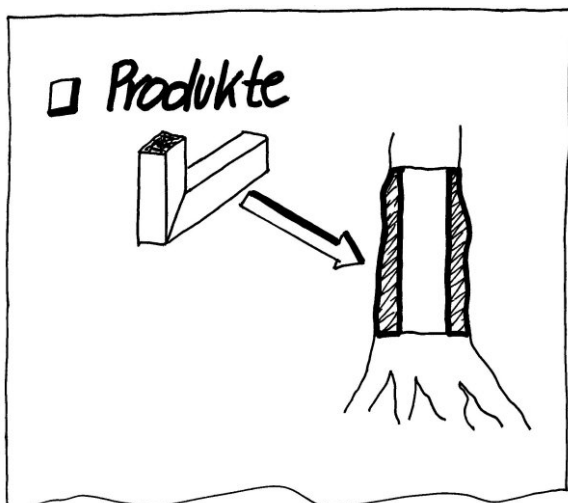


Abb. 80: Produktanwendung und Lage der entsprechenden Qualität im Stamm

Die verschiedenen Anwendungsbereiche sind mit den Starkholzeigenschaften und deren Lage im Stamm verknüpft. Somit können die Erstkunden in den für sie interessanten Anwendungsbereich gehen und rasch die für ihre Produkte geeigneten Teile im Stamm lokalisieren.

4.3.2 Erster funktioneller Prototyp

Aufbauend auf das Grundkonzept wurde ein erster funktioneller Prototyp der Webanwendung erstellt. Im vorliegenden Kapitel werden Aufbau und Inhalte des funktionellen Prototyps dargestellt. Der Aufbau und die Funktionalität dieser Version wurden konsequent übernommen und weiterentwickelt.

- Link zu einem anderen Zugang (Stamm, Prozesse, Produkte)
- neue Seite wird geöffnet, untergeordnete Ebene
- **MO** Mouseover, wenn man mit dem Mousezeiger über einen bestimmten Bereich geht, erscheint ein kleines Fenster mit Zusatzinformationen, Bild usw., welches beim Wegziehen des Mousezeigers wieder verschwindet
- **!** Eintragungsmöglichkeit von Produktideen, Ideenaustausch (Forum) bzw. Firmen
- **Erklärung Werte:** beim Anklicken der Parameter öffnet sich ein neues Fenster mit Definition, Erklärung der Parameter und deren Einfluss auf die Verarbeitungsprozesse und Aufzählung der Produkte, bei denen der Parameter relevant ist; z. B. Drehwuchs
- **Vergleichsfunktion:** Möglichkeit des Datenvergleiches zwischen den Bereichen und mit Schwachholz; zusätzlich zur ausgewählten Tabelle kann die Tabelle eines anderen Bereichs oder von Schwachholz dazu geschaltet werden



Abb. 81: Einstiegsseite mit den Zugängen Stamm, Prozesse und Anwendungen

a) Starkholzstamm

Das Hauptaugenmerk liegt auf diesem Zugang, der die Forschungsergebnisse aus den vorangegangenen Arbeitspaketen beinhaltet. Dieser wird inhaltlich und strukturell am umfangreichsten aufgearbeitet.

1. Ebene: Stammmodell

Der Starkholzstamm wurde gegliedert in sechs Bereiche: Juvenil und Adult, Erd- Mittel- und Oberbloch.

Eine Bezeichnung der Bereiche ist zu überlegen; einstweilige Einteilung in **J 1, J 2, J 3** und **A 1, A 2, A 3**; Bei der Endversion der Umsetzung wird eine grafische Darstellung des Stammes die Tabelle ersetzen.

Die Trennung der Bereiche erfolgte ab Radius 16 cm bzw. Durchmesser 32 cm, da ab diesen Werten signifikante Unterschiede zwischen adultem und juvenilem Holz in den Untersuchungsergebnissen feststellbar waren.

MO Mouseover: Kurze Charakterisierung der wichtigsten Eigenschaften der einzelnen Bereiche. Die einzelnen Bereiche werden mit Mouseover-Texten hinterlegt, d.h. wenn man mit dem Mousezeiger über die Bereiche der Grafik geht, erscheint ein kurzer Erklärungstext, ev. Bild zur Veranschaulichung.

→ Beim Anklicken der einzelnen Bereiche öffnet sich eine neue Seite (Ebene 2)

starkholz.at - Netscape

File Edit View Go Bookmarks Tools Window Help

Starkholz > Stamm

Bereich 3 Oberbloch	Juveniles Holz J3	astig
	Adultes Holz A3	text
Bereich 2 Mittelbloch	Juveniles Holz J2	text
	Adultes Holz A2	text
Bereich 1 Erdbloch	Juveniles Holz J1	text
	Adultes Holz A1	qualitativ hochwertiges Holz mit sehr hoher Faserlänge, guten Festigkeitseigenschaften und schöner Optik

grafik 6 bereiche
starkholzstamm.jpg

Trennung zwischen juvenilem und adultem Holz bei Durchmesser 32 cm: < 32 cm juvenil, > 32 cm adult

Abb.82: Modell Starkholzstamm

2. Ebene: Stammbereiche

- Kategoriebezeichnung z. B. A1 , Adultes Holz, Erdbloch
- Charakteristische Eigenschaften des Bereichs hervorheben
 - Z. B. hoher Coarsenesswert
 - sehr hohe Faserlänge
 - kleine Jahrringbreiten und hoher Spätholzanteil → hohe Dichte
 - gute Festigkeitseigenschaften...
- Vorteile des Starkholzes in dem Bereich
 - gleichmäßige Jahrringstruktur
 - gute Festigkeitseigenschaften...
- Übersicht über Eigenschaften – **Datenblatt**

→ Öffnen einer neuen Seite (Ebene 3)

→ Verlinkung zu Zugang Prozesse möglich, Charakteristika bei der Verarbeitung des ausgewählten Stammbereiches können dargestellt werden

→ Produkte - Mögliche Anwendungen

Abbildung von Symbolen für die möglichen Anwendungen, kurzer Erklärungstext

Verlinken zu Zugang Produkte möglich, durch Anklicken der Symbole.

! Produktideen: Eintragungsmöglichkeit neuer Produktideen mit Kurzbeschreibung, begründet auf spezifische Eigenschaften des Holzes aus dem Stammbereich

Starkholz > Stamm > Bereich (1-Adult)


<input type="checkbox"/> Materialdaten <i>E-Mockel, Faserlänge</i> <input type="checkbox"/> Anwendungen  bereichA1.jpg (als Navigator rechts oben?) Stammdaten3.jpg oder Materialdaten.jpg	Charakteristische Eigenschaften	sehr hohe Faserlänge kleine Jahrringbreiten und hoher Spätholzanteil --> hohe Dichte gute Festigkeitseigenschaften geringer Drehwuchs hoher Coarsenesswert
	Vorteile	weitgehend fehlerfreies, qualitativ hochwertiges Holz geringe Jahrringbreite und gleichmäßige Jahrringstruktur ergeben schöne Optik gute Festigkeitseigenschaften astfreie Zone ruhiges Holz, windet sich nicht bei kernfreiem Einschnitt
	Daten	Datenblatt
	Produkte	> liste Bauanwendungen Fenster Tonholz Möbel Papier
	Prozesse	> liste
	Produktideen	???

Abb. 83: Ausgewählter Stammbereich A1

3. Ebene: Datenblatt

- Übersicht der Daten in Tabellenform: Mittelwerte und Wertebereiche
- Interpretation der Daten – Anmerkung: Erklärungen werden mitgeliefert, wie diese Daten/Werte in einem Zusammenhang mit einer möglichen Weiterverwendung stehen

The screenshot shows a Netscape browser window with the address bar containing a file path. The page title is 'Starkholz > Stamm > Bereich (1-Adult) > Datenblatt'. The main content is a table with the following structure:

Parameter	Einheit	Fraktile 25-75%: Wertebereich von bis	Mittelwert	Anmerkung
Strukturelle und physikalische Eigenschaften				
Dichte (i)	[g/cm]	0,38 - 0,47	0,43	deutlich höher als juveniler Bereich
Jahringbreite (i)	[mm]	1,47 - 2,97	2,38	geringe Jahringbreite
Spätholzanteil (i)	[%]	16 - 27	23	hoher Spätholzanteil
Drehwuchs (i)	[°]	-3 - +1	-0,8	geringer Drehwuchs
Faserlänge (i)	[µm]	4660 - 5615	5064	sehr hohe Faserlänge, deutlich höher als im juvenilen Bereich
Mikrofibrillenwinkel (i)	[°]	9,6 - 12,7	11,8	kleiner Mikrofibrillenwinkel
Zellwanddicke (i)	[µm]	2,5 - 3	2,7	hohe Zellwanddicke
Zelldurchmesser radial (i)	[µm]	33 - 36	34	hoher Zelldurchmesser
Zelldurchmesser tangential (i)	[µm]	31 - 34	32	hoher Zelldurchmesser
Coarseness (i)	[µg/m]	438 - 508	471	hoher Wert, je kleiner desto besser, hebt Vorteil der hohen Faserlänge auf?

On the right side of the table, there is a note: 'Vergleichen mit anderen Bereichen oder Schwachholz'. Above the table, there is a small diagram of a tree trunk with a section highlighted.

Abb. 84: Datenblatt

MO Mouseover über die Parameter, kurze Erklärung erscheint (**i**)

z. B. Drehwuchs = die Abweichung der Faserrichtung von der Schwerlinie (Def. nach DIN).
Holzfasern wachsen nicht achsenparallel, sondern spiralförmig um die Stammachse.

Erklärung Werte: beim Anklicken der Parameter öffnet sich eine neue Seite mit Definition, Erklärung der Parameter und deren Einfluss auf die Verarbeitungsprozesse und Aufzählung der Produkte, bei denen der Parameter relevant ist; z. B. Drehwuchs:

starkholz.at - Netscape

File Edit View Go Bookmarks Tools Window Help

Starkholz > Stamm > Bereich (1-Adult) > Datenblatt > Erklärung Werte

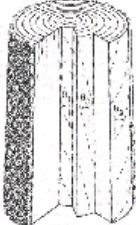
<p>Drehwuchs</p> 	Definition	Drehwuchs = die Abweichung der Faserrichtung von der Schwerlinie (Def. nach DIN). Holzfasern wachsen nicht achsenparallel, sondern spiralförmig um die Stammachse.
	Erklärung	Drehwuchs kommt in geringem Ausmaß bei fast jedem Holz vor. Bei Fichten im Allgemeinen Rechtsdrehwuchs - Faser verläuft am stehenden Stamm von links unten nach rechts oben. Bei juvenilem Holz meist Linksdrehwuchs. Mit zunehmenden Dickenwachstum richten sich die Fasern allmählich zu achsenparallelen Verlauf auf, wobei diese später nach rechts umsetzen und in einen Rechtsdrehwuchs übergehen können. Gründe: genetischer Natur, Umwelteinflüsse wie Wind, Lage, Kronenwachstum, Erdrotation... Drehwuchs ist am Rundholz nur an den äußeren Stammpartien sowie an der Rinde zu erkennen und anhand von Mantelrissen, dem Verlauf von Hohlkehlen und Frostleisten gut festzustellen.
	Beeinflussung des Verarbeitungs-prozesses (Link Prozesse)	> prozess Einfluß auf die Verdrehung und Verwerfen insbesondere bei der Trocknung bzw. wechselnden klimatischen Verhältnissen. Schwindrisse verlaufen im Allgemeinen in Richtung der Faserneigung. Hohe Spannungen beim Zerschneiden, es kommt zu Rissbildung; nach Möglichkeit faserparallelem Einschnitt.
	Produkt	> anwendung Konstruktion: Drehwuchs hat Einfluss auf Faserabweichungen im Schnittholz; mit zunehmender Faserneigung fällt die Festigkeit stark ab. Für Konstruktionselemente sollte nur annähernd faserparallel zugeschnittenes Holz verwendet werden. Schindeln: Starke Stämme mit gleichmäßigem Wuchs, astarm und geradfaserig, ja sogar im Drehwuchs sind gefragt. "nachsinnig Gewachsene - wenn die Holzfaser nach der Daumenrichtung der rechten Hand verläuft, so ist der Wuchs "nachsinnig" also nach dem Sonnenverlauf

