

**Erstellung eines Forschungsantrages
zur Potentialanalyse von
Tracheiden der Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.)
in Abhängigkeit vom Baumalter**

Diplomarbeit

verfaßt von

Gernot Stefan

eingereicht bei

Univ. Prof. DI Dr. Alfred Teischinger

am Institut für Holzforschung

Department für Materialwissenschaften und Prozesstechnik

der Universität für Bodenkultur

mitbetreut von

Univ. Ass. DI Dr. Christoph Buksnowitz

am Institut für Holzforschung

Department für Materialwissenschaften und Prozesstechnik

der Universität für Bodenkultur

Wien im Juni 2007

Zusammenfassung

Aus einem Forschungsprojekt zur grundlegenden Materialcharakterisierung von Starkholz aus Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) und dem Stand des Wissens aus der Literatur wird ein weiterer Forschungsbedarf bezüglich der Auswirkungen der variierenden Fasereigenschaften für die Papierindustrie abgeleitet. In Form eines Projektantrages wird beispielhaft ein Konzept für die Potentialanalyse von Fichtenfasern (Tracheiden) in Abhängigkeit vom Baumalter für die Herstellung von Spezialpapieren erstellt. Entsprechend den strukturellen Formvorschriften für den Forschungsantrag wird das Forschungsvorhaben hinsichtlich der Probenvorbereitung, der Methodik, der Arbeitspakete zur Versuchsdurchführung sowie der Datenanalyse und Ergebnisauswertung realitätsnahe strukturiert. Vorversuche zeigen den starken Einfluß der Zellmorphologie der Tracheiden auf die Eigenschaften der daraus gewonnenen Zellstoffe und Papiere. Darauf basierend wird ein Ausblick auf die mögliche Implementierung der Ergebnisse, den potentiellen Einfluß auf die Märkte sowie die Restriktionen und Risiken des Forschungsvorhabens gegeben.

Schlagworte:

Fichte, *Picea abies*; Tracheide, adult, juvenil, Fasereigenschaften, Zellstoff, Papier, Zellmorphologie

Abstract

Preliminary results from a study aiming at the basic material characterisation of large diameter spruce wood (*Picea abies* (L.) Karst.) and the state of the Art were used to derive further research needs to determine the effect of varying fibre properties on the paper industry. A concept for a research proposal, meant to be submitted to a research funding organisation was developed. The proposal focuses on assessing the potential of spruce tracheids for the production of specific types of paper depending on the tree age. According to the forms of the funding agency the research project was structured into sample preparation, methodology, working packages for the experiments as well as data analysis. Preceding tests revealed a potentially high influence of the cell morphology of the tracheids on pulp and paper properties. Based on this, perspectives for the implementation of possible results and the impact on the markets were given. The restrictions and risks of the research project were evaluated.

Keywords:

Spruce, *Picea abies*, tracheid, mature, juvenile, fibre properties, pulp, paper, cell morphology

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Stand des Wissens	5
1.1	Definition Starkholz	6
1.2	Forschungsförderung	8
1.2.1	Forschungsförderungslandschaft in Österreich	8
1.2.2	Beweggründe für die Auswahl der Förderlinie in diesem Projekt	13
1.3.	Papierspezifische Forschungsergebnisse zu Faserparametern bei Fichte	15
1.4	Methodik der Charakterisierung in der Papierindustrie	17
1.4.1	Prüfung der Zellstoffsuspension	18
1.4.2	Prüfung der Laborblätter	21
1.5	Methodik der Charakterisierung bei den Rohstoffproduzenten	24
1.5.1	Silviscan®	24
2	Motivation und Zielsetzung	27
2.1	Ausgangssituationen Starkholzproblem	27
2.2	XXL Wood Projekt	27
2.3	Projektziele und Forschungshypothese	29
3	Material	30
4	Methode	33
4.1	Experimentelle Methodik	33
4.2	Formale Methodik	34
5	Projektantrag zu „Nutzung nachwachsender Rohstoffe und biogener Reststoffe aus Verarbeitungsprozessen“ als „wirtschaftsbezogene Grundlagenstudie“ der Programmlinie Fabrik der Zukunft	39
6	Diskussion und Schlussfolgerungen	71
	Literaturverzeichnis	74
	Normen	79
	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	80
	Abbildung- und Tabellenverzeichnis Kapitel 6 (Forschungsantrag)	82

1 Einleitung und Stand des Wissens

Holz ist der tragende Rohstoff der Zellstoff- und Papierindustrie. Papier besteht abgesehen von geringen Mengen an Zusatzstoffen (z. B.: Kaolin) primär aus den Tracheiden des Nadelholzes und den Libriformfasern des Laubholzes. Es gibt zwei Prozesse der Zellstoffherstellung, den Mechanischen und den Chemischen. Welche Technik auch zum Einsatz kommt, die Fasermorphologie spielt die Hauptrolle in der Zellstoffqualität (Lecourt 2005).

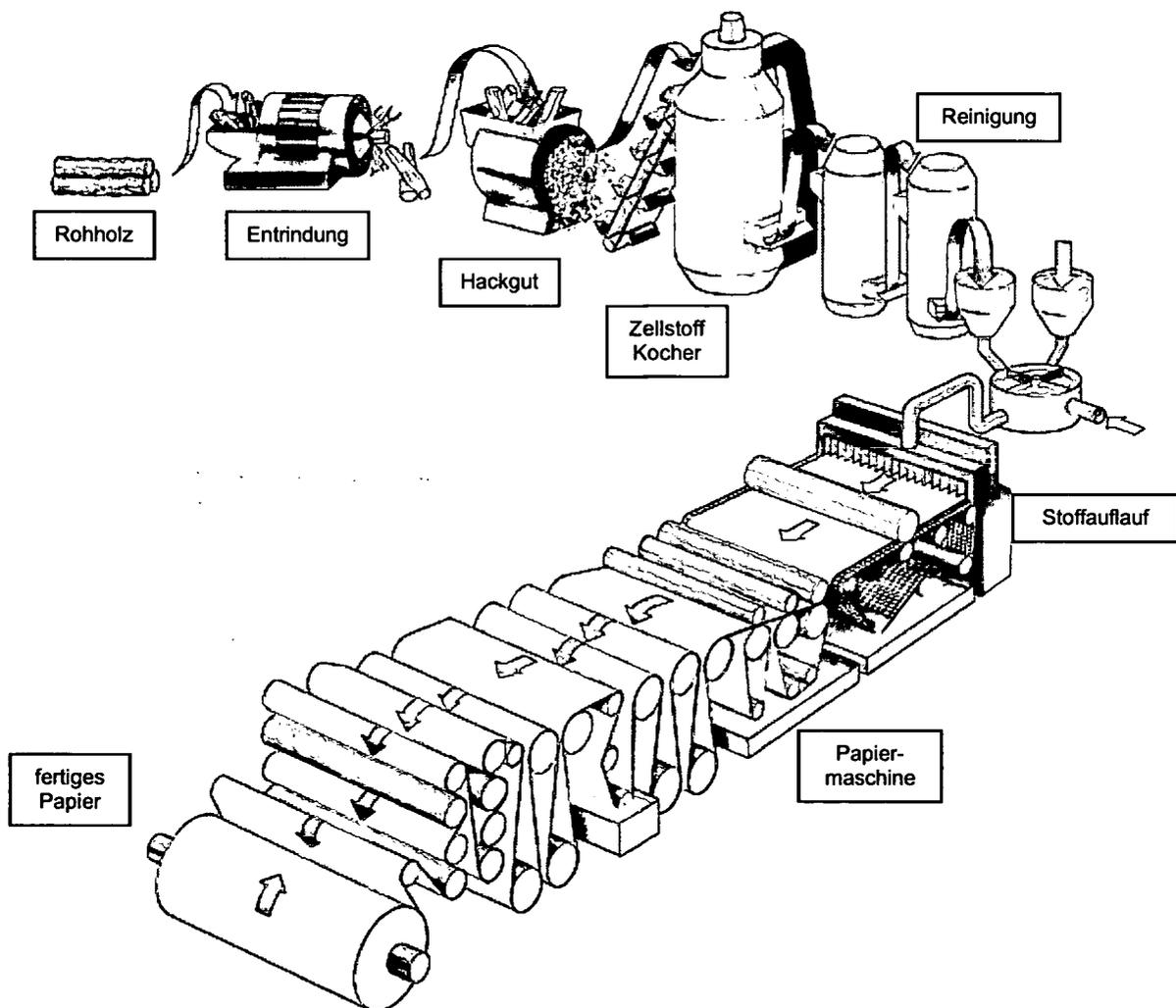


Abb. 1: Vereinfachte Darstellung der Papierproduktion (aus Oxford Illustrated Science Encyclopaedia)

Nadelstarkholz (Brusthöhendurchmesser am stehenden Baum > 40 cm) (Teischinger und Patzelt 2006) als Rohstoff für die Zellstoff- und Papierindustrie bzw. die Nebenprodukte aus der Schnittholzproduktion aus diesem Sortiment, werden zur Zeit nur beigemengt zu Hackschnitzel aus juvenilem Holz.

Im Altersverlauf bildet das Kambium von Gymnospermen wie z. B. der Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) unterschiedliche Tracheiden. In der Folge bezieht sich der Begriff Faser immer auf die von der Fichte zu 96 % produzierten Tracheiden. Bis zu einem Baumalter von 10 Jahren spricht man von juvenilem Holz nach (Cown 1992). Die Zellstoff- und Papierindustrie bezieht ihren Rohstoff hauptsächlich aus Durchforstungsholz, das dieser juvenilen Alterstufe entspricht. Adultes Holz wird dem Herstellungsprozeß von Zellstoff ohne weitere Differenzierung in Form von Sägenebenprodukten beigemischt. Forschungsergebnisse (Teischinger 2002) haben gezeigt, dass adultes Holz der Fichte, potentiell Unterschiede hinsichtlich der Faserlängen, Zelldurchmesser, Zellwandstärken etc. aufweist.