Abb. 85: Erklärung Werte - Definition der Parameter am Beispiel Drehwuchs

Vergleichsfunktion: Möglichkeit des Datenvergleiches zwischen den Bereichen und mit Schwachholz; zusätzlich zur ausgewählten Tabelle kann die Tabelle eines anderen Bereichs oder von Schwachholz dazu geschaltet werden, um die Werte besser vergleichen zu können:

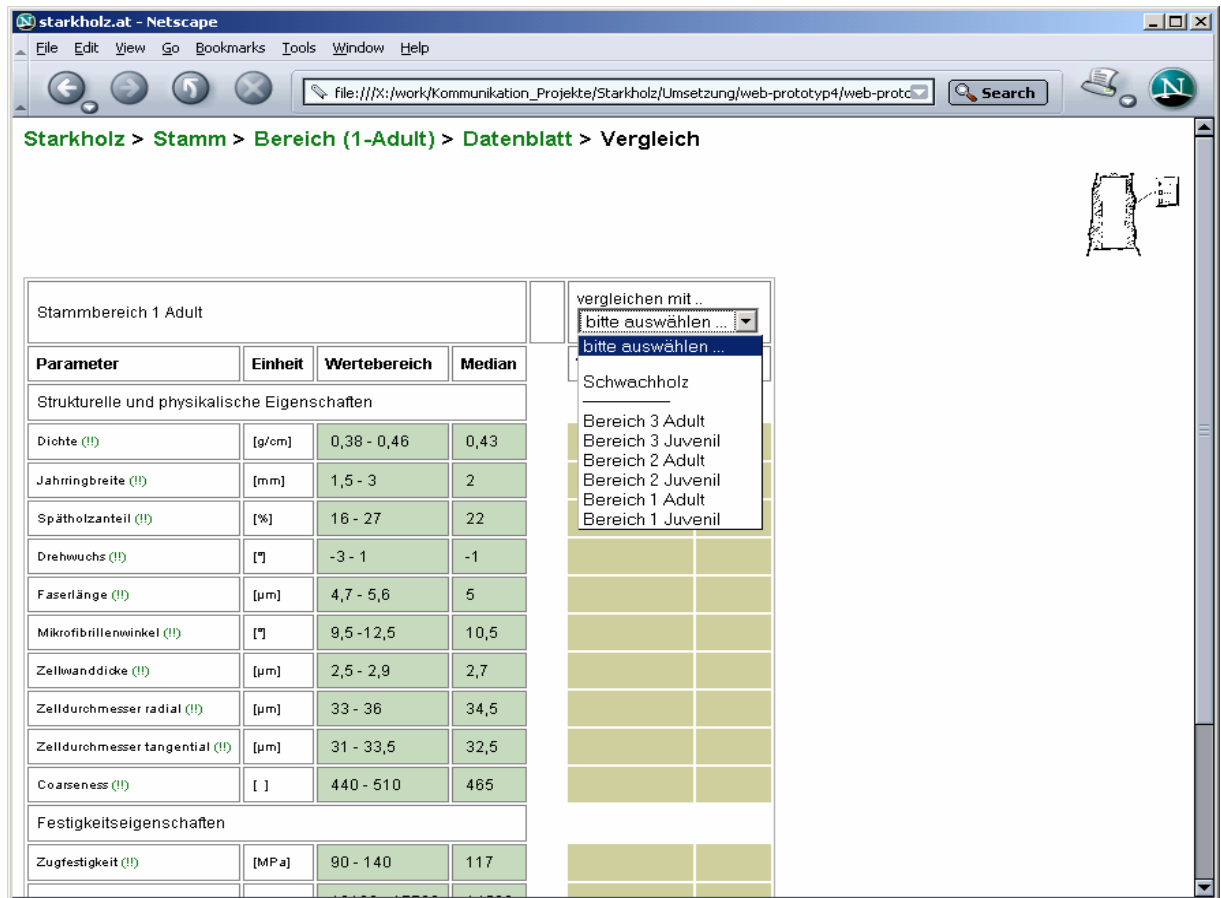


Abb. 86: Vergleichsfunktion

b) Prozesse

1. Ebene: Übersichtsgraph

Übersicht über die Verarbeitungskette von Starkholz. Verknüpfungen der vor- und nachgelagerten Prozesse sollen sichtbar gemacht werden. Es gibt die Möglichkeit, neue Technologien zur Verarbeitung eintragen.

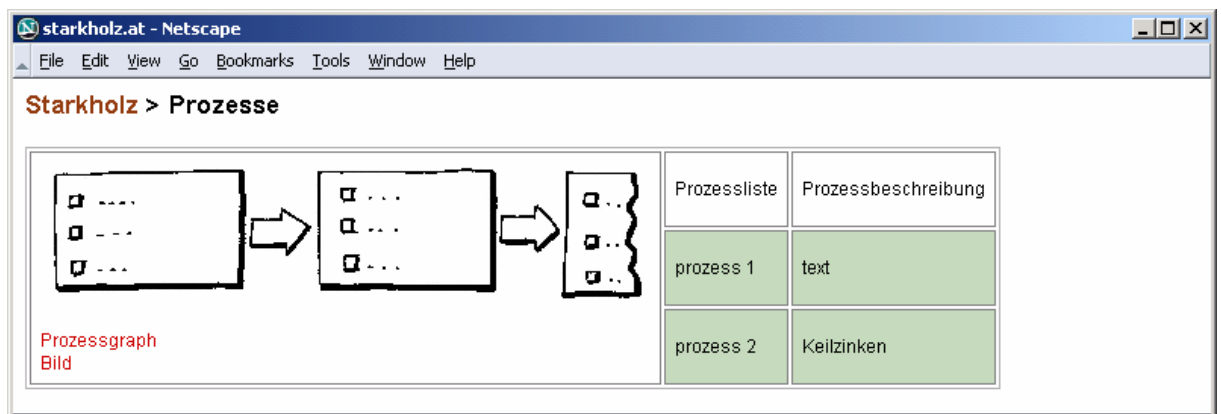


Abb. 87: Graph – Übersicht über Prozesse

2. Ebene: Prozesse

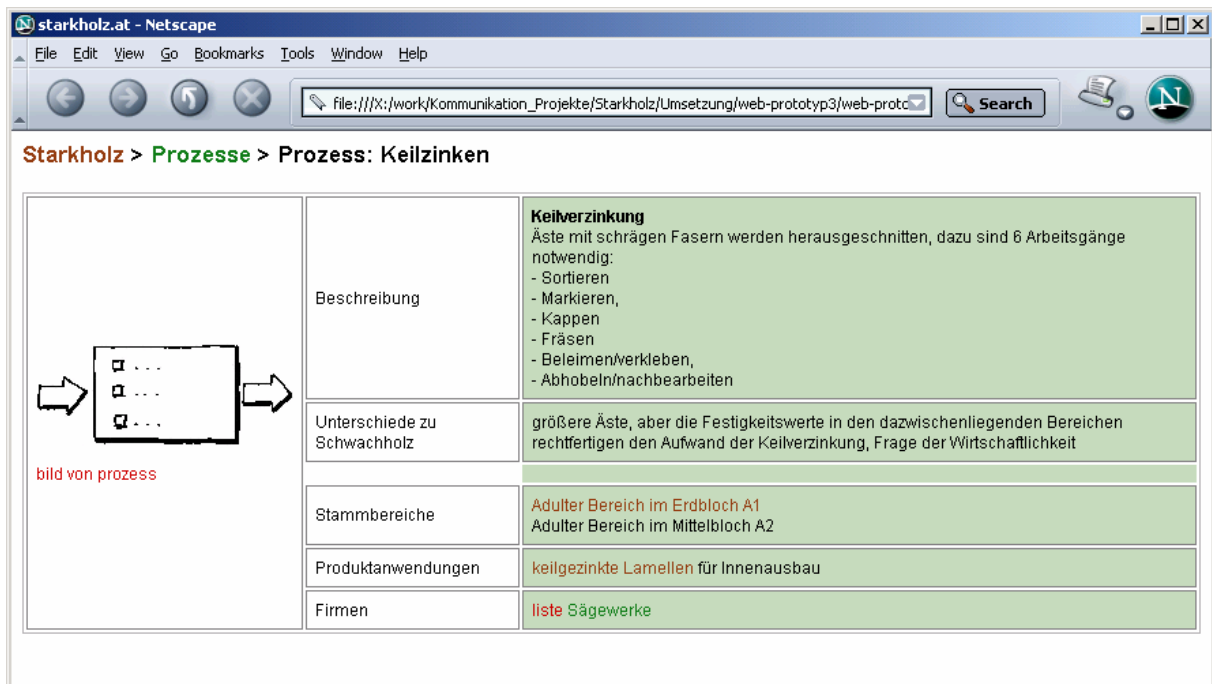


Abb. 88: Prozessbeschreibung

Wo immer sich die Prozesse der Starkholzverarbeitung von jeder der Schwachholzverarbeitung unterscheiden, werden diese Punkte speziell hervorgehoben.

Prozessbeschreibung am Beispiel Keilzinken:

Hohe Biegefestigkeit des Holzes in Bereich A3 würde für eine hochwertige Nutzung sprechen, aber sehr astreiche Zone -> Möglichkeit des Keilzinkens, Äste herausschneiden; 6 Schritte notwendig: Sortieren, Markieren, Kappen, Fräsen, Beleimen, Nachbearbeiten

→ Verlinkung zu Stammbereiche,

→ Verlinkung zu Produkte, beispielhafte Aufzählung von Starkholzprodukten oder Produktkategorien

! Eintragungsmöglichkeit von Firmen: Starkholzverarbeitern, Sägewerken etc.

Verarbeitungskette von Starkholz mit Prozessschritten und Produkten:

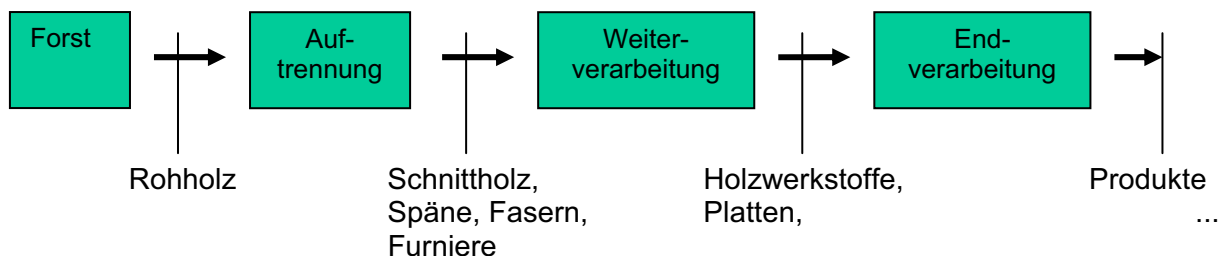


Abb. 89: Verarbeitungskette von Starkholz

Prozesse der Verarbeitungskette

Forst und Auftrennung sind die wichtigsten Schritte, dort werden die Prozesse detaillierter dargestellt. Bei der Endverarbeitung werden nur für die ausgewählten Produkte wie Fenster, Leimbinder und Papier relevante Prozesse dargestellt

Forst

Zucht (inkl. Waldpflege), Ernte, Bringung (Transport)
-->Produkt Rohholz

Auftrennung (Primary Processing)

Schneiden/Sägen : Sortieren, Auftrennen (je nach Art: Schneiden, Schälen), Trocknen, --> Balken, Bretter, Leisten + Nebenprodukte Späne, Rinden(mulch) für Vollholzprodukte, Massivholz/Plattenherstellung, ...

Zerhacken/

-->Hackschnitzel für Holzwerkstoffe, Faserherstellung

Zerspanen

-->Späne für Holzwerkstoffe (Spanplatten) ...

Zerfasern

-->Fasern bzw. Zellstoff für Holzwerkstoffe (Faserplatten), Papierherstellung

Schälen

-->Schäl furniere, Brettschichtholz für Holzwerkstoffe (Furnierplatten), Schindeln, ...

Weiterverarbeitung

sehr umfangreich – kann bestenfalls beispielhaft sein

Besteht ab hier überhaupt ein Unterschied zur Schwachholzverarbeitung?

Holzwerkstoffe:

Massivholzplatten, Sperrholz, Verbundplatten, ...

OSB, Spanplatten, ...

MDF, Faserplatten, ...

Furniersperr-/schichtholz, ...

Endverarbeitung (Secondary processing)

kein Unterschied zu Schwachholz (von den Prozessen her) – aufgrund Detaillierungsgrad nur auszugsweise Abbildung bei Relevanz für Starkholz – verschiedenste Prozesse/ Fertigungsverfahren für die Produkte Fenster, Leimbinder und ev. Papier/Faser (Hobeln, Fräsen, Drechseln, Schnitzen, ...)

c) Produkte

- Bestehende Anwendungen von Starkholz
- Mögliche neue Anwendungen

1. Ebene: Kategorien

Bau, Möbel, Platten,...Nischenprodukte

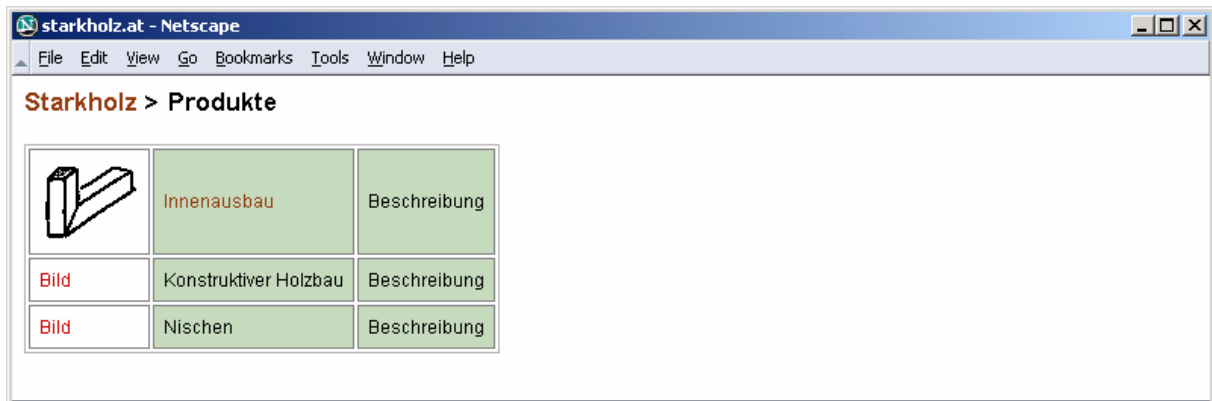


Abb. 90: Kategorien

2. Ebene: Ausgewählte Kategorie

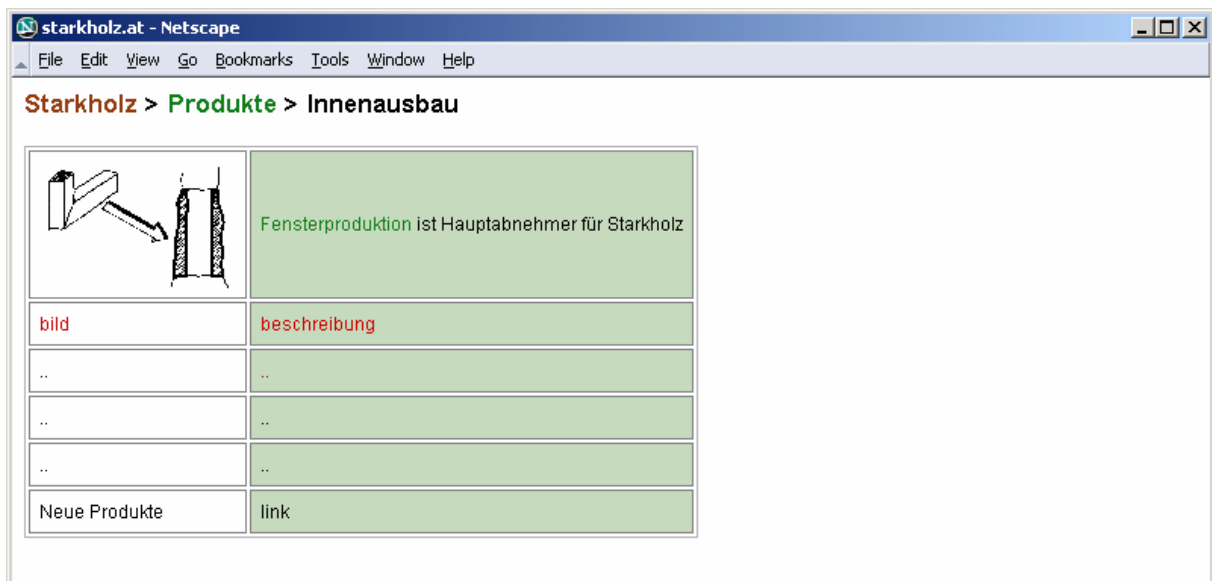


Abb.91: Kategorie Innenausbau

3. Ebene: Produkte – Anforderungen

Diese Ebene enthält eine beispielhafte Aufzählung von Produkten aus Starkholz und zugehörige Kategorie, Fenster, Leimbinder und Papier/Faseranwendung werden detaillierter betrachtet.

! Eintragungsmöglichkeit von Starkholzprodukten und Hersteller

Produktkategorien und Produkte:

Folgende Fragen sollen aufgeworfen und mit den bereits vorhandenen Daten teilweise auch schon beantwortet werden:

Welche Anforderungen werden von den jeweiligen Branchen bzw. Produkten an den Rohstoff bzw. die Vorprodukte gestellt?

Wie gut kann Starkholz diese erfüllen?

Unter welchen Bedingungen? Welche Maßnahmen sind dazu notwendig?

- Konstruktiver Holzbau (qualitativ hochwertiges Holz):
Vollholz, Leimbinder, BSH, Wandelemente, Schalungsplatten, Beplankung
- Innenausbau
Fenster, Türen, Böden, Leisten, Verkleidungen (qualitativ hochwertiges Holz)
- Möbel
Vollholz + Furniere für Tische, Regale, ...
- Packmittel
Paletten, Kisten,... (mittlere und niedere Holzqualitäten und Holzwerkstoffe)
- Holzwerkstoffe
OSB, MDF,... Massivholzplatten,
- Nischen
Schindeln, Instrumente (Tonholz), Bootsbau, ...
- Mögliche neue Anwendungen: Papier, Karton (Faserlänge!)

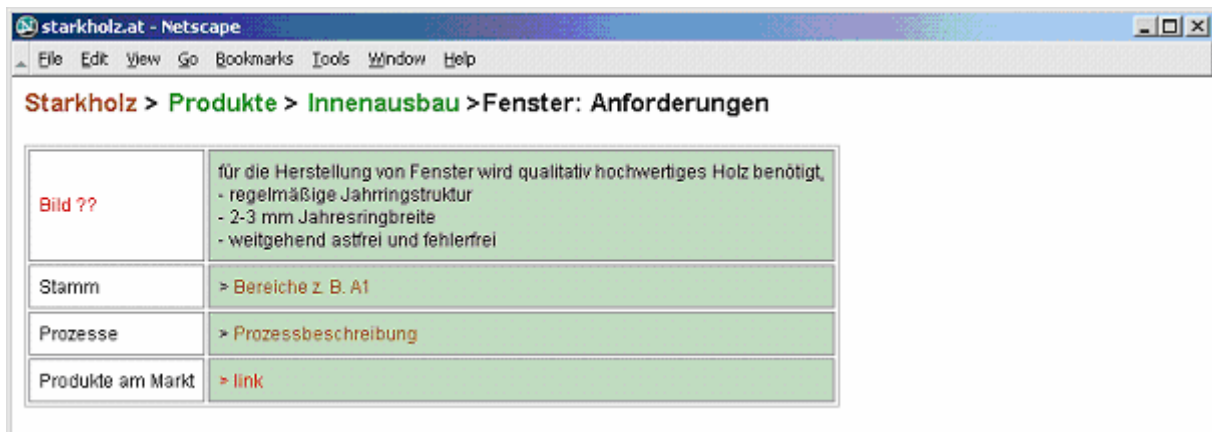


Abb. 92: Ausgewählte Produkte und ihre Anforderungen an den Rohstoff

→ Verlinkung zu Stammbereiche

→ Verlinkung zu Prozesse

4.3.3 Final Release

Die Endversion der Weblösung ist unter www.starkholz.at frei zugänglich.

Auf der Startseite wird das Forschungsprojekt beschrieben. Die drei Zugänge sind in der Navigationsleiste abgebildet und durch Anklicken der Icons sowie der Begriffe zu öffnen. Über die drei Icons sind Mouseover Texte gelegt, die die Zugänge kurz erklären.

starkholz.at

Stamm Prozesse Produkte

Fichtenstarkholz aus Österreich

Projektbeschreibung

Das Starkholz-Forschungsprojekt wurde im Rahmen der Programmlinie "FABRIK der Zukunft" durch das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) gefördert und trägt folgenden Titel:
 Materialkenngrößen als Grundlage für innovative Verarbeitungstechnologien und Produkte zur wirtschaftlich nachhaltigen Nutzung der Österreichischen Nadelholzreserven "XXL-Wood".

Übergeordnetes Ziel dieses Projektes ist, die Produkte der österreichischen Gebirgsforstwirtschaft - in diesem Fall Starkholz - am Markt konkurrenzfähig zu machen. Starkholz bietet aufgrund seiner Variationen der Faser- und Festigkeitseigenschaften die Möglichkeit, bei intelligenter und nutzungsbezogener Auftrennung, das Material für weitere Anwendungen aufzubereiten bzw. wirtschaftlich interessant zu machen. Dafür wurden im Rahmen dieses Projektes genaue Analysen und Charakterisierungen der Starkholzeigenschaften durchgeführt und danach konkret auf seine Eignung für neue technische Anwendungsbereiche überprüft.

Ziel der Starkholzseite ist vor allem:

- eine Wissensbasis und Entscheidungshilfe für potentielle Anwender zur Verfügung zu stellen und
- die Darstellung der charakteristischen Eigenschaften, die Vorteile und Potentiale von Starkholz.

Prozesse in der Starkholzverarbeitung
 Dieser Zugang bildet die Prozesse zur Verarbeitung eines Starkholzbaumes ab. Entlang der Verarbeitungskette (Forst, Auftrennung, Weiterverarbeitung) werden die Prozesse abgebildet, welche für die Verarbeitung von Starkholz erforderlich sind. In diesem Zugang sollen die Akteure Antworten auf Fragen der optimalen Verarbeitung von Starkholz erhalten.

Abb. 93: Startseite Endversion www.starkholz.at mit Mouseover „Prozesse“

a) Starkholzstamm

Das Hauptaugenmerk liegt auf diesem Zugang, der die Forschungsergebnisse beinhaltet. Dieser Zugang wurde inhaltlich und strukturell am umfangreichsten aufgearbeitet.