In der Papier- und Zellstoffforschung wurde bereits mehrfach auf die, vom Alter abhängigen, unterschiedlichen Fasereigenschaften von adultem und juvenilem Holz und deren möglichen Potential eingegangen. Bisher wird jedoch nur eine Mischung aus allen Faserlängen genutzt. Beziehungsweise haben sogenannte „Langfaserzellstoffe“ einen erhöhten Anteil an längeren Faser, jedoch sind diese aus dem ganzen Stamm gewonnen (Grefermann 1988). Erfahrungswerte sind für die Mischungsverhältnisse entscheidend. Ein hochwertiger Zellstoff aus Holz mit sehr hohem Langfaseranteil und einer geringen Streuung in der Längenverteilung steht der Industrie derzeit nicht zur Verfügung. Solche Zellstoffe könnten durch partielle Nutzung der Starkholzbloche erzielt werden.

Voraussetzung für einen zielgerichteten Einsatz zur Verbesserung der Qualität bzw. zur Schaffung neuer Papiersorten ist eine Potentialanalyse des Zellstoffes aus Starkholz im Vergleich zu „Standardzellstoff“.

1.1 Definition Starkholz

Es besteht keine einheitliche Definition, ab welchem Stammdurchmesser Fichten zu Starkholz zu zählen sind. Je nach Verwendungszweck, Region, Produzent und Weiterverarbeiter wird der Begriff „Starkholz“ ganz unterschiedlich definiert.

Im Rahmen eines Projektes des Bundesministeriums für Bildung und Forschung - Forschungsverbund Starkholz der Bundesrepublik Deutschland über das Wertschöpfungspotentials von Nadel- und Laubstarkholz konnte man sich auf folgende Definition einigen:

„Beim stehenden Vorrat werden Bäume mit einem Brusthöhendurchmesser (Bhd) von mehr als 49 cm zum Starkholz gezählt. Bei bereits geernteten Stämmen wird ein Mindestdurchmesser von 40 cm als Mindestmaß für Starkholz angesehen.“

Als Beispiel einer Sägewerksdefinition von Starkholz ist jene der Arbeitsgemeinschaft Starkholz Salzburg zu nennen, ein Zusammenschluß von zwölf Sägewerken.

„Starkholz ab einem Mitteldurchmesser von 40 cm.“

Professor Dr. Ebert definiert Starkholz mit Stammdurchmesser ab 50 cm wobei auch betont wird, dass jeder Bereich seine eigene Definition zu haben scheint.

Die Schweizer Arbeitsgruppe „Starkholz“ die sich mit den „Perspektiven der Starkholznutzung in der Schweiz“ beschäftigt, hat Fichtenstarkholz wie folgt definiert:

*„Rundholz (geernteter Baum) mit einem Durchmesser von ≥ 45 cm;
Stehende Bäume mit einem Brusthöhendurchmesser von ≥ 52 cm“*

Das Schweizerische Landesforstinventar definiert Starkholz als Bäumen mit einem Brusthöhendurchmesser von über 50 cm.

Professor Spörk, emeritierter Professor des Instituts für Waldbau, Boku definiert Starkholz mit BHD > 50 cm.

Im Zuge des XXL Wood Projekts des Holzforschungsinstituts der Universität für Bodenkultur wurde aufgrund der Zerspannertechnologie die Grenze für die Betrachtung von Nadelstarkholz bei 40 cm gezogen. Danach ist eine Bearbeitung mit Bandsäge nötig.

Tab. 1: Übersicht unterschiedlicher Starkholzdefinitionen im deutschsprachigen Raum

Land	Institution / Autor	Brusthöhendurchmesser ab dem Starkholz beginnt
BRD	BM f. Bildung u Forschung, Forschungsverbund Starkholz	stehend > 49 cm geerntet > 40 cm
Österreich	Arge Starkholz, Salzburg	≥ 40 cm
Schweiz	Arge „Starkholz“	stehend ≥ 52 cm geerntet ≥ 45 cm
Schweiz	Landesforstinventar	> 50 cm
Österreich	Inst. f. Waldbau, Univ. f. Bodenkultur	> 50 cm
Österreich	Inst. f. Holzforschung, Univ. f. Bodenkultur, XXL Wood-Projekt	> 40 cm

Da in dieser Diplomarbeit auf die Daten und Ergebnisse des XXL Wood Projektes des Holzforschungsinstitutes aufgebaut wird, wird im Weiteren in dem vorliegenden Projekt ab einem Brusthöhendurchmesser von 40 cm von Starkholz gesprochen.

1.2 Forschungsförderung

1.2.1 *Forschungsförderungslandschaft in Österreich*

Die Forschungsförderung für anwendungsorientierte Forschung in Österreich wird einerseits von Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie und seit dem Beitritt Österreichs zur Europäischen Union vor allem auch von Programmen der Europäischen Kommission getragen.

Die Abwicklung der Formalitäten geschieht über die österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG). Es können nahezu alle Arten der Forschung gefördert werden. Jedes Programm unterscheidet sich im Kreis der Antragsberechtigten, im Anteil der Förderung an den Gesamtprojektkosten, im Anspruch auf die Verwertungsrechte und in der verpflichtenden Kooperation mit Wissenschaft- und Wirtschaftspartnern. Grundvoraussetzung für eine Förderung ist eine formal korrekte Antragstellung, die meist über einen vorgegeben Fragenkatalog abgewickelt wird.

Parallel dazu gibt es noch Einzelinitiativen so zum Beispiel der Österreichischen Nationalbank. Zuschüsse der Bundesländer zu den ausgeschriebenen Projekten sind üblich.

Die Grundlagenforschung wird primär durch den Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF) und dem Budget der Universitäten getragen.

Es folgt eine Zusammenfassung der Informationen aus dem Internet die entsprechenden Heimseiten sind in den Fußnoten vermerkt.

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG) ¹⁾

Die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH ist die zentrale Institution des Bundes zur Förderung von Forschung, Technologie und Innovation im Bereich der anwendungsorientierten Forschung in Österreich. Es werden Forschungs- und Entwicklungsprojekte österreichischer Unternehmen und Institute mit einer breiten Palette an Förderungen und Dienstleistungen unterstützt. Gefördert werden eine Kooperation von Wissenschaft und Wirtschaft und die Verwertung von Forschungsergebnissen (FFG). Förderungen durch die FFG sind in folgenden Programmen möglich:

Basisprogramme

Die Basisförderung der FFG fördert wirtschaftlich verwertbare Forschungsprojekte von Unternehmen, Forschungsinstituten, Einzelforschern und Erfindern. Die Basisförderung der FFG ist antragsorientiert und daher weder an bestimmte Forschungsthemen noch an Ausschreibungstermine gebunden. In der Regel werden 50 % der Projektkosten in einem Mix aus Zuschuss und Darlehen (bei großen Projekten auch Haftungen) finanziert. In den meisten Bundesländern erfolgt noch eine Aufstockung der Förderung durch Landesmittel. Gefördert werden eigene Personalkosten, Investitionen in Forschungseinrichtungen sowie sonstige Kosten (Leistungen Dritter, Materialkosten, Reisekosten, Patentanmeldekosten)

Strukturprogramme

Die Strukturprogramme der FFG unterstützen die Vernetzung von Unternehmen, Hochschulen, Forschungsinstituten und Transfereinrichtungen.

1) <http://www.ffg.at/content.php>

Thematische Programme

Die Thematischen Programme der FFG verfolgen das Ziel, ausgewählte nationale Themenschwerpunkte zu forcieren. Dadurch soll erreicht werden, dass in Themen von besonderer strategischer Bedeutung für Wirtschaft und Technologieentwicklung mehr Forschungsvorhaben durchgeführt werden, um eine kritische Masse in diesen Feldern zu erreichen.

Fabrik der Zukunft

Die Programmlinie "Fabrik der Zukunft" hat das Ziel, innerhalb der nächsten fünf Jahre zu richtungsweisenden Demonstrations- und Pilotprojekten im Bereich nachhaltiger Technologieentwicklung zu kommen. Beispiele können innovative Produktionsprozesse, zukunftsweisende Produktbeispiele oder Betriebe sein.

Eine "Fabrik der Zukunft" wird darauf ausgerichtet sein, mit einem Minimum an Ressourcenverbrauch und Umweltbelastung ein Maximum an Nutzen zu erzeugen. Die angestrebten Innovationssprünge sollen in folgenden Bereichen stattfinden: Technologie und Innovationen bei Produktionsprozessen, Nutzung nachwachsender Rohstoffe und Produkte und Dienstleistungen.

Als Ergebnis sollen in Beispielfirmen konkrete und beispielhafte Prozesse und Produkte entstehen, die den Leitprinzipien Nachhaltiger Technologieentwicklung entsprechen. Damit sollen Beispiele geschaffen werden, die Unternehmen als Vorbild dienen können, ähnliche Wege des Nachhaltigen Wirtschaftens zu gehen und dabei Chancen zur Erreichung von innovativen Technologiesprüngen mit hohem Marktpotential zu ergreifen.

Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung -

Der Wissenschaftsfonds (FWF) ²⁾

Der Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (kurz: Der Wissenschaftsfonds) ist Österreichs zentrale Einrichtung zur Förderung der Grundlagenforschung. Er ist allen Wissenschaften in gleicher Weise verpflichtet und orientiert sich in seiner Tätigkeit ausschließlich an den Maßstäben der internationalen Scientific Community

Der Fond zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung, kurz FWF, stellt die Förderung von Einzelprojekten in Aussicht. Hier ist eine sehr hohe Individualisierung möglich. Eingereicht werden können zeitlich begrenzte Projekte auf dem

2) <http://www.fwf.ac.at/>

Gebiet der nicht auf Gewinn ausgerichteten wissenschaftlichen Forschung. Weder akademischer Grad noch österreichische Staatsbürgerschaft ist Voraussetzung, das Projekt muß jedoch in Österreich oder in Verantwortung einer österreichischen Forschungsstätte durchgeführt werden.

Es können hinsichtlich der Ziele und der Methodik genau beschriebene, zeitlich begrenzte Projekte (max. 36 Monate) auf dem Gebiet der nicht auf Gewinn gerichteten Forschung beantragt werden.

Der Nachteil ist, daß nur „projektspezifische Kosten“, das sind Personal- und Sachmittel, die zur Durchführung des Projektes benötigt werden, beantragt werden können. „Infrastruktur“ und „Grundausstattung“ einer Forschungsstätte wird nicht finanziert.

Brücken zwischen Grundlagen und angewandter Forschung

Das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie hat zur Schließung der „Förderlücke“ zwischen Grundlagenforschung und angewandter Forschung zwei Förderprogramme unter einem gemeinsamen Dach, genannt „Bridge“ geschaffen.

Das „Brückenschlagprogramm“ wird von der Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) durchgeführt und das „Translation Research“ Programm wird vom Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF) abgewickelt.

Es werden Projekte mit überwiegendem Grundlagenforschungscharakter gefördert, die bereits ein realistisches Verwertungspotenzial erkennen lassen, sodass eine oder mehrere Firmen bereit sind, das Projekt mitzufinanzieren bzw. begleitend auch am Projekt teilzunehmen. Die Förderung bezieht sich auf Einzelprojekte, und ist offen für alle Forschungsthemen.

Innerhalb des Programms BRIDGE werden 2 Förderschielen (Brücke 1 und Brücke 2) angeboten, die sich durch den Grundlagenforschungsanteil und durch die Förderintensität unterscheiden:

Brücke 1

Der Schwerpunkt der Projektkosten (mindestens 80 %) liegt beim Forschungsinstitut bzw. beim Forscher. Die Unternehmen als mögliche Umsetzer der Ergebnisse beteiligen sich finanziell und durch Bereitstellung von Sach- und Arbeitsleistungen (maximal 20 %) am Vorhaben. Maximale Förderhöhe: 75 %

Brücke 2

Ein wesentlicher Teil der Projektarbeiten liegt nach wie vor beim wissenschaftlichen Partner (mind. 30 %). Die Unternehmen sind jedoch durch eigene Sach- und Arbeitsleistungen in höherem Ausmaß in das Projekt eingebunden. Maximale Förderhöhe: 60 %.

Antragsteller können Forschungsinstitute, Firmen oder auch Einzelforscher sein. Das Konsortium muss aus mindestens zwei Partnern (1 Wissenschaft, 1 Wirtschaft) bestehen.

K_{plus}- und K_{ind}-Zentren (COMET) sowie CD-Labors sind prinzipiell antragsberechtigt, es muss sich bei dem Projekt allerdings um ein neues Thema der Grundlagenforschung handeln (die Abgrenzung zum bestehenden Forschungsprogramm ist entsprechend nachzuweisen); auch sollte es sich um Firmen handeln, die nicht bereits in das Kompetenzzentrum integriert sind. Die Qualifikation auf dem Gebiet der wissenschaftlichen Forschung und zur projektspezifischen Grundlagenforschung muss nachgewiesen werden. FWF-geförderte einschlägige Vorprojekte sind anzugeben.

7. Rahmenprogramm für Forschung technologische Entwicklung und Demonstration 2007-2013 der Europäischen Kommission ³⁾

Aktuell (2007) sind Projektanträge zum 7. Forschungsrahmenprogramm der EU möglich. Es werden durch diese Programm nahezu alle Bereiche der europäischen Forschung abgedeckt. Übergeordnetes Ziel ist die Stärkung wissenschaftlicher und technologischer Grundlagen der Industrie der Gemeinschaft und die Förderung ihrer internationalen Wettbewerbsfähigkeit. Es handelt sich beim 7. Rahmenprogramm um das größte trans-nationale Forschungsprogramm weltweit mit einem Gesamtbudget von 54 Milliarden Euro. Die Abwicklung der Anträge geschieht in Österreich über die österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG).

Grundsätzliche Voraussetzung ist ein länderübergreifendes Projektteam, das sich aus Unternehmen, Universitäten, außeruniversitären Forschungseinrichtungen, Vereinen, öffentliche Körperschaften, Privatpersonen zusammensetzen kann. Es sind jedoch auch Einzelprojekte möglich

Das Rahmenprogramm ist in 4 spezifische Programme gegliedert:

- Zusammenarbeit: „Kooperation“ aller Arten von Forschungsaktivitäten, 10 Themenbereiche – thematische Prioritäten

3) <http://rp7.ffg.at/RP7.aspx>

- Ideen: Projekte der Grundlagenforschung (neues Element in der RP)
- Menschen: Förderung von Humanressourcen, internationale Mobilität von Wissenschaftlern
- Kapazitäten: Forschungs- und Innovationskapazität Europas verbessern und optimal nutzen.

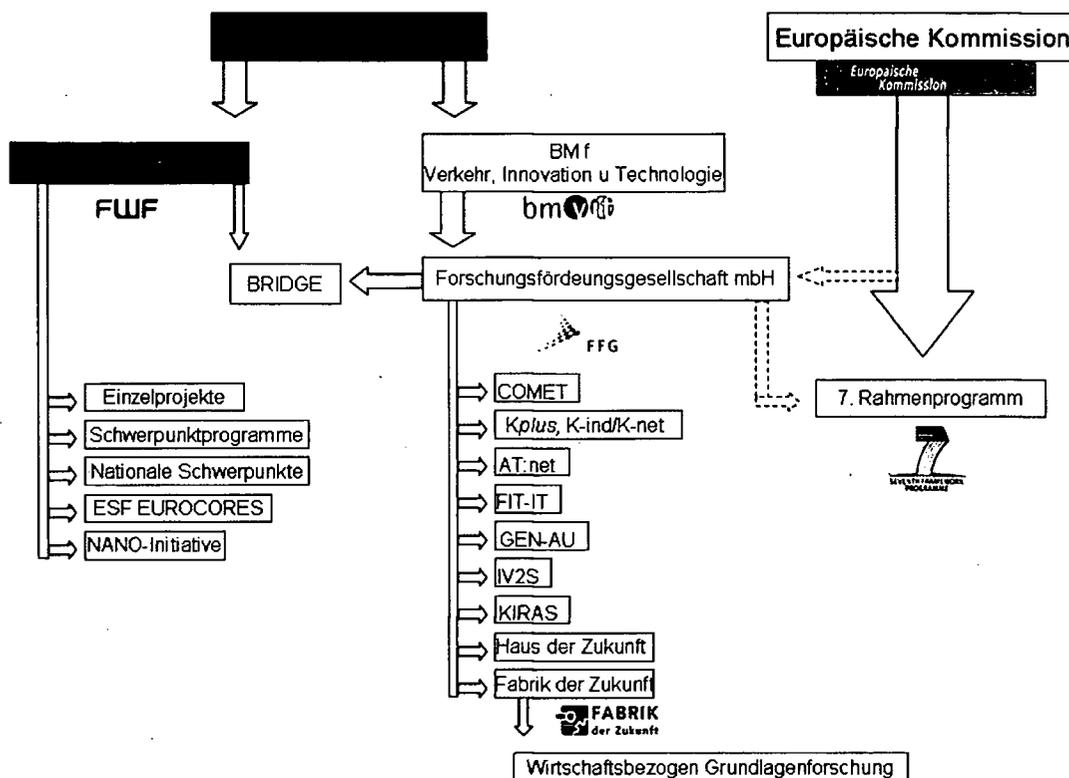


Abb 2: Grobe Übersicht über die Forschungsförderung Österreichs

1.2.2 Beweggründe für die Auswahl der Förderlinie in diesem Projekt

Im konkret hier vorliegenden Fall wurde die Projektart „Wirtschaftsbezogene Grundlagenforschung“ des Impulsprogramms Nachhaltig Wirtschaften der Programmlinie „Fabrik der Zukunft“ gewählt.

Dieses Förderprogramm ist für den hier nötigen Forschungsbedarf maßgeschneidert. Im vorliegenden Antrag wird an ein Projekt angeknüpft, das bereits erfolgreich von derselben Programmlinie gefördert wurde. Die hier beantragten Versuche stellen eine Vertiefung dar, ein „ins Detail gehen“ bei einem Teilaspekt des vorangegangenen Projektes. In der aktuellen 4. Ausschreibung des Impulsprogramms Nachhaltig Wirtschaften wird ausdrücklich begrüßt, wenn Datenmaterial

aus Projekten der vormaligen Ausschreibungen aufbereitet wird. Dies kann zur Erhöhung der Chancen des Antrages im Wettbewerb mit anderen Forschungsvorhaben beitragen

Ein weiteres wichtiges Argument besteht darin, daß die Verwertungsrechte beim Förderungsempfänger bzw. dem Projektkonsortium liegen. Obschon die Projektkosten nur bis zu 65% der anrechenbaren Kosten gefördert werden, wiegt das Recht auf die Verwertung der Forschungsergebnisse schwerer. Denn bei Projektarten wie zum Beispiel Grundlagenstudien die eine 100% Finanzierung bieten liegen die Verwertungsrechte bei den Auftraggebern, in diesem Fall die FFG.