1.Ebene: Einstiegsseite

Der Starkholzstamm wurde in sechs Bereiche (Juvenil und Adult, Erd- Mittel- und Oberbloch) gegliedert. Über die einzelnen Bereiche wurden **Mouseover** Texte gelegt, die die Bereiche kurz charakterisieren.

Stamm | **Prozesse** | **Produkte**

Der Starkholzstamm

<p>A3 J3 A3</p> <p>Oberbloch</p>	<p>Ausgehend von dem segmentierten Starkholzmodell können die einzelnen Bereiche eines Starkholzstammes ausgewählt werden, um zu den Beschreibungen des jeweiligen Abschnittes zu gelangen. Das Modell soll den radialen und axialen Aufbau eines Baumes zeigen. Die im Forschungsprojekt ermittelten Kenngrößen der Faser- und Festigkeitseigenschaften von Fichtenstarkholz und deren Verteilung im Stamm fließen in das Modell ein.</p>
<p>A2 J2 A2</p> <p>Mittelbloch</p>	<p>Das Holz im Außenbereich eines Starkholzstammes ist aufgrund langsam gewachsener Jahresringe qualitativ hochwertig. Im Oberbloch treten jedoch aufgrund von Ästen Faserabweichungen auf.</p> <p>unterteilt in Erdbloch, Mittelbloch und Oberbloch, welche jeweils in radialer juvenilen und einen adulten Bereich untergliedert wurden. Die Bloche waren jeweils wurden die Lamellen für die Prüfung der Festigkeitseigenschaften in Bauteilgröße die Proben zur Bestimmung aller weiterer Parameter gewonnen. Um den Stamm axialen Ausdehnung zu repräsentieren, wurden die Bereiche Erd-, Mittel- und in Abstände getrennt.</p>
<p>A1 J1 A1</p> <p>Unterbloch (Erdbloch)</p>	<p>Der innerste Stammbereich mit 16 cm Durchmesser wurde als juveniler Bereich definiert. Die radiale Grenze zum adulten Holz wurde aufgrund der signifikanten Änderung von spezifischen Parametern gezogen. Das juvenile Holz liegt im Zentrum des Stammes in unmittelbarer Nähe der Markhöhle und ist gekennzeichnet durch Weitlumigkeit und geringe Rohdichte. Weiters zeigt es weite Jahrringe und größere Mikrofibrillenwinkel. Die Ausbildung von juvenilem Holz wird beeinflusst durch die Holzart und die Wuchsbedingungen und erfolgt in den ersten 10-15 Jahrringen.</p>

A = Adultes Holz
J = Juveniles Holz

Abb.94: Zugang Starkholzstamm

→ Beim Anklicken der einzelnen Bereiche öffnet sich eine neue Seite (Ebene 2 – Abbildung 95)

2. Ebene: Stammbereiche

Im Starkholzmodell ist der ausgewählte Bereich optisch hervorgehoben. Die Stammbereiche werden charakterisiert durch:

- Kategoriebezeichnung z. B. A1 , Adultes Holz, Erdbloch
- Charakteristische Eigenschaften des Bereichs
- Vorteile des Starkholzes in dem Bereich
- Übersicht über Eigenschaften – **Datenblatt**

→ Öffnen einer neuen Seite (3. Ebene). Die in den vorangegangenen Arbeitspaketen ermittelten Faser- und Festigkeitseigenschaften sind hier abgebildet.

→ Produkte - Mögliche Anwendungen

Verlinkung der Begriffe zu Zugang Produkte, hier: Fenster und Brettschichtholz



Adultes Holz - Unterbloch

 <p>A = Adultes Holz J = Juveniles Holz</p>	<p>Charakteristische Eigenschaften</p> <ul style="list-style-type: none"> - geringe Jahrringbreite - einheitliche Ausrichtung der Jahrringe - höhere Biege- und Zugfestigkeit - Faserlänge <p>Mögliche Anwendungen der vorteil ist ...</p> <p>Datenblatt: Die Ergebnisse der Datenerhebung sind in Vergleichsfunktion ermöglicht den Vergleich der Eigenschaften Schwachholz.</p> <p>Produkte</p> <p>Fenster: Eine klassische Starkholzanwendung sind Holz Sichtqualität sowie im Brettquerschnitt ein möglichst stetig Jahrringbreite von 2-3 mm sind in diesem Anwendungsbereich.</p> <p>Brettschichtholz: Als hochwertiges Schnittholzerzeugnis Lamellen für die Brettschichtholzerzeugung identifiziert.</p>
--	--

Abb. 95: Ausgewählter Stammbereich A1 - Unterbloch

3. Ebene: Datenblatt

- Übersicht der Daten in Tabellenform: Mittelwerte und Wertebereiche
- Interpretation der Daten - Anmerkung



Stamm Prozesse Produkte			
=> Adultes Holz - Unterblock => Datenblatt			
 Datenblatt: Adultes Holz - Unterblock			
Vergleichen mit anderen Bereichen oder Schwachholz			
Parameter	Einheit	<input type="checkbox"/> Fraktile 25-75% Wertbereich von bis	<input type="checkbox"/> Mittelwert
Strukturelle und physikalische Eigenschaften			
<input type="checkbox"/> Dichte gravimetrisch	[g/cm ³]	0,38 .. 0,47	0,43
<input type="checkbox"/> Jahringbreite	[mm]	1,47 .. 2,97	2,38
<input type="checkbox"/> Spätholzanteil	[%]	16 .. 27	23
<input type="checkbox"/> Drehwuchs	[°]	-3 .. 1	-0,8
<input type="checkbox"/> Faserlänge	[µm]	4660 .. 5615	5064
<input type="checkbox"/> Mikrofibrillenwinkel	[°]	9,6 .. 12,7	11,8
<input type="checkbox"/> Zellwanddicke	[µm]	2,5 .. 3	2,7
<input type="checkbox"/> Zelldurchmesser radial	[µm]	33 .. 36	34
<input type="checkbox"/> Zelldurchmesser tangential	[µm]	31 .. 34	32
<input type="checkbox"/> Coarseness	[µg/m]	438 .. 508	471
Festigkeitseigenschaften			
<input type="checkbox"/> Zugfestigkeit Lamellen in Bauteilgröße	[N/mm ²]	21,06 .. 41,66	32,48
<input type="checkbox"/> Zugfestigkeit kleine fehlerfreie Proben	[N/mm ²]	91,91 .. 142,02	119,69
<input type="checkbox"/> Zug-E-Modul Lamellen in Bauteilgröße	[N/mm ²]	9186 .. 14466	11735
<input type="checkbox"/> Druck-E-Modul kleine fehlerfreie Proben	[N/mm ²]	11795 .. 17572	14625

Abb.96: Datenblatt am Beispiel Adultes Holz - Unterblock

Erklärung Werte:

Beim Anklicken des  Icons neben den Parametern öffnet sich ein Fenster mit der Definition und Erklärung der Parameter und deren Einfluss auf die Verarbeitungsprozesse bzw. Aufzählung der Produkte, bei denen der Parameter relevant ist, z. B. Jahrringbreite.

Jahrringbreite

 <p>Quelle: Institut für Holzforschung, Boku Wien</p>	<p>Definition Ein Jahresring oder Jahrring ist die jährliche, ringförmige Zuwachsschicht eines Baumes. Sie wird von den Bäumen jährlich in der Vegetationsperiode gebildet.</p> <p>Erklärung Jeder Jahrring besteht aus zwei im anatomischen Bau unterschiedlichen Zonen: Frühholz und Spätholz. Bei Nadelhölzern sinkt mit zunehmender Jahrringbreite der Spätholzanteil. Tendenziell nimmt die Jahrringbreite vom Mark bis zur Borke ab. Diese Tendenz kann sowohl von waldbaulichen Maßnahmen (z.B. Freistellung) als auch von Umwelteinflüssen (Nährstoff- und Wasserversorgung, Immissionen,..) überlagert werden.</p> <p>Produkte Brettschichtholz: Für Konstruktionsholz wird zumeist gleichmäßiger Jahrringbau und hoher Spätholzanteil und damit höhere Rohdichte mit entsprechend verbesserten Festigkeitseigenschaften von den Holzanwendern gefordert. Fenster: Eine möglichst fehlerarme Holzstruktur in Sichtqualität mit geringen Jahrringbreiten von 2-3 mm sowie im Brettquerschnitt ein möglichst stehender, gleichmäßiger Jahrringverlauf mit einer Jahrringbreite von 2-3 mm sind in diesem Anwendungsbereich gefordert.</p>
--	---

Abb. 97: Erklärung Werte - Definition der Parameter am Beispiel Jahrringbreite

Die **Vergleichsfunktion** bietet die Möglichkeit des Datenvergleiches zwischen den Bereichen, wobei der Vergleich zwischen adultem und juvenilem Holz einem Vergleich zwischen Stark- und Schwachholz annähernd entspricht. Zusätzlich zum ausgewählten Datenblatt kann die Tabelle eines anderen Bereichs dazu geschaltet werden, um die Werte besser vergleichen zu können. Über die Symbole neben den Faser- und Festigkeitseigenschaften sind **Mouseover** Texte gelegt, um den Vergleich der ausgewählten Parameter mit qualifizierten Erklärungen kommentieren zu können (Beispiel Mikrofibrillenwinkel).

Adultes Holz - Unterbloch				vergleichen mit	
Parameter	Einheit	Fraktilen 25-75% Wertbereich von bis	Mittelwert	<input type="text" value="bitte auswählen..."/> bitte auswählen ...	
Strukturelle und physikalische Eigenschaften					
<input type="checkbox"/> Dichte gravimetrisch	[g/cm ³]	0,38 .. 0,47	0,43		
<input type="checkbox"/> Jahrringbreite	[mm]	1,47 .. 2,97	2,38		
<input type="checkbox"/> Spätholzanteil	[%]	16 .. 27	23		
<input type="checkbox"/> Drehwuchs	[°]	-3 .. 1	-0,8		
<input type="checkbox"/> Faserlänge	[µm]	4660 .. 5615	5064		
<input type="checkbox"/> Mikrofibrillenwinkel	[°]	9,6 .. 12,7	11,8		
<input type="checkbox"/> kein signifikanter Unterschied zw. juvenilem und adultem Holz, im Kronenbereich hoher Asteinfluss. Je (steiler) geringer der Winkel desto höher die Steifigkeit.			2,7		
			34		
			32		
			471		
Festigkeitseigenschaften					
<input type="checkbox"/> Zugfestigkeit Lamellen in Bauteilgröße	[N/mm ²]	21,06 .. 41,66	32,48		
<input type="checkbox"/> Zugfestigkeit kleine fehlerfreie Proben	[N/mm ²]	91,91 .. 142,02	119,69		

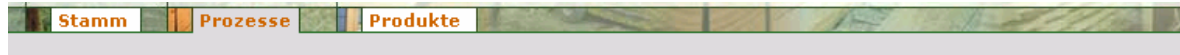
Abb. 98: Vergleichsfunktion der Datenblätter

b) Prozesse

1. Ebene: Übersicht

Übersicht über die Verarbeitungskette von Starkholz

- Vom Sämling zum Rundholz,
- Vom Rundholz zum Halbfertigprodukt und
- Vom Halbfertigprodukt zum Endprodukt.



Prozesse in der Starkholzverarbeitung

	<p>Vom Sämling zum Rundholz Die vorhandenen Altholzvorräte sind das Ergebnis konkreter Waldbau- und Wirtschaftskonzepte, die über Jahrzehnte (jedenfalls seit der zweiten Hälfte des 19. Jhds.) bestimmend für den Forstbetrieb bzw. die österreichische Forstwirtschaft waren und die Produktion von "Starkholz" zum Ziel hatten.</p> <p>Die Forstwirtschaft als Rohstoffproduzent steht am Anfang der Prozesskette und ist Entscheidungsträger über Bestandsentwicklung und Umtriebszeit. Ein wesentliches Kriterium bei der wirtschaftlichen Pflege und Nutzung von Waldbeständen ist das sogenannte Stück-Masse-Gesetz, das - insbesondere bei motormanueller Schlägerung - wesentlichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit von Pflege- und Nutzungseingriffen hat. Die Gründe für die Entscheidung, Starkholz als Produktionsziel festzusetzen waren in der Vergangenheit: das Stück-Masse-Gesetz und der damit verbundene Wertzuwachs durch steigende Stückerträge, sinkende Stückkosten bei zunehmendem Durchmesser und die Dimension z. B. für tragende Elemente im Holzbau.</p>
	<p>Vom Halbfertigprodukt zum Endprodukt Wesentliche Unterschiede in der Verarbeitung von Starkholz treten in den Bereichen Forst und Auftrennung (primary processing) auf. Geht man weiter in der Verarbeitungsstufe (secondary processing), werden die Unterschiede kleiner bis nicht relevant. Bei der Weiterverarbeitung zu veredelten Endprodukten werden daher nur ausgewählte Prozesse dargestellt, die in Zusammenhang mit den Eigenschaften von Starkholz stehen.</p> <p>Starkholzspezialisten leisten bei maximaler Nutzung von Abstimmung der Sortierung und Ausformung mit dem Käufer höchste Wertschöpfung aus Starkholz. Die charakteristischen Eigenschaften von Fichtenstarkholz sind für vielfältige Anwendungen geeignet. Ertragreiche Spezialprodukte aus Starkholz können in größerem Umfang mit geeigneter Technologie produziert werden. Auf die Verarbeitungsprozesse bei der Herstellung von Bretttschichtholz, Fenster und Recyclingpapier wird hier exemplarisch eingegangen.</p>
	<p>Vom Rundholz zum Halbfertigprodukt Sägewerke nehmen eine zentrale Stellung bei der Verarbeitung von Nadelstarkholz ein. Sie erfüllen neben ihre Funktion als erste Verarbeitungsstufe wesentliche Sortierungs-, Verteilungs- und Handelsfunktionen. Neben dem Schneiden von Rundholz gibt es noch andere Auftrennungsverfahren, die entweder dem Schneiden nachgelagert angeordnet sind oder direkt beim Weiterverarbeiter stattfinden (z. B. Zerfasern, Schälen).</p> <p>Aufgrund der Weiterentwicklung der Verarbeitungstechnologien für Schwachholz z. B. Zerspanertechnik und der Entwicklung von Holzwerkstoffen hat sich eine Nachfrageverschiebung von Starkholz zu Schwachholz vollzogen. Gleichzeitig mit dieser Zurückdrängung des Starkholzes sind die Verwendungs- und Absatzmöglichkeiten für Schwachholz gestiegen.</p> <p>Die Heterogenität der Starkholzeigenschaften kann durchaus als Chance betrachtet werden. In Abhängigkeit von Qualität und Jahringlage kann das Schnittbild flexibel und wertoptimiert gestaltet werden. Die charakteristischen</p>

Abb. 99: Übersicht über die Prozesse zur Starkholzverarbeitung

2. Ebene: Prozesse

Transportieren

	<p>Vom Sämling zum Rundholz: Transportieren</p> <p>Die Rückung macht hauptsächlich im Gebirge einen großen Unterschied zu Schwachholz. Steile Hänge und damit eine eingeschränkte Erreichbarkeit der gefällten Stämme erschweren die Holzernte und den Transport. Zusätzliche Maßnahmen müssen getroffen werden um z. B. die Stämme vor dem Abrollen zu schützen und sie mittels Seilkran raufzuziehen, was sich wiederum in höheren Erntekosten niederschlägt.</p> <p>Es sollte eine möglichst rasche Abfuhr des Rundholzes erfolgen, um lange Steh- und Lagerzeiten und Schädlingsbefall zu vermeiden. Gute Kommunikation zwischen den Forstbetrieben, den Transportunternehmen und Verarbeitern sind hier gefragt. Im Gebirge ist die Lagerung aufgrund eingeschränkter Lagermöglichkeiten generell problematisch. Gegebenenfalls ist das Zusammenführen von bestimmten Sortimenten auf Zwischenlagerplätze zielführend bis eine LKW-Ladung voll ist.</p>
---	---

Quelle: Institut für Holzforschung, Boku Wien

Abb. 100: Prozessbeschreibung am Beispiel Transportieren

Die Prozesse der Starkholzverarbeitung wurden an die herkömmliche Holzverarbeitung angelehnt, wobei die Unterschiede zur Schwachholzverarbeitung bei Bedarf aufgezeigt wurden.

- Bei Relevanz Verlinkung zu Produkte, beispielhafte Aufzählung von Starkholzprodukten oder Produktkategorien, bei deren Erzeugung der jeweilige Prozess zur Starkholzverarbeitung zum Tragen kommt.

c) Produkte

- Bestehende Anwendungen von Starkholz
- Mögliche neue Anwendungen

1. Ebene: Kategorien

Stamm	Prozesse	Produkte
<h3>Produktanwendungen für Fichtenstarkholz</h3>		
		<p>Innenausbau</p> <ul style="list-style-type: none"> • Leisten • Türen • Fenster: Eine klassische Starkholzanwendung für hochwertige Ware sind Holzfenster. • Böden und Verkleidungen: Im Innenausbau wird hochwertiges Holz für Böden, Decken- und Wandverkleidungen eingesetzt.
		<p>Konstruktiver Holzbau</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vollholzanwendungen: Schnittholz für tragende Zwecke ohne Verleimung oder Keilzinkung. • Brettschichtholz: Brettschichtholz besteht aus mindestens drei faserparallel miteinander verklebten getrockneten Brettern oder Brettlamellen aus Nadelholz, meist Fichtenholz. • Schalungsplatten, Bepunktung und Wandelemente für den Bau- bzw. Fertighausbereich. • Konstruktionsholz: Getrocknete und festigkeitssortierte Kanthölzer (Konstruktionsvollholz - KVH) und DUO/TRIO-Balken: zwei bzw. drei miteinander verklebte Bohlen/Kanthölzer.
		<p>Möbel</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vollholzmöbel: Im Bereich der Massivholz- und Rustikalmöbel gibt es Marktlücken für Zuschnittelemente in größeren Abmessungen. • Furniermöbel: Furniere sind dünne Blätter aus Holz mit max. 8 mm Dicke. Die verpressten Furnierblätter ermöglichen eine flexible Formgestaltung von Möbeln.
		<p>Holzwerkstoffe</p> <ul style="list-style-type: none"> • Massivholzplatten: Im Massivholzplattenbereich könnte Starkholz aufgrund seiner Festigkeitseigenschaften wieder Marktpotential erlangen. • Furnierschichtholz (Laminated Veneer Lumber, LVL) ist ein aus bis zu 6 mm dicken, miteinander verleimten Fichten- bzw. Kieferschäl furnieren hergestellter stab- oder plattenförmiger Werkstoff.

Abb. 101: Kategorien von ausgewählten Produkthanwendungen


<h3>Recyclingpapier</h3>	
 <p>Quelle: www.umweb.de</p>	<p>Papier : Recyclingpapier</p> <p>Je nachdem, welches Papier erzeugt werden soll, werden unterschiedliche Anforderungen an Altpapier hinsichtlich Sortenreinheit, Verschmutzungsgrad und Anteil von Fremdstoffen an der Qualität des mit dem Altpapierstoffes erzeugten Papiers sein soll, desto höher der Anteil an Altpapierstoffes, und damit des verwendeten Altpapiers, sein. Allerdings wird auch hochwertigem Altpapier nicht mehr die Qualität des Ausgangspapiers erreicht. Durch jedes Recyceln verkürzt, so daß hinsichtlich der Papierwirtschaft kein geschlossenes System erreicht werden kann. Je nach Literatur schwankt die Angabe, wie oft eine Faser recycelt werden kann. Verkürzen vermindert die Festigkeit des damit gewonnenen Papiers.</p>
	<p>Stamm</p> <p>Adultes Holz - Oberblock : Der Außenbereich eines Starkholzstammes (Adultes Holz) hat eine größere Faserlänge als der juvenile Innenbereich. Die Zellstoffqualität wird durch die Länge der Fasern besser verfilzen. Im Oberblock ist die Qualität des Holzes durch die Faserlänge nicht zu erreichen. Für Faseranwendungen wäre dieser Stamm als hochwertiger zu bewerten.</p>
	<p>Prozesse</p> <p>Recyclingpapiererzeugung : Als Folge des immer stärker geschlossenen Recyclings ergibt sich eine Qualitätsverschlechterung des Altpapiers. Die Fasern werden kürzer und weniger widerstandsfähig. Fichtenstarkholz mit seiner hohen Faserlänge könnte hier als wertvolle Ergänzung dienen.</p>

Abb.102: Produktauswahl Recyclingpapier

→ Verlinkung zu Stammbereiche und zu Prozesse

2. Ebene: Verlinkte Prozesse

 Recyclingpapiererzeugung	
 <p>Quelle:</p>	<p>Vom Halbfertigprodukt zum Endprodukt: Recyclingpapiererzeugung Das Aufbereiten von Altpapier, um die Fasern als Rohstoff zur Herstellung von Re grundsätzlich in 4 Stufen unterteilt: Die Zerfaserung, die Vorsortierung und Dickst Feinreinigung und das Eindicken. Hinzu kommt gegebenenfalls das Entfärben (De- dem Altpapierstoffes erzeugten Papieres sein soll, desto höher muß auch die Qua des verwendeten Altpapiers, sein.</p> <p>Allerdings wird auch bei Verwendung von hochwertigem Altpapier nicht mehr die erreicht. Die Zellstoffasern werden bei jedem Recyceln verkürzt, so daß hinsichtli geschlossener Kreislauf erreicht werden kann. Je nach Literatur schwankt die Ang werden kann von 4 bis 8 mal. Dieses Verkürzen vermindert die Festigkeit des dar</p> <p>Um einen höheren Weißegrad des Recyclingpapiers zu erreichen, müssen Farbsto De-Inking-Prozess werden aber auch Faserstoffe mit an die Oberfläche geschwem von Starkholz könnte in diesem Anwendungsbereich als wertvoller Rohstoff zugef</p> <p>Stamm Adultes Holz - Oberbloch : Die im Oberbloch vermehrt auftretenden Äste könn Keilzinken wieder zusammengesetzt werden. Somit können diese Stammbereiche Jahrringstruktur ebenfalls für qualitativ hochwertige Endprodukte.</p> <p>Produkte Recyclingpapier : Die Faserlänge ist für die Papierherstellung und anderen Ver</p>

Abb.103: Link zu Prozess Recyclingpapiererzeugung

→ Verlinkung zu [Stammbereiche](#) und zu [Produkte](#)

! In dieser Ebene besteht die Eintragungsmöglichkeit von Produktideen bzw. von Firmen: Abbildung 104 dient als Beispiel für einen Eintrag eines Starkholzsägers. Dies soll als Plattform für Ideen- und Informationsaustausch zwischen Anbieter und potentiellen Nutzern dienen.


<p>Prozesse Fensterherstellung : Fensterkantel sind entweder 3-schichtig verleimte Blockprofile oder bestehen aus einem Teil = Massivkantel. Aus diesen verleimten Kanteln fräst der Holzfensterhersteller letztlich das Fensterprofil in welches die Dichtungen, Scharniere usw. eingearbeitet werden.</p> <p>Auf dem Markt  Schaffer Sägewerk - Holzexport GmbH : Das Sägewerk Schaffer ist einer der bedeutendsten Nadelstarkholzverarbeiter in Europa und produziert u. a. 3-schichtig verleimte Lamellen aus Fichtenstarkholz für die Fensterproduktion.</p>
--

Abb. 104: Eintragungsmöglichkeit von Hersteller

3. Ebene: Verlinkte Stammbereiche

In dieser Ebene sollen folgende Fragen aufgeworfen und mit den bereits vorhandenen Daten beantwortet werden:

Welche Anforderungen werden von den jeweiligen Branchen bzw. Produkten an den Rohstoff bzw. die Vorprodukte gestellt?