Voraussetzung ist neben mindestens einem wissenschaftlichen Projektpartner (zu dem mindestens 80% der anrechenbaren Projektkosten fließen müssen) die Beteiligung von einem oder mehreren mitfinanzierenden Partnerunternehmen, die potentiell in der Lage sind, das Ergebnis des Projektes wirtschaftlich zu verwerten. Die Versuchsanordnung benötigt Laborausrüstungen die am Institut für Holzforschung nicht zur Verfügung stehen und die meist nur von großen Fabriken und spezialisierten Instituten unterhalten werden. Eine Kooperation mit einem Partnerunternehmen ist unausweichlich.

Das Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften wurde durch das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie initiiert und wird mit der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft als Programmträger abgewickelt. Ziel der Programmlinie „Fabrik der Zukunft“ ist es, durch Forschung und Entwicklung zu beispielhaften Technologieentwicklungen in Unternehmen beizutragen. Die behandelten Themen sind innovative Produktionsprozesse, nachwachsende Rohstoffe und neue Produkt- beziehungsweise Nutzungskonzepte, (BMVIT und FFG 2006).

Die Wahl dieser Förderlinie fiel leicht, da das Projekt „XXL Wood“ des Institutes für Holzforschung/Boku ebenfalls über die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft gefördert wurde. Für den zweiten Einreichtermin werden sogenannte Synthese-Projekte bevorzugt, solche die eine Weiterentwicklung von Projektketten aus der Programmlinie „Fabrik der Zukunft“ darstellen.

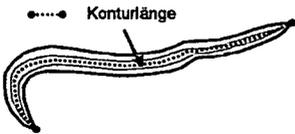
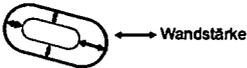
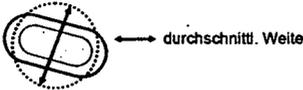
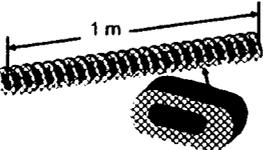
Es stehen vier verschiedene Projektarten zur Verfügung: Grundlagenstudien, Konzepte, Wirtschaftsbezogene Grundlagenforschung, Technologie- und Komponentenentwicklung. Im hier vorliegenden Fall ist die Projektart Wirtschaftsbezogene Grundlagenforschung am besten geeignet.

1.3. Papierspezifische Forschungsergebnisse zu Faserparametern bei Fichte

Das aktuelle Wissen über Zellstoff- und Papierherstellung ist für Zellstoff bei Sixta (2006) und für die Papierherstellung bei Gullichsen und Paulapuro (1999) in einem 19-bändigen Kompendium zusammengefasst. Die behandelten Themenbereiche reichen von der Bestandesbehandlung, den Waldbaulichen Maßnahmen, der Gewinnung von Hackschnitzel, der mechanischen und chemischen Herstellung von Zellstoff bis zu den einzelnen Faserparametern und deren Auswirkung auf den Zellstoff.

Publikationen in Fachzeitschriften befassen sich mit den unterschiedlichen Auswirkungen von juvenilen und adulten Holz auf den Zellstoff. So im Pulp & Paper Canada „Effect of mature and juvenile wood from five wood species on Kraft pulp strength“ (Drost et al. 2003).

Tab. 2: Auswirkung ausgesuchter Faserparameter auf die Papierqualität (Bilder aus Sixta 2006)

Faserparameter		Auswirkung auf die Papierqualität	Maßeinheit
Faserlänge		Reißfestigkeit Bruchdehnung	[mm]
Zellwandstärke		Oberfläche	[μm]
Gesamtdurchmesser		Kollapsibilität	[μm]
Coarseness		Blattgewicht	[$\text{g}\cdot\text{m}^{-1}$]

COST (European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research) ist eine Plattform zur länderübergreifenden, langjährigen, wissenschaftlichen Zusammenarbeit. Innerhalb dieses Förderprogramms gibt es einzelne Projekte sogenannte Actions. Für den hier vorliegenden Antrag ist die COST Action E40 mit dem Titel „Innovative utilisation and products of large dimensioned timber including the whole forest-wood-chain“ relevant. Zu erwähnen ist der in Lignovisionen Issue 13 publizierte Konferenzbeitrag „How do fibres properties interact with pulp

properties“. Hier macht der Autor Lecourt (2005) darauf aufmerksam, daß die Eigenschaften des Papiers von den Eigenschaften der Fasern abhängen und daher der Wahl derselben mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden muß. Die ebenfalls im Zuge dieses Projektes abhaltene Konferenz in Grenoble 2007 mit dem Beitrag „LDT-research at BOKU from material characteristics to performance in application“ stellt die Möglichkeit dar, durch detailliertes Wissen über den Rohstoff Holz zu neuen Nischenprodukten zu finden.

Die Heimseite www.starkholz.at beschäftigt sich unter anderem mit Recyclingkreisläufen in der Zellstoffindustrie und der mögliche Beimengung hochwertigen Rohmaterials zur Erhaltung wichtiger Eigenschaften des Papiers (z.B.: Festigkeit).

Die Mehrzahl der wissenschaftlichen Publikationen zum Themenbereich Zellstoff in Verbindung mit Faserparametern bezieht sich jedoch auf Plantagenbaumarten, wie *Eucalyptus globulus* und *Pinus radiata* und sind auf Fichte an Gebirgsstandorten nicht übertragbar.

1.4 Methodik der Charakterisierung in der Papierindustrie

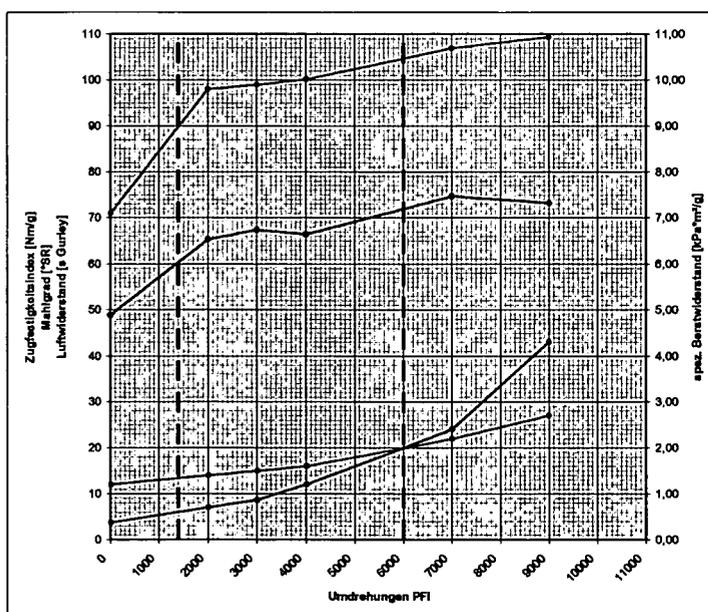
Die Parametermessungen in der verarbeitenden Industrie sind rein auf den laufenden Prozeß orientiert und dienen der Qualitätserhaltung. Aufgrund der gemessenen Eigenschaften des Endproduktes wird auf die nötigen Voraussetzungen geschlossen. Zusammenhänge von Faserparametern und Zellstoffqualität werden mit Hilfe von Erfahrungswerten erklärt, basieren jedoch nicht auf Grundlagenforschung. Abbildung 11 stellt ein typisches Ausprüfungsprotokoll dar, in dem die für das jeweilige Produkt relevanten Zellstoffparameter aufgelistet werden und in Kurven dargestellt werden. Die verwendeten Daten sind als Beispiele zu sehen.

Zellstoffprüfung des
ausführenden Institutes

Bezeichnung des Musters:					Waggon:	
	Probenahme	Mahlung	Prüfung	Ballen Nr.:		
Datum:				Komm. Nr.:		
Ausführende:				Mahlserie		

ZELLSTOFF-EIGENSCHAFTEN

	Umdr. PFI	0	2000	3000	4000	7000	9000	1400	6000
Mahlresistenz									
Mahlgrad	*SR	12	14	15	16	22	27		
Flächengewicht	g/m ²	76	75	77	78	76	79		
Luftwiderstand (Gurley)	s/(l/(m ² ·s))	3,69	6,96	8,62	12	24	43	6	20
Zugfestigkeitsindex	N*m/g	70,9	98,0	98,9	100,1	106,8	109,3	90,0	104,6
Bruchdehnung	%	2,10	2,40	2,43	2,55	2,61	2,64	2,31	2,59
Dehnungssteifigkeit	kN/m	648	761	783	792	800	837	728	797
spez. Weiterreißwiderstand	mN*m ² /g	12,4	9,1	9,0	9,2	8,6	8,6	10,1	8,8
spez. Berstwiderstand	kPa*m ² /g	4,88	6,53	6,74	6,64	7,47	7,32	6,05	7,19
spez. Zugbrucharbeit	J/g	1,01	1,58	1,62	1,73	1,89	1,94	1,41	1,84
Weißgrad	% ISO	21,6							



Trockengehalt	%	33,6
Kappazahl		49,63
Splittergehalt	%	0,50

Heißeextrakt (DIN 53114 u. 53125)	
pH-Wert	
Leitfähigkeit	µS/cm

FiberLab		
Faserlänge	mm	3,09
Feinanteil	%	4,35
Faserbreite	µm	29,8
Faserwandstärke	µm	9,7

Zugprüfung:	
Streifenbreite	15 mm
Streifenlänge	100 mm

Temperatur:	23 °C
-------------	-------

Relative Luftfeuchtigkeit:	50%
----------------------------	-----

Normen: Kappa Zahl: SCAN Blattbildung: Zellcheming
Mahlung PFI: SCAN physikal. Prüfungen: DIN-Normen
Splittergeh.: Sommerville 0,15 mm

Abb 3: Beispiel für Ausprüfungsprotokoll, Zellstoffeigenschaften werden in Tabellenform und graphisch dargestellt.