Wie gut kann Starkholz diese erfüllen?

Die Verlinkung von den Produkten bzw. den Verarbeitungsprozessen zu den geeigneten Bereichen eines Starkholzstammes soll hierzu eine Hilfestellung liefern.

Stamm	Prozesse	Produkte
=> Adultes Holz - Oberbloch		
<h2>Adultes Holz - Oberbloch</h2>		
<p>A = Adultes Holz J = Juveniles Holz</p>		<p>Charakteristische Eigenschaften Im Oberbloch ist der Einfluss der Astigkeit auf die Rohdichtebereichen ist feststellbar. Die Festigkeit nimmt vom Erdbloch</p> <p>Mögliche Anwendungen der vorteil ist ...</p> <p>Datenblatt: Die Ergebnisse der Datenerhebung sind in ei ermöglicht den Vergleich der Eigenschaften zwischen den</p> <p>Produkte Fenster: Eine klassische Starkholzanwendung sind Holzfe sowie im Brettquerschnitt ein möglichst stehender, gleich sind in diesem Anwendungsbereich gefordert. Papier: Der Außenbereich eines Starkholzstammes (Adult juvenile Innenbereich. Die Zellstoffqualität wird durch läng Einsatz für hochreißfeste Papiersorten oder als Zusatz für</p>

Abb. 105: Link zu Stammbereich Adultes Holz – Oberbloch

4.4 Schlussfolgerung und Ausblick

Das Konzept der Webanwendung wurde so konzipiert, dass eine inhaltliche und funktionelle Erweiterung möglich ist. Durch die Einbettung in ein Content Managementsystem kann die Webapplikation lebendig gehalten und an laufende Entwicklungen angepasst werden. Die Wartung von Inhalt und Daten ist ohne Programmierkenntnisse oder HTML-Kenntnisse durchführbar.

Die Multilingualität der Webapplikation wurde bereits vorbereitet, da die Starkholzproblematik nicht nur auf den deutschsprachigen Raum beschränkt ist bzw. es reges Interesse an der Thematik aus anderen Ländern gibt. Die Mehrsprachigkeit wäre gemeinsam mit der Berücksichtigung der jeweiligen nationalen Begebenheiten möglich. Auch die Anpassung an andere Starkholzarten z. B. Weißtanne wäre im Hinblick auf das übergeordnete Ziel, die Wertschöpfung von Starkholz anzuheben und die ungenutzten Ressourcen zu aktivieren, sinnvoll.

Die Eintragungsmöglichkeit des dynamischen Websystems für Verarbeiter von Starkholz und Produkten aus Starkholz ist ausbauwürdig. Hier können einerseits Hersteller von traditionellen Produkten aus Starkholz gelistet werden und andererseits kann dies als Plattform für innovative Anwendungen und Verarbeitungstechnologien dienen. Unternehmen wie interessierte Nutzer können von dieser Schiene profitieren, welches als Vermarktungs- wie auch als Informationsmedium genutzt werden kann.

Weiters besteht die Möglichkeit der Schaffung von passwortgeschützten Bereichen für Unternehmen oder Forschungsinstitutionen.

Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen

Erkenntnisse für das Projektteam

Grundsätzlich können die Erkenntnisse in wissenschaftliche und wirtschaftliche Erkenntnisse getrennt werden.

Aus wissenschaftlicher Sicht konnten Daten gewonnen werden, welche bis dato in dieser Form und Vielfalt in Österreich einzigartig sind. Es wurden in etwa 3500 forstliche Daten plus Sortierparameter gewonnen, die TU Graz hat aus 365 untersuchten Lamellen 70.00 Einzeldaten und 3600 Bilddaten eruiert und die BOKU fasste aus 3 Millionen Messwerten etwa 5000 Einzeldaten und 3600 Bilddaten zusammen.

Das vorliegende Projekt hatte den Focus auf der Grundlagenforschung. Dahingehend kann das Projekt als erfolgreich angesehen werden, auch im Hinblick auf die Verfeinerung von spezifischen Methodiken und die Einführung neuartiger Messverfahren. Auch die tatkräftige Unterstützung der Firmen K'ANN und Fa. Umdasch, welche keine Projektpartner waren, bei der maschinellen Sortierung sei hier eigens erwähnt. Die Information über derartig viele Parameter über den Höhen – und Durchmesserlauf liegt erstmals in Österreich auf. Es ist allerdings einzuwenden, dass die vorliegende Datenmenge noch weit mehr Informationsgehalt bietet, als mit den verfügbaren Mitteln und Personalressourcen herauszufinden ist. Im internationalen Vergleich müssen noch weitere Datenvergleiche gemacht werden und weiterführende statistische Auswertungen vorgenommen werden, um auch in Peer Reviewed Journals zu bestehen. Dies ist im Rahmen von wissenschaftlichen Abschlussarbeiten vorgesehen.

Aus wirtschaftlicher Sicht – also aus der Sichte der Partner aus Forstwirtschaft und Industrie – sind die Ergebnisse des Projekts sicherlich nur ein erster Schritt zur Lösung des Starkholzproblems, aber auch jetzt sind schon wichtige Erkenntnisse für die Forstwirtschaft vorhanden, die auch einige Informationen über die Auswirkungen der Bestandesbehandlung und über den Einfluss des Alters auf die Holzparameter hat. Die Industriepartner haben erstmals einen wissenschaftlich fundierten Überblick über das Rohmaterial, welches von Ihnen gewinnbringend verarbeitet und vermarktet werden sollte.

Eine Lösung des Starkholzproblems kann können die Ergebnisse des vorliegenden Projektes nicht bieten, das war aber auch nicht das Ziel. Die Hoffnung, dass bereits in dieser ersten Phase revolutionäre Erkenntnisse gewonnen werden könnten, speziell für die Verwendung von Starkholz von mittlerer Qualität für festigkeitsoptimierte Massivholzprodukte, konnte eindeutig nicht erfüllt werden. Ein wissenschaftlich gutes Fundament für weitere Arbeiten an der Starkholzthematik ist in jedem Fall gelegt und damit wurde die Zielvorgabe erreicht.

Weitere Nutzung der Erkenntnisse

Das Projektteam ist sehr daran interessiert, mit den gewonnenen Ergebnissen in eine Phase der Umsetzung zu treten und konkrete Verarbeitungs- und Produktpläne zu entwickeln. Dabei sollen auch Experten der Zellstoff- und Papierindustrie, der Furnierherstellung und der Verarbeitungstechnologie neu ins Team aufgenommen werden, um konkrete technische Lösungen zu entwickeln. Parallel dazu sollen die Nutzungskonzepte, die bereits auf www.starkholz.at angeführt sind, weiterentwickelt, ausgebaut und einer breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden. Da einige Vertreter des Projektteams bereits an dem Europäischen Projekt COST E 40: „Innovative Utilisation of Large Dimensioned Timber“ mitarbeiten, sollen die Erkenntnisse auf Europäischer Ebene weiterentwickelt werden und mit Wissen von Projektpartnern aus z.B. Frankreich, Deutschland, Schweiz, Polen oder Rumänien kombiniert und weitergeführt werde. Dazu gehört auch eine Internationalisierung der Homepage und eine Anhebung der Inhalte auf Europäisches Niveau.

Relevanz der Ergebnisse für neue Zielgruppen

Wie bereits erwähnt, ist die Verarbeitung von Starkholz zu Massivholzprodukten nach den Erkenntnissen aus dem Projekt nicht die einzige bzw. zukunftsweisendste Option. Auch die Verarbeitung zu Produkten, die den Holzwerkstoffen – angefangen von Sperrholz bis hin zur Faserplatte – angehören und auch noch weiterführen zu Zellstoff und Papier, ist zukunfts-trächtig. Es gibt bereits Interessenten aus der Holzwerkstoff-Industrie, die die langen Fasern des Starkholzes für Ihre Produkte nutzen möchten.

Es soll aber auch nicht unerwähnt bleiben, dass die Holzverarbeitende Industrie Österreichs immer mehr am Rohstoff Starkholz interessiert ist, da die Mengen an Schwachholz, welche derzeit importiert werden, am Markt bald nicht mehr verfügbar sein werden und daher der heimische Rohstoff wieder an Bedeutung gewinnen wird.

Um Starkholz optimal verarbeiten zu können, ist speziell in der primären Verarbeitungsstufe des Auftrennens ebenfalls Interesse an neuen Entwicklungen zu bemerken. Vertreter der Maschinenindustrie wussten sehr lange nichts von den großen Potentialen an Rohstoff in Form von Starkholz und sehen dort eine neuen Markt für spezielle Einschnittlösungen. Auch diese Zielgruppen sollten in neue Projekte eingebunden werden.

Ausblick und Empfehlungen

Rahmenbedingungen für ein Demonstrationsprojekt

Im Bezug auf den wirtschaftlichen Druck, der auf den Forstbetrieben mit großem Starkholz-anteil lastet, ist die Wahrscheinlichkeit sehr hoch, dass sich diese Sparte wieder an einem Projekt mit Umsetzungspotential beteiligt.

Ebenso wird sich die Holzverarbeitende Industrie Österreichs den geänderten Rahmenbedingungen in Hinsicht auf die Verfügbarkeit von Rundholz stellen. Schwachholz, welches zu einem beträchtlichen Anteil aus Importen, insbesondere aus dem Osten, stammt, wird in absehbarer Zeit nicht mehr zur Verfügung stehen, da in den Herkunftsländern selber die Nachfrage gedeckt werden muss. In den benachbarten Regionen Bayern, Baden- Württemberg und der Schweiz werden weitere Hochleistungssägewerke errichtet, welche bereits jetzt mit Rohstoffknappheit kalkulieren müssen – also auch aus diesen Regionen ist keine Belieferung mit Schwachholz mehr zu erwarten. Dass die Durchforstungsrückstände in Bälde auf den Markt kommen, ist nicht realistisch. Also gilt es, den „ungehobenen Schatz“ in Form von Starkholz aus Österreich zu heben. Dessen ist sich die Holzverarbeitende Industrie aller Sparten bewusst, daher stehen die Chancen einer massiven Unterstützung eines Demonstrationsprojektes sehr gut.

Schwierigkeiten und Risiken entstehen dann, wenn mehrere Industriepartner gemeinsam an einem Projekt teilnehmen sollten, da es aus Konkurrenzgründen zu keiner intensiven Zusammenarbeit kommen wird. Daher ist darauf zu achten, wie man mit Geheimhaltungsklauseln und genauen Konsortialverträgen das Vertrauen der Industriepartner erringt und auch beibehält.

Demonstrationsprojekte bedeuten aber auch, dass es in diesem Fall zu erheblichen Kosten kommen wird, da nun Versuche im industriellen Maßstab durchzuführen sind. Inwiefern die Industriepartner bereit sind, auch Barmittel zusätzlich zu Eigenleistungen zu erbringen, ist noch nicht abzusehen. Eindeutig ist aber ein Trend Richtung geringerer Investitionen in Forschung und Entwicklung zu erkennen, da die Firmen – zumeist Klein- und Mittelbetriebe - über keine ausreichende Kapitaldecke verfügen, um auch noch Geld für Dinge bereitzustellen, die schlimmstenfalls niemals zu einem Gewinn führen werden.

Empfehlungen für weiteren Forschungsbedarf

Im Anbetracht der vorhandenen Ergebnisse und der Rahmenbedingungen am internationalen Holzmarkt sind folgende Themenfelder von größter Wichtigkeit:

- Eignung von langen Starkholzfäsern für die Zellstoff- und Papierindustrie
- Eignung von Fichtenstarkholz mittlerer Qualität für die Sperrholzerzeugung
- Anforderungen an moderne Schnittholztechnologien zur automatisierten und effizienten Primärverarbeitung von Starkholz – Wege zum Starkholzprofilerspaner
- Marktwirtschaftliche Rahmenbedingungen für eine verstärkte Nutzung von einheimischen Nadelstarkholz im Anbetracht der sinkenden Verfügbarkeit von Schwachholz
- Betriebswirtschaftliche Auswirkungen einer Umstellung eines Schwachholzbetriebes auf Starkholz
- Anpassung der Sortierparameter in der maschinellen Schnittholzsartierung auf die speziellen Eigenschaften von Starkholz
- Abhängigkeit von forstlicher Behandlung und Standorteigenschaften auf die Starkholzqualität
- Möglichkeiten des Absatzes von Nadelstarkholz auf anderen Märkten in Europa und Übersee

Verwendete Literatur

- Augustin M (1998) Präsentation des FFF- Sortierprojektes 'S13'; Ermittlung der Auswirkungen der neu geregelten Sortiervorschriften für Kantholzquerschnitte für Österreichische Sägebetriebe und Holzbauunternehmen. Beitrag anlässlich der Grazer Holzbaufachtagung 1998 aus der Reihe 'Sortierung und Festigkeit', TU Graz, 14. 10 1998, 30 Seiten
- Augustin M (2002) Produktentwicklung 2Kant- bzw. 3Kant- Balken. Forschungsbericht zum gleichnamigen Projekt, LS 0201, AG Holzbau und Holztechnologie, TU Graz, 8. März 2002, 56 Seiten
- Augustin M (2004) „Eine zusammenfassende Darstellung der Festigkeitssortierung von Schnittholz“ Diplomarbeit, Institut für Holzbau und Holztechnologie, Technische Universität Graz, Graz, 2004
- Aukofer T; Glos P (1999) „Die technologischen Vorteile von Fichten-Starkholz“ Wald und Holz 80 (1999), 11: 23-27
- Aukofler T, Glos P (2000) Die technologischen Vorteile von Fichten-Starkholz. Holzzentralblatt 126(99): 1258, 1260
- Bosshard H.H (1984) Zur Biologie, Physik und Chemie des Holzes. 2., überarb. Auflage, Birkhauser Verlag Basel
- Brosinger F, Rothe A, Pretzsch H, Biber P, Moshhammer R, Mößner R, Mai W (2001) Fichtenstarkholz: einst zu wenig, jetzt zu viel? Holzzentralblatt (3): 1123
- Evans R (1999) A variance approach to the X-ray diffractometric estimation of microfibril angle in wood. Appita Journal. 52(4): 283 –294
- Evans R, Downes G, Menz D.N.J., Stringer S.L. (1995) Rapid measurement of variation in tracheid transverse dimensions in a radiate pine tree. Appita Journal. 48(2): 134
- Fornefeld M, Tschurtschenthaler G, Oefinger R (2004) „Absatzpotenziale für heimische Produkte aus Nadelstarkholz auf den nationalen und internationalen Märkten“ Abschlussbericht, MICUS Management Consulting GmbH, Düsseldorf, 2004
- Fuhrmann W, Dietz H, Teischinger A (1995) Bedürfnisse und Trends für Hack- schnitzelgeometrien der Zellstoff- und Holzwerkstoffindustrie. Holzforschung und Holz- verwertung 47(3): 48 – 51
- Funk M (2001) Die Bedeutung des Starkholzes in der deutschen Sägeindustrie. AFZ-Der Wald 56(22): 1167-1169
- Gindl W (2002) Comparing mechanical properties of normal and compression wood in Norway spruce: The role of lignin in compression parallel to the grain. Holzforschung 56: 395-401
- Gindl W, Teischinger A (2002) The potential of VIS- and NIR-spectroscopy for the non-destructive evaluation of grain-angle in wood. Wood and Fiber Science in print
- Gindl W, Teischinger A, Schwanninger M, Hinterstoisser B (2001) The relationship between near infrared spectra of radial wood surfaces and wood mechanical properties. Journal of Near Infrared Spectroscopy 9: 255-261
- Gindl W, Wimmer R (2000) Relationship between Lignin Content and Tracheid Morphology in Spruce. In: Spatz HC and Speck T (Eds) Plant Biomechanics 2000. Proceedings of the 3rd International Plant Biomechanics Conference in Freiburg. Thieme, Stuttgart. pp 163-168
- Glos P, Aukofer T (2000) „Die technologischen Vorteile von Fichten-Starkholz“ Holz- Zentralblatt 99/2000, S. 1258
- Glück P (2000) „Das Starkholzproblem wird am Markt geregelt“ Österreichische Forstzeitung

- Grabner M (2002) Relationships among wood quality indicators of larch wood grown in Europe. Diploma theses. BOKU-University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna
- Hauffe P (2001) „Weiterentwicklung der automatisierten Rundholzvermessung hinsichtlich der Erfassung und Quantifizierung äußerer und innerer Holzeigenschaften“ Abschlußbericht, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden – Württemberg, Freiburg, 2001
- Kändler G, Mahler G, Wurster M (2003) Fichten- und Tannen-Starkholz in Baden-Württemberg. Holzzentralblatt 129(45): 676-677
- Krenn K, Brandstätter M, Teischinger A (1992) Starkrundholz - Rundholzeigenschaften und Schnittholzqualität. Holzforschung und Holzverwertung, 44: 19-23
- Krošl M (1995) Spiral grain in juvenile wood of Norway Spruce (*Picea abies* Karst.) and Silver Fir (*Abies alba* Mill.). Graduation Thesis, Univerza v Ljubljani
- Müller U, Bammer R, Stollberger R, Halmschlager E, Wimmer R (2001) Detection of fungal wood decay using Magnetic Resonance Imaging. Holz als Roh- und Werkstoff 59, 190-194
- Müller U, Bammer R, Teischinger A (2002) Detection of Incipient Fungal Attack in Wood Using Magnetic Resonance Parameter Mapping. Holzforschung. In print
- Müller U, Joščák T, Teischinger A (2002) Strength loss of dried/re-moistened spruce wood compared to native wet wood. accepted by Holz als Roh- und Werkstoff
- Patzelt M (2000) Über die Eignung von Rundholz als Konstruktionsmaterial. Dissertation an der Universität für Bodenkultur Wien
- Patzelt M, Olbrich R (1998) Influence of knots on bending strength of small diameter roundwood as basis for a simple strength grading model. Proceedings of the 5th World Conference of Timber Engineering, August 17-20 1998, Montreux, Switzerland
- Perstorper M, Kliger R, Johansson G (1995) Quality of timber products from Norway spruce. Wood Science and Technology, 29: 157-170
- Resch H (2003) Cost Action „Forestry and Forest Products“ in: LIGNOVISIONEN Issue 4, Wood Based Materials. Wood Composites and Chemistry, p 53-55. Institut für Holzforschung und VHÖ, Universität für Bodenkultur, Wien, A-1180 Wien, ISSN 1681-2808
- Sandermann W (1997) Die Kulturgeschichte des Papier. 3. und überarb. Auflage, Springer Verlag Heidelberg
- Sauter U, Hehn M, Pfeil C, Herbst P (2004) Verfahren zur Mobilisierung von Nadelstarkholz. Holzzentralblatt 130(46): 613-614
- Scheingruber F.H (1983) Der Jahrring. Verlag Paul Haupt, Bern und Stuttgart
- Schickhofer G (1998) Die Auswirkungen der Rundholzvorsortierung auf die Festigkeit des Kantholzes. Tagungsband zur Präsentation des FFF-Sortierprojektes 'S13', Grazer Holzbaufachtagung 1998 aus der Reihe 'Sortierung und Festigkeit', 14. 10. 1998, 8 Seiten
- Schickhofer G, Augustin M (2000) INTELLIWOOD- Allseitige Erfassung der relevanten Sortiermerkmale für BSH-Lamellen und Darstellung der Zusammenhänge mit den Zugkenngrößen. Beitrag im Rahmen der Grazer Holzbaufachtagung ‚Sortierung und Festigkeit‘, 29. November 2000, 36 Seiten
- Schickhofer G, Spiels H (1998) Optimale Schnittholznutzung - Neue Holzbauprodukte im Einsatz. Tagungsband zum Internationalen Winterseminar für die Sägeindustrie, Herausgeber: Lehrinstitut Rosenheim (LHK), 22 Seiten, 12. bis 15. Jänner 1998
- Schickhofer G (1998) „Die Auswirkungen der Rundholzvorsortierung auf die Festigkeit des Kantholzes“ Grazer Holzbaufachtagung 1998 aus der Reihe Sortierung und Festigkeit, Lehrstuhl für Holzbau, Institut für Stahlbau, Holzbau und Flächentragwerke, Technische Universität Graz, Graz, 1998

- Schickhofer G et.al. (1997) Tagungsband zur „Grazer Holzbaufachtagung 1997“ in der Reihe Sortierung und Festigkeit Lehrstuhl für Holzbau, Institut für Stahlbau, Holzbau und Flächen-tragwerke, Technische Universität Graz, Graz, 1997
- Schindel K (1999) Die Röntgenmikroanalyse von Lignin als Untersuchungsmethode von Holz und Holzwerkstoffen. Dissertation an der Universität Göttingen
- Sekot W (2000) Income from timber: The economics of mountain forestry in Central Europe. In: Price, M.F., Butt, N. (Ed.): Forests in sustainable mountain development: A state of knowledge report for 2000. IUFRO research series No. 5. CABI. Oxon. p 239-247
- Senitza E (1990) „Gibt es ein Starkholzproblem?“ Österreichische Forstzeitung, 4 / 1990, S. 54 – 57
- Senitza E, et. al. (1992) „Zur Starkholzfrage in Österreich – Interdisziplinäre Forschung zum Thema Starkholz – Problemanalyse und Lösungsansätze von der Produktion bis zur End-verarbeitung“ Österreichisches Holzforschungsinstitut, Wien, 1992
- Senitza E (1992) Zur Starkholzfrage in Österreich. Österreichisches Holzforschungsinstitut (heute Holzforschung Austria), Wien. p. 134
- Stefke B, Bruderhofer M, Gindl M, Hogl K, Patzelt M, Reiterer A, Schwarzbauer P, Sinn G, Stingl R, Hinterstoisser B (2000) Modified Spruce Wood: Multidisciplinary approach from the raw material to the needs of the end user. In: Dep. of Forestry, Centre for Science and Engineering of Materials, Australian National University (Ed.): 5th Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium, 157-167, 10-13 December 2000, Canberra, Australia. ISBN 0859 26050 X
- Steiger R (1997) „Sortierung von Rund- und Schnittholz mittels Ultraschall“ Holzforschung und Holzverwertung, Nr. 2 / 1997, S. 28 - 35
- Teischinger A (1992) der Einschnitt von Nadelstarkholz – Stand der Technik. In: Senitza E (Red.) Zur Starkholzfrage in Österreich. Österreichisches Holzforschungsinstitut (heute Holzforschung Austria) Wien, 88 – 95
- Teischinger A (2002) Innovationspotenzial Starkholz. Holzforschung und Holzverwertung 54(2): 34 – 36
- Teischinger A, Vanek M (1992) Erkennung innerer Holzfehler bei Nadelstarkholz. In: Senitza E (Red.) Zur Starkholzfrage in Österreich. Österreichisches Holzforschungsinstitut (heute Holzforschung Austria) Wien, 70 – 87
- Teischinger A (1990) „Gute Qualität ist immer gefragt“ Österreichische Forstzeitung, 4 / 1990, S. 47
- Teischinger A (2002) Innovationspotenzial Starkholz. Holzforschung und Holzverwertung 54(2): 34-36
- Wimmer W (2001) The ECODESIGN Checklist Method: Design assessment and improve-ments. In the handbook: “Mechanical Life Cycle Handbook: Good Environmental Design And Manufacturing” ed. by Hundal M., published by Marcel Dekker, New York, 2001 – ISBN 0-8247-0572-6
- Wimmer W, et.al. (2001) Identification of environmental improvement options with the new ECODESIGN Product. Investigation, Learning and Optimization Tool (PILOT), Proceed-ings of the 13th International Conference on Engineering Design, Glasgow, UK, 21-23 August 2001