1.4.1 *Prüfung der Zellstoffsuspension*

1.4.1.1 *Kajaani Fiber Lab*

Bei dieser vollautomatisch ablaufenden Analyse der Faserdimensionen werden die projizierte Länge der Faser deren Gesamtlänge entlang der Fasermittellinie, ihre Breite und Zellwandstärke, der Verformungsindex, die Querschnittsfläche, der Volumenindex, eine Auswahl von Korrelationen und Fraktionen, und schließlich die gewichts- und längenabhängig gewichteten Faserverteilungen bestimmt. Messungen einer hohen Anzahl an Fasern, an die 5000, pro Zellstoffprobe sind in kurzer Zeit, bei einer gewöhnlichen Meßgeschwindigkeit von 80 Fasern/Sekunde, möglich. Eine Stoffsuspension wird durch eine Kapillare gesaugt und jede einzelne Faser wird mit zwei Kameras vermessen (Gullichsen und Paulapuro 1999).

Die ermittelte Faserlänge kann entsprechend der TAPPI-Standardmethode T271 oder nach der ISO-Standardmethode ISO 16065 in Berichtform ausgegeben werden.

Die Auflösungsgrenze bei der Faserweitenmessung liegt bei 1,5 µm und die bei der Faserlängenmessung bei 10 µm.

Aufgrund der Schnelligkeit, mit der Fiber Lab die Ergebnisse bereitstellt, können die Fasereigenschaften direkt an der Quelle, also in der Faserlinie, bei der als Steuergrößen für die Zellstoffauswahl und den Papierherstellungsprozessen eingesetzt werden.

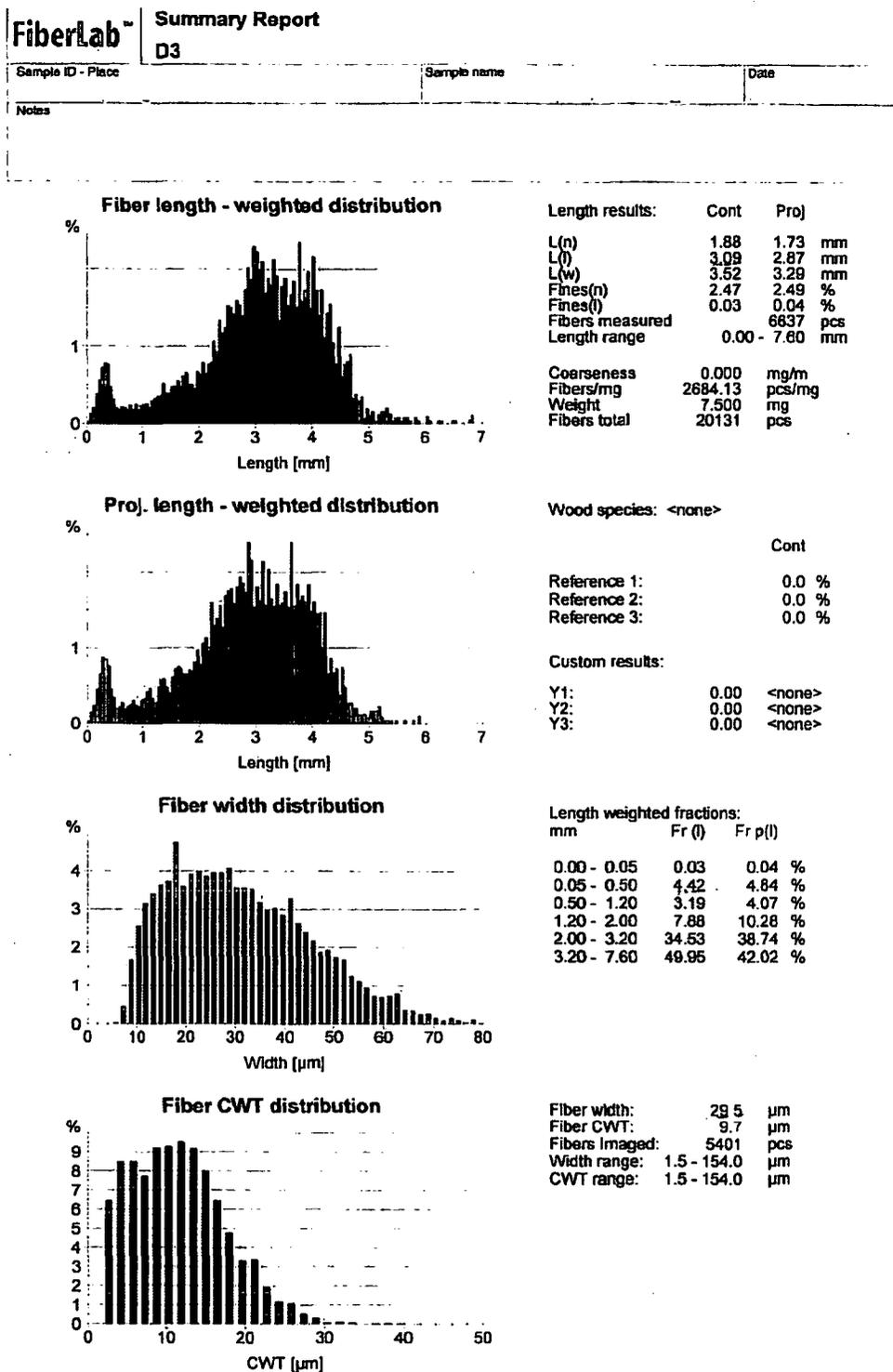


Abb. 4: FiberLab Zusammenfassungsprotokoll, die Werte in diesem standardisierten Protokolls sind nur beispielhaft und dienen rein der Darstellung. (Metso Automation)

Die Bedienung des Gerätes läuft über eine Windowsoberfläche. In Abb. 2 ist ein Beispiel für ein Ausprüfungsprotokoll angeführt. Abbildung 3 zeigt einen Arbeitsplatz an dem das Fiber Lab Analysegerät der Firma „mesto“ verwendet wird. In Abb. 4 sind Fasern vergrößert dargestellt die zur Messung durch das Fiber Lab Gerät bereitstehen.



Abb 5: FiberLab Analysegerät der Firma metso.
(Metso Automation)



Abb 6: Fasersuspension (vergrößert)
(Metso Automation)

1.4.1.2 Bestimmung des Mahlgrades mit Schopper – Riegler - Gerät

Der Mahlgrad (freeness) korreliert mit dem Wasserspeichervermögen des Faserstoffes. Dieser wird direkt über die Entwässerungsfähigkeit einer Fasersuspension geprüft. Er hängt zusätzlich vom hydrodynamisch wirksamen Volumen der Faser ab. Das hydrodynamische Volumen ist das gequollene Gesamtfaservolumen (Faser + Fibrillenpelz). Es ist um so größer, je stärker die Faser defibrilliert und delignifiziert ist. Auch Feinstoff, insbesondere Schleimstoff beeinträchtigt die Entwässerung erheblich und erhöht daher den Wert des Mahlgrades (Neimo 2000)

Der Mahlgrad wird in einer Schopper - Riegler - Apparatur siehe Abbildung 3 bestimmt. Man erhält den Schopper - Riegler (SR)-Wert auf einer Skala von 0-100 (0 keinerlei Behinderung der Entwässerung, 100 keine Entwässerung)

Bezeichnung verschieden stark gemahlener Zellstoffe aufgrund ihres Mahlgrades:

- Ungemahlen 13 – 17 SR
- Niedrig gemahlen 20 - 25 SR „rösch“
- Mittel gemahlen 30 – 40 SR
- Hoch gemahlen 50 – 60 SR „schleimig“
- Extrem ausgemahlen 80 - 90 SR

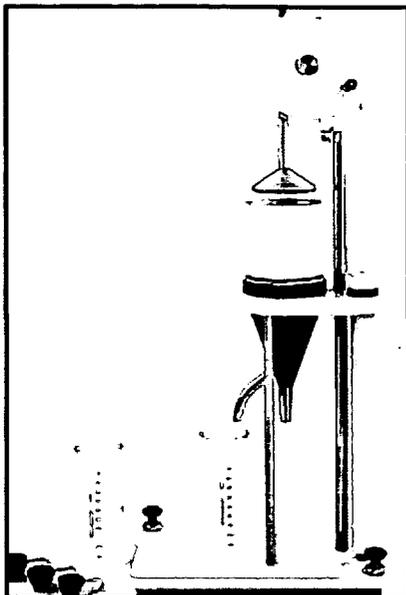


Abb 7: Schopper – Riegler – Apparatur
(Bild von Testing Machines Inc.)