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Typische Bäume der Qualität B(links), C (mitte) und C+ (rechts)

Abb. 2: Auftrennungsschema

Abb. 3: Beschriften der Probestämme

Abb. 4: Ultraschallmesspunkte an den Rundholzstämmen

Abb. 5: Erster Einschnitt zum Abtrennen der Seitenware

Abb.6: Modelbeschriftungen und Farbcodes

Abb. 7: Markierte Lamellen für die Prüfungen in Bauteilgröße

Abb. 8: Schematische Funktionsweise eines CT-Scanners und Originalbild eines Stammabschnittes

Abb.9: Übersicht über die Sortieranlage ‚DIMTER Grademaster 403‘

Abb. 10: Farbscanner zum Aufnehmen der Brettoberflächen

Abb.11: Gescannte Brettoberfläche der Probe 46_06

Abb. 12: Ultraschallmessgerät Sylvatest (links) und Konusschallkopf (rechts)

Abb.13: Zugprüfanlage GEZU 850 und Detail der Einspannbacken

Abb. 14: Beschreibung der Hauptbestandteile der Zugprüfanlage GEZU 850 und der Abmessungen der Prüfkongfiguration nach EN 408

Abb. 15: Prüfgestänge und Weggeber zur Bestimmung des Zug-E-Moduls

Abb. 16: Möglichkeit der Messstreckenermittlung

Abb.17: Definition des Astparameters DEB nach ÖNORM DIN 4074-1

Abb.18: Definition des Astparameters DAB nach ÖNORM DIN 4074-1

Abb.19: Zusammenhang zwischen der mittleren Jahringbreite und der Rohdichte

Abb.20: Zusammenhang zwischen der Rohdichte und dem Zug-E-Modul

Abb.21: Zusammenhang zwischen der Rohdichte und der Zugfestigkeit

Abb.22: Zusammenhang zwischen Zug-E-Modul und Zugfestigkeit

Abb.23: Zusammenhang zwischen Zug-E-Modul und dynamischem E-Modul

Abb.24: Zusammenhang zwischen der Ultraschallgeschwindigkeit und dem Zug-E-Modul

Abb.25: Zusammenhang zwischen der Ultraschallgeschwindigkeit und der Zugfestigkeit

Abb.26: Zusammenhang zwischen der Lage im Stamm und der Rohdichte

Abb.27: Zusammenhang zwischen der Lage im Stamm und dem Zug-E-Modul

Abb.28: Zusammenhang zwischen der Lage im Stamm und der Zugfestigkeit

Abb. 29: Zusammenhang zwischen der Lage im Stamm und dem Astparameter DEB

Abb. 30: Zusammenhang zwischen der Lage im Stamm und dem Astparameter DAB

Abb.31: Verlauf der Rohdichte über die Stammhöhe

Abb.32: Verlauf des Zug-E-Moduls über die Stammhöhe

Abb. 33: Verlauf der Zugfestigkeit über die Stammhöhe

Abb. 34: Verlauf des Astparameters DEB über die Stammhöhe

Abb. 35: Verlauf des Astparameters DAB über die Stammhöhe

Abb. 36: Auftrennung der Modelabschnitte in einzelne Probenbereiche

Abb.37: Einteilung des Probenmaterials für die Festigkeitsprüfung

Abb.38: Messstrecke und Ausschnitt einer Jahrringbreitenmessung

Abb. 39: Stereometrische Dichtemessung - Probengeometrie

Abb. 40: Röntgen-Dichte-Messung Probengeometrie

Abb. 41:- Stereometrische Dichtemessung

Abb. 42: Messung der Dichte mit Hilfe eines Röntgen-Messgerätes

Abb. 43: Dichteprofil mit Röntgen-Dichtemessgerät ermittelt (oben, blau); Dichteproben im Abstand von 4 cm (unten, grün)

Abb. 44: Probe mit Blick auf die Spaltfläche (rechts) und die dazugehörige Messung des Drehwuchses (Marknähe: 2,5° Links-Drehwuchs; Kambiumnähe bzw. Rindennähe: 4° Rechts-Drehwuchs)

Abb. 45: Messanordnung zur Drehwuchsmessung

Abb. 46: Festlegung des Winkels

Abb. 47: Herauspräparieren von Früh- und Spätholz

Abb. 48: Abbildung der einzelnen Fasern mit eingeblendetem Linien-Polygon-Zug (rot)

Abb.49: Schematische Darstellung des Meßprinzips des Silviscan-Gerätes

Abb. 50 - SilviScan® Messaufbau

Abb. 51: FT-IR Spektrometer Equinox 55 (links) der Firma Bruker mit einer Faseroptiksonde (rechts) für das nahe Infrarot

Abb. 52: Ausschnitt (Wellenzahlbereich 6060 - 5900 cm^{-1}) der Spektren der Probe 41 und der Minimumwert bei der Wellenzahl ca. 5980 cm^{-1}

- Abb. 53: Probe 41 mit geschätztem Ligningehalt
- Abb. 54: Universalprüfmaschine mit eingespannter Druckprobe
- Abb. 55 -Schubproben mit angeklebten Buchenanleimern
- Abb. 56: Proben mit Einspannvorrichtung
- Abb. 57: Universalprüfmaschine mit eingespannter Scherprobe
- Abb. 58: Zugprobe mit Kiefernholzfurnierverstärkung
- Abb. 59: Universalprüfmaschine mit eingespannter Zugprobe
- Abb. 60: Schematische Darstellung eines Baummodells (hier ein Dichtemodell)
- Abb. 61: Verlauf der Jahrringbreite über den Stamm
- Abb. 62: Jahrringbreite in den verschiedenen Herkunftsgebieten und Höhenlagen
- Abb. 63: Verlauf des Spätholzanteils am Stamm
- Abb. 64: Verlauf der Dichte entlang des Stammes
- Abb. 65: Verteilung des mittleren Drehwuchses über den Stamm
- Abb. 66: Verteilung der mittleren Faserlänge (ebenfalls gemittelt aus Frühholz und Spätholz) über den Stamm
- Abb. 67: Verteilung der mittleren Faserlänge von Frühholztracheiden
- Abb. 68.: Mikrofibrillenwinkel-Verteilung über den Stamm
- Abb. 69: Mittlerer Mikrofibrillenwinkel bezogen auf juveniles und adultes Holz in verschiedenen Stammabschnitten
- Abb.70: Verlauf der Zellwandstärke über den Stamm
- Abb. 71: Verlauf der Fibre Coarseness über den Stamm
- Abb. 72: Mittlere Fibre Coarseness in verschiedenen Lagen und Höhenstufen
- Abb.73: Ligningehalt in verschiedenen Höhenstufen
- Abb. 74: Verlauf der Druckfestigkeit an kleinen fehlerfreien Proben über den Stamm
- Abb. 75: Verlauf der Zugfestigkeit über den Stamm
- Abb. 76: Scherfestigkeit im Verlauf des Stammes
- Abb. 77: Segmentiertes Starkholzmodell – visueller Prototyp
- Abb. 78: Stammdatenblatt eines ausgewählten Bereichs
- Abb. 79: Verarbeitungsprozesse entlang des Produktlebens

- Abb. 80: Produktanwendung und Lage der entsprechenden Qualität im Stamm
- Abb. 81: Einstiegsseite mit den Zugängen Stamm, Prozesse und Anwendungen
- Abb.82: Modell Starkholzstamm
- Abb. 83: Ausgewählter Stammbereich A1
- Abb. 84: Datenblatt
- Abb. 85: Erklärung Werte - Definition der Parameter am Beispiel Drehwuchs
- Abb. 86: Vergleichsfunktion
- Abb. 87: Graph – Übersicht über Prozesse
- Abb. 88: Prozessbeschreibung
- Abb. 89: Verarbeitungskette von Starkholz
- Abb. 90: Kategorien
- Abb.91: Kategorie Innenausbau
- Abb. 92: Ausgewählte Produkte und ihre Anforderungen an den Rohstoff
- Abb. 93: Startseite Endversion www.starkholz.at mit Mouseover „Prozesse“
- Abb.94: Zugang Starkholzstamm
- Abb. 95: Ausgewählter Stammbereich A1 - Unterbloch
- Abb.96: Datenblatt am Beispiel Adultes Holz - Unterbloch
- Abb. 97: Erklärung Werte - Definition der Parameter am Beispiel Jahrringbreite
- Abb. 98: Vergleichsfunktion der Datenblätter
- Abb. 99: Übersicht über die Prozesse zur Starkholzverarbeitung
- Abb. 100: Prozessbeschreibung am Beispiel Transportieren
- Abb. 101: Kategorien von ausgewählten Produktanwendungen
- Abb.102: Produktauswahl Recyclingpapier
- Abb.103: Link zu Prozess Recyclingpapiererzeugung
- Abb. 104: Eintragungsmöglichkeit von Hersteller
- Abb. 105: Link zu Stammbereich Adultes Holz – Oberbloch

Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1: Ergebnisse der Ultraschallmessung an den Rundholzproben
- Tabelle 2: Blochnummer und zugehöriger Farbcode, die Region und die Höhenstufe
- Tabelle 3: Darstellung der Ausbeuteverhältnisse der einzelnen Festigkeitsklassen
- Tabelle 4: Rohdichte ρ_{12} in kg/m^3
- Tabelle 5: Zug-E-Modul in N/mm^2
- Tabelle 6: Zugfestigkeit $f_{t,0,i}$ in N/mm^2
- Tabelle 7: Mittlere Jahrringbreite
- Tabelle 8: Astparameter DEB – DIN Einzelast
- Tabelle 9: Astparameter DAB – DIN Astansammlung
- Tabelle 10: Ultraschallgeschwindigkeit $v_{12/20}$ in m/s
- Tabelle 11: Dynamischer E-Modul E_{dyn} in N/mm^2
- Tabelle 12: Ausbeuteverhältnisse Grademaster 403 (ohne Gewichtung - Einschnittbild)
- Tabelle 13: Ausbeuteverhältnisse EuroGreComat 704 (ohne Gewichtung - Einschnittbild)
- Tabelle 14: Ausbeuten Ultraschallgeschwindigkeit (ohne Gewichtung – Einschnittbild)
- Tabelle 15: Ergebnisse der mechanischen Kenngrößen bei maschineller Sortierungen
- Tabelle 16: Soll - Werte nach EN 338:2002
- Tabelle 17: Vergleich der Ausbeuten bei einer Rundholzvorsortierung
- Tabelle 18: Mechanische Kenngrößen für das Schnittholz bei einer Rundholzvorsortierung mit den vorgeschlagenen Werten
- Tabelle 19: Mechanische Kenngrößen für das Schnittholz unter Berücksichtigung einer Ultraschallvorsortierung am Rundholz und der Lage im Stamm
- Tabelle 20: Mechanische Kenngrößen für das Schnittholz unter Berücksichtigung einer Ultraschallvorsortierung am Rundholz und der Lage im Stamm
- Tabelle 21: Mittlere Jahrringbreite der untersuchten Bloche
- Tabelle 22: Mittelwerte der Dichte der untersuchten Stämme
- Tabelle 23: Mittlerer Drehwuchs der Versuchsstämme
- Tabelle 24: Faserlänge der Frühholztracheiden
- Tabelle 25: Fibre Coarseness
- Tabelle 26: Ligningehalt