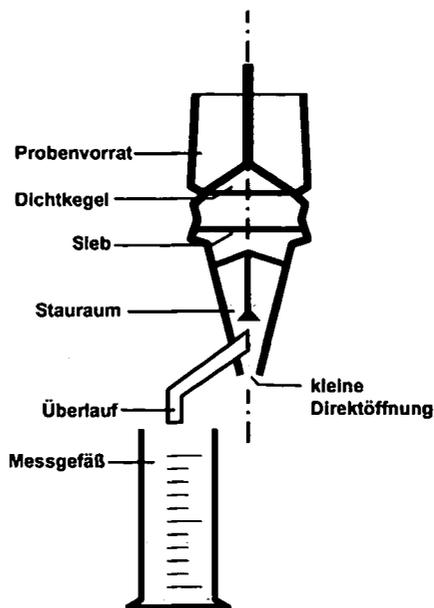


Abb 8: Schematische Darstellung Schopper- Riegler

1.4.2 Prüfung der Laborblätter

Die meisten physikalischen Eigenschaften des Zellstoffs werden an Laborblättern (siehe Abb. 9) gemessen (Töppel 1993). Dazu wird der Faserstoff zunächst nass aufgeschlagen und aus der Faserstoffsuspension mit einem Rapid-Köthen-Blattbildner (siehe Abb. 8) mehrerer Laborblätter hergestellt. Diese werden mit Hitze und Unterdruck getrocknet, konditioniert und anschließend geprüft.

Grundsätzlich ist bei allen Messungen zu beachten, dass die Luftfeuchtigkeit und die Temperatur einen sehr großen Einfluss auf die Meßwerte haben. Deshalb findet die Messung immer in Klimäräumen mit einem nach ISO-Normen festgelegten Normklima (23 °C, 50 % Luftfeuchtigkeit) statt. Meist wird die Papierprobe vor der Messung 24 Stunden lang in dem Raum gelagert, um sie zu akklimatisieren. Da die Messungen von der Flächenmasse (g/m^2) des Papiers abhängen, werden so genannte Laborblätter mit einer nach ISO-Norm festgelegten Flächenmasse verwendet.

Wasser wirkt als Weichmacher und lockert die Faserstruktur von Laborblättern. Gewichtsangaben werden durch das vorhandene Wasser verfälscht daher werden alle Gewichtsangaben auf das ofentrockene (otro) Fasermaterial bezogen.



Abb. 9: Rapid-Köthen Blattbildner



Abb. 10: Laborblatt noch feucht im Trockner

1.4.2.2 *Bestimmung des Berstwiderstandes*

Der Berstwiderstand beziehungsweise die Berstfestigkeit ist ein Maß für den Widerstand des Papiers gegen Druckbeanspruchung senkrecht zur Papierfläche und gibt die benötigte Kraft pro Fläche an, um ein Papier zum Bersten zu bringen. Die Maßeinheit des Berstwiderstandes lautet kPa. Dazu wird das Normblatt in den Prüfapparat eingespannt und eine Membran mit genormter Fläche drückt mit ansteigender Kraft gegen das Papier. Die Kraft die beim Durchstoßen des Papiers angewendet wird, ist der Berstwiderstand.

1.4.2.3 *Bestimmung des Porosität nach Gurley*

Die Porosität ist ein Maß für die Luftdurchlässigkeit einer Papierprobe. Die Maßeinheit der Porosität lautet Gurley. Dazu wird das Normblatt in den Prüfapparat eingespannt und 100 mL Luft mit 1,23 kPa durch eine Prüffläche von 6,42 cm² gedrückt und die dafür benötigte Zeit gemessen. Eine Zeitdauer von einer Sekunde entspricht dabei einem Gurley, wobei die Skala linear ist.

1.4.2.4 *Spezifischer Weiterreißwiderstand vergleiche ISO 1974*

Die Maßeinheit des spezifischen Weiterreißwiderstandes ist mN•m²/g. Diese gibt an, wie leicht ein Papier, das bereits eingerissen ist, weiterreißt. Dazu wird das Papier mit einem Schnitt versehen und in das Reißfestigkeitsprüfgerät (nach Elmendorf) eingespannt. Ein im ausgelenkten Zustand blockiertes Pendel wird zum Schwingen freigegeben. Die gespeicherte potentielle Energie wird in kinetische

Energie umgewandelt. Die zum Zerreißen der Probe notwendige Kraft wird dabei gemessen.

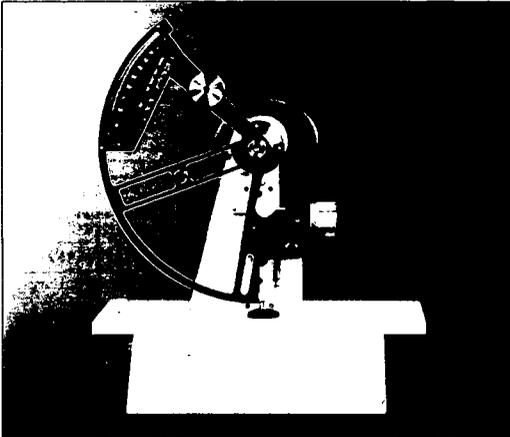


Abb 11: Meßeinheit für den spezifischen Weiterreißwiderstand (Bild aus Labthink)

1.4.2.5 Zugfestigkeit

Die Zugfestigkeit ist einer der zentralen physikalischen Werte bei der Papierherstellung, bei Kraftpapier ist sie sogar der wichtigste Wert. Die Maßeinheit der Zugfestigkeit ist kN/m^2 . Da die Zugfestigkeit vorwiegend von der Flächenmasse abhängt, wird in der Praxis der Zugfestigkeitsindex mit der Maßeinheit: $\text{N}\cdot\text{m/g}$ verwendet. Dieser Wert gibt an, wie stark ein Papier in der Streckung belastet werden kann, bis es zerreißt.

Zur Bestimmung dieses Wertes wird eine Zerreißprobe gemacht. Dazu werden Papierstreifen einer genormten Länge und Breite mechanisch eingespannt. Der so genannte Reißapparat zieht die Probe auseinander und zeichnet die Kraft auf. Die im Moment des Zerreißens aufgebrauchte Kraft bezogen auf das Flächengewicht ist die spezifische Zugfestigkeit. Um einen Durchschnittswert zu erhalten, werden meist 10 Streifen zerrissen, wovon 5 längs der Laufrichtung und 5 quer zur Laufrichtung der Papiermaschine geworben werden. Als Nebenprodukt dieser Messung werden noch die Bruchdehnung und die Zugbrucharbeit ermittelt. Die Bruchdehnung in Prozent gibt das Verhältnis zwischen Ausgangslänge und Länge beim Eintreten des Bruches an. Die spezifische Zugbrucharbeit wird in J/g angegeben und ist die aufgewendete Bruchenergie pro Papierfläche.

1.5 Methodik der Charakterisierung bei den Rohstoffproduzenten

In der konventionellen Forstwirtschaft finden meist nur makroskopische, mit dem freien Auge sichtbare, Qualitätsansprachen statt. Eine genauere Bestimmung zum Beispiel der Fasereigenschaften hat sich bisher noch nicht durchgesetzt. Anders als in Plantagenbewirtschaftungen haben bei den im europäischen Wirtschaftswald üblichen Umtriebszeiten von mindestens 80 Jahren Parameter wie Stabilität, Resistenz gegen Schädlinge, ökologische Vielfalt, Multifunktionalität des Waldes, und Schutzfunktion Priorität.

Auch verhindert ein strenges Forstgesetz die Verwendung von Klonen und schreibt Benützungseinschränkungen vor. Die alpinen Waldstandorte eignen sich vornehmlich zur extensiven Bewirtschaftung. Einfluß auf die Qualität durch Wahl von ausgewählten genetischen Herkünften findet größtenteils nur aufgrund der Höhenstufe statt und variiert dementsprechend groß (Zobel 1989).

Anders hingegen ist die Situation in den Plantagen der subtropischen und tropischen Breiten sowie Schnellumtriebsbewirtschaftung in der gemäßigten Zone. Eine rasche Umsetzung von zum Beispiel Kiefernarten, im Regelfall 4 bis 8 Jahre (Zobel 1998) und die Verwendung von genetisch identen Individuen macht eine Überwachung beziehungsweise Lenkung der Fasereigenschaften möglich.

Weltweit gesehen ist diese Art der Rohstoffbereitung für die Zellstoff- und Papierindustrie stark am zunehmen, (Zobel 1998).

1.5.1 *Silviscan*[®]

In der Holzplantagenwirtschaft ist eine rasche und effiziente Messung der Holzeigenschaften nötig. Das hierfür von Dr. Rob Evans (2001) bei CSIRO in Melbourne Australien entwickelte *SilviScan*[®] Meßgerät (siehe Abb.12) ist eine Kombination zweier wesentlicher Messprinzipien, nämlich Röntgenstreuung (siehe Abb.13) und hochauflösender Videomikroskopie (siehe Abb 14) (Evans 2001). Mit dieser Messanordnung können eine Vielzahl relevanter Parameter gemessen werden (Buksnowitz 2006)

SilviScan wurde im Rahmen des XXL Wood Projektes eingesetzt, wodurch die dabei gewonnen Messdaten auch mit den Ergebnissen des in dieser Arbeit beantragten Forschungsvorhabens verknüpft werden können. Aus diesem Grund soll das Spektrum an Materialkenngrößen, welches von *SilviScan* gemessen werden kann hier kurz dargestellt werden.



Abb 12: SilviScan® Apparatur (Bild von CSIRO)

Mit Hilfe der Röntgenstreuung werden

- Dichte
- Jahrringweite
- Orientierung der Jahrringgrenze in Bezug auf die Ausrichtung der Probe
- Mikrofibrillenwinkel
- Drehwuchs
- Kristallinitätsindex

einer Probe gemessen.

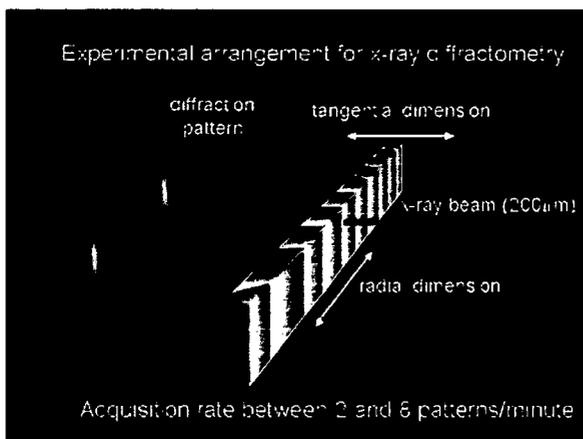


Abb. 13: Messprinzip mit Röntgenstreuung (Bild von CSIRO)

Das Videomikroskop vermisst

- den radialen Tracheidendurchmesser
- den tangentialen Tracheidendurchmesser
- die Zellwandstärke
- Coarseness

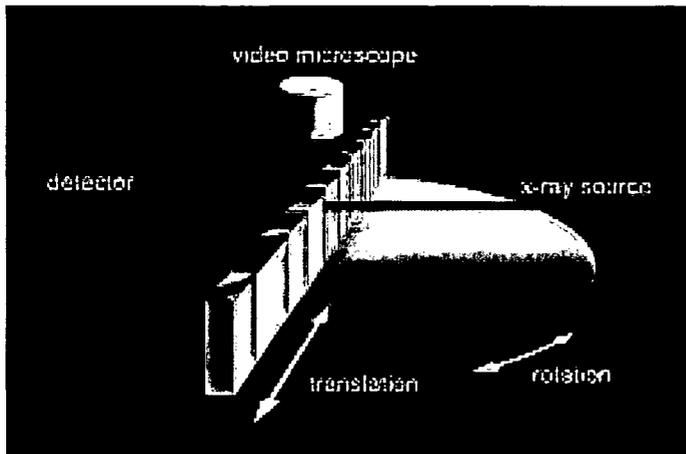


Abb 14: Messung der polierten Probe mit Videomikroskop (Bild von CSIRO)

2 Motivation und Zielsetzung

2.1 Ausgangssituationen Starkholzproblem

Fichten mit großen Durchmessern, einst der Stolz eines jeden Forstbesitzers, da wertvoll, sind zum Problem geworden. Die Sägeindustrie hat sich auf Massenware eingestellt und kann auf die starke Variabilität der Holzeigenschaften bei Starkholz nicht eingehen. Nur wenige spezialisierte Sägewerke nutzen den hochwertigen Rohstoff. Alternativabnehmer wie die Papier- und Zellstoffindustrie haben bisher dem Unterschied in den Fasern verschieden alter Bäume keine Beachtung geschenkt und bevorzugen leicht handhabbare Stämme geringen Durchmessers. Dicke Stämme werden nur zu einem geringen Prozentsatz als mitgehende Ware akzeptiert erfordern aber einen erhöhten Manipulationsaufwand.

Aus Sicht der österreichischen Forstwirtschaft stellt der, seit kurzem einsetzende, erhöhte Bedarf an Biomasse, eine Entlastung dieses Problems dar. Bisher war das Sortiment Starkholz mit massiven Preisabschlägen behaftet oder wurde sogar abgelehnt. Eine kostendeckende geschweige denn gewinnbringende Endnutzung von Starkholz war oft nicht mehr möglich. Was große Nutzungsrückstände zur Folge hat, die sich negativ auf Stabilität und Verjüngung vor allem in Schutzwäldern auswirken. Eine nachhaltige gewinnbringende Nutzung dieser Bestände führt zu Verjüngung und damit zur Stabilisierung. Der Nutzen für den Menschen ist direkt ersichtlich.

2.2 XXL Wood Projekt

Ausgehend von der oben beschriebenen Starkholzproblematik wurde im Jahre 2003 das Forschungsprojekts „XXL-WOOD“ vom Holzforschungsinstitut der Universität für Bodenkultur initiiert (Teischinger und Patzelt 2006). Ziel dieses Projektes war die Konkurrenzfähigkeit von Nadelstarkholz am nationalen und internationalen Markt zu steigern, in dem gesicherte Kenngrößen wie Festigkeits- und Fasereigenschaften von Starkholz über den Querschnitt und Höhe ermittelt wurden. 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. Das Projekt verfolgt ebenfalls das Ziel, die gesamte Wertschöpfungskette Starkholz von der Produktion bis zum fertigen Produkt mit einzubeziehen und das Starkholz als selbstständiges Produkt zu etablieren (Fabrik der Zukunft).

Als Probenmaterial für des XXL-Wood Projektes wurden Fichten-Starkholzstämme aus verschiedenen Regionen Österreichs nach festgesetzten Vorgaben bezüglich Standort, Höhenlage und visuell beurteilter Rundholzqualität erworben und in ein Sägewerk transportiert, wo die Stämme eingeschnitten wurden. Aus Stammscheiben wurden Proben für mikroskopische Untersuchungen präpariert und spezifische Fasereigenschaften wie, beispielsweise Zellwandstärke, Mikrofibrillenwinkel oder Faserlänge mit den neuesten Technologien bestimmt.

Die Daten aus der Ermittlung der verschiedenen Holzeigenschaften 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 Eigenschaften einen klaren Alterstrend zeigen (Fabrik der Zukunft).

Detaillierte Daten über Faserlängen, -durchmesser und -wandstärken und deren Abweichung zu den Ergebnissen „gewöhnlicher“ Fichten, haben zu der Frage geführt, ob daraus produzierter Zellstoff und in der Folge Papier zu besseren Eigenschaften führt. Laut Schmidt-Vogt (1986) beträgt die durchschnittliche Tracheidenlänge bei der Fichte 3,4 mm bei einem Streubereich von 0,5 bis 6,2 mm. Die im XXL-Wood Projekt gefundenen Tracheidenlängen überschreiten im adulten Holz durchgehend den Durchschnittswert und betragen rund 5 bis 6 mm.

Ein positiver Nebeneffekt entsteht durch die Weiterverwendung des Probenkollektives. Da die Zellstoffproduktion im Laborausmaß sehr kostenintensiv ist, ist eine Senkung der Gesamtprojektkosten durch Einsparungen bei der Probenwerbung von großem Vorteil.

2.3 Projektziele und Forschungshypothese

Mit diesem Projekt soll geprüft werden, ob die aus den äußeren adulten Zonen von Fichtenstarkholzstämmen gewonnene Zellstoffe, Vorteile gegenüber den bisher verwendeten Zellstoffen besitzen.

Das Projekt verfolgt folgende primäre Ziele:

- Charakterisierung von Zellstoff aus adulten Starkholz-Tracheiden und dem daraus hergestellten Papier
- Vergleich des adulten Starkholz-Zellstoffes mit Standardzellstoff (z.B. Zellstoff aus vornehmlich juvenilem Holz)
- Prozessoptimierung (z. B. Mahlung, Kochung...) auf die besonderen Rohstoffeigenschaften des Starkholzes.
- Ansatzweise Potentialanalyse in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit und gesonderte Logistikkonzepte zur Nutzung der Besonderheiten von Zellstoff aus Starkholz-Tracheiden.

Die Ergebnisse dieses Projektes sollen Grundlage für weitere Forschung und für Umsetzungskonzepte sein.

Die Kenntnis über die spezifischen Eigenschaften soll dazu beitragen die Wertschöpfung des immer begehrteren Rohstoffes Holz auf dem Starkholzsektor zu erhöhen.

Die Zellstoff- und Papierindustrie soll in ihrer Innovationskraft unterstützt werden, da sie einen CO₂-neutralen, nachhaltig nutzbaren, nachwachsenden Rohstoff als Grundlage hat.

Der Forstwirtschaft soll aufgezeigt werden, welchen hochwertigen Rohstoff (Starkholz) sie anzubieten hat, um daraus die entsprechende Wertschöpfung zu lukrieren erfahren.

Als Forschungshypothese wird angenommen, dass das Hackgut aus Sägenebenprodukten, beim Sägeeinschnitt von Fichten-Starkholz anfallend (Anteil an den äußeren Mantelbereichen), eine andere Morphologie und damit andere beziehungsweise für bestimmte Anwendungszwecke bessere Eigenschaften besitzt, als Hackgut aus Schwachholz beziehungsweise Durchforstungsholz.

3 Material

Im Sinne des Synergieeffektes mit dem vorangegangenen XXL Wood Projekt (Teischinger und Patzelt 2006) wird auf deren Probenmaterial zurückgegriffen. Das detaillierte Datenmaterial (siehe Kapitel 2.2) zu jedem einzelnen Probestück bietet eine wertvolle Datenbasis die mit in die Auswertungen projektspezifischer neuer Ergebnisse einfließen kann. Denn im vorgeschlagenen Projekt gilt es auch herauszufinden wie sich die Faserparameter vom Stamm ausgehend, nach dem Durchlauf der chemisch mechanischen Prozesse verändern.

Für die Entnahme der Probestämme wurden das Wald- und Mühlviertel und der Alpenostrand ausgewählt.

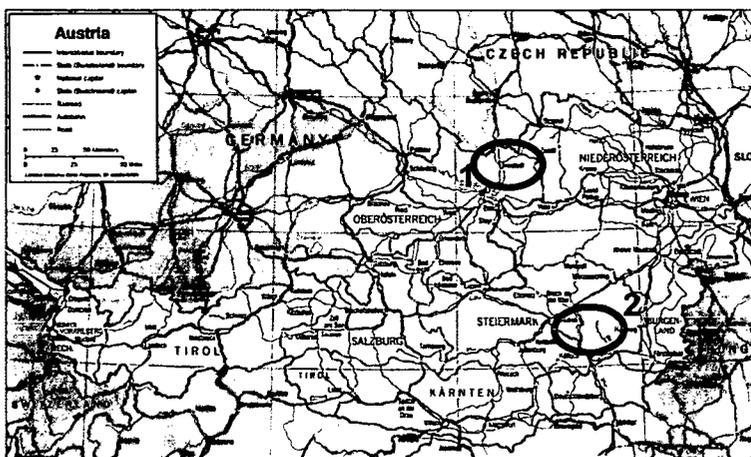


Abb. 15: Entnahmeregionen der Probestämme

In jeder Region wurde das Probenmaterial aus drei verschiedenen Höhenstufen und den dementsprechenden Bonitäten (siehe Abbildung) entnommen.

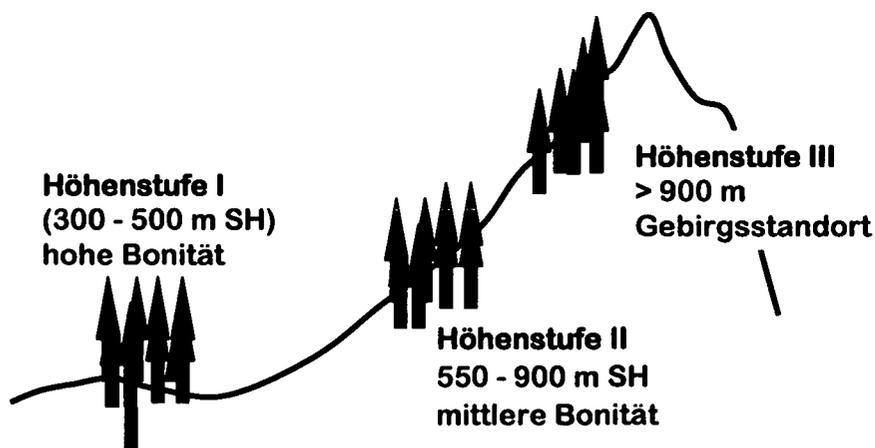


Abb. 16: Entnahme der Stämme in drei Höhenstufen (Buknowitz, Müller 2007)

Kriterien der Qualitätsansprache waren hauptsächlich Astigkeit, Abholzigkeit und evt. Schäden bzw. Verletzungen des Baumes

Nach der Auswahl eines geeigneten Baumes wurden das umliegende Gelände, die Geländeneigung (Abb. 2 und 3), 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.

Die ausgewählten Bäume wurden wie folgend ausgewählt und anschließend aufgetrennt:

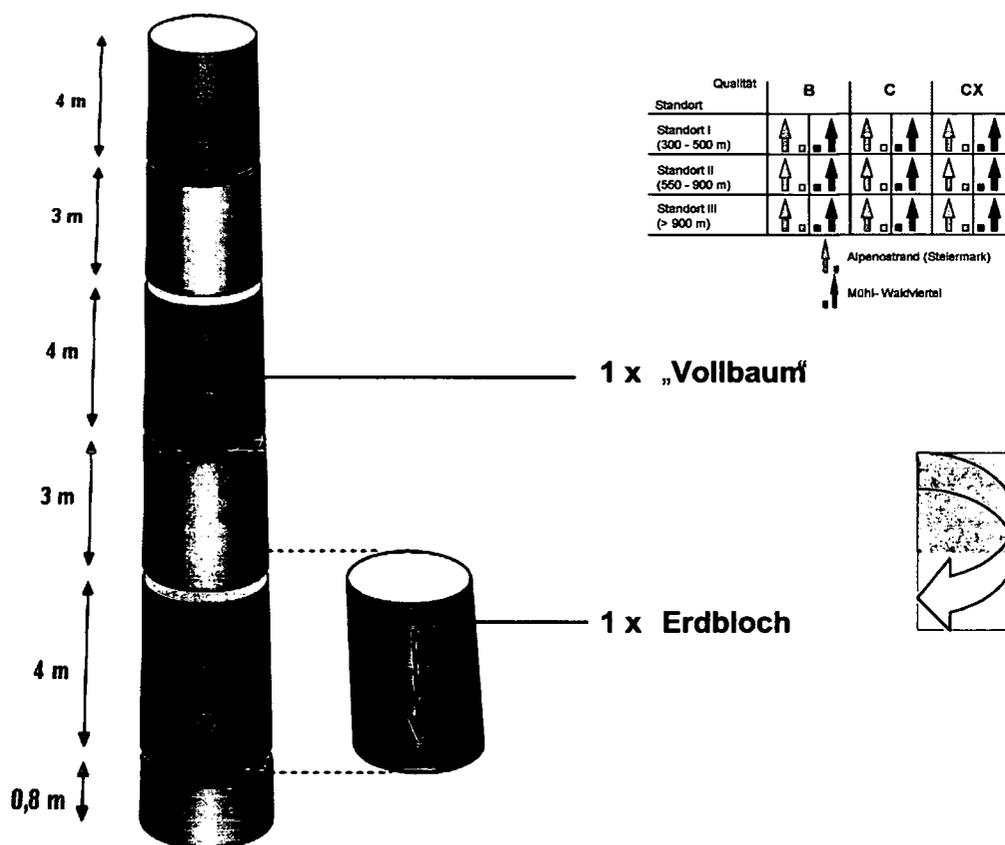
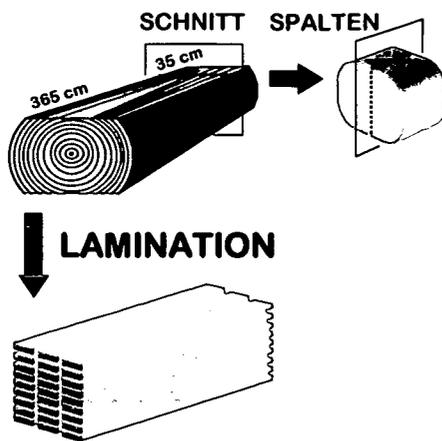


Abb. 17: Entnahmeort, Blochqualitäten und Schema der Auftrennung des Baumes in Blöcke zur Probengewinnung

Jedes Bloch wurde zu Modeln zusammengeschnitten. Diese Model in der Mitte gespalten. Eine der beiden Hälften wurde einem CT-Scanner, Silviscan Analysegerät und weiteren klassischen Materialprüfungsvorgängen unterzogen. Einen Überblick darüber bietet Abbildung 17. Im hier vorgestellten Projekt wird als Probenmaterial die damals weggefallene Seitenware verwendet. Rückschlüsse auf die Ergebnisse der Model sind zulässig. Ein Teil des potentiellen Probematerials ist bereits durch die lange Lagerung unbrauchbar. Eine Zusammenfassung mehrer Blöcke mit ähnlichen Voraussetzungen (Alter, Lage im Stamm, Wuchsgebiet) ist

nötig, um ausreichende Mengen zusammen zu bekommen. Pro Kochung sind 1000 g Hackschnitzel nötig.

72 BLOCHE



1. Visuelle Sortierung der Qualität
2. Quality assessment with sound velocity
3. Stress grading
 - Dichte
 - Jahrringweite
 - Astigkeit
 - Farbe
 - MOE

MIKRO ANALYSE

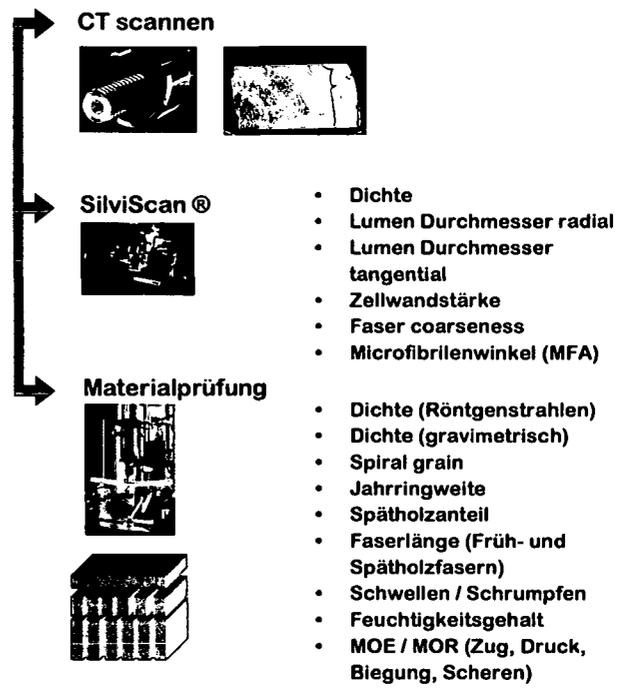


Abb. 18: Schematische Darstellung des XXL Wood Projektes (Buksnowitz, Müller 2007)

4 Methode

4.1 Experimentelle Methodik

Im vorangegangenen Projekt wurden Fichten-Starkholzstämmen aus verschiedenen Regionen Österreichs nach festgelegten Vorgaben bezüglich Standort, Höhenlage und visuell beurteilter Rundholzqualität geerntet. Aus Stammscheiben wurden Proben für mikroskopische Untersuchungen präpariert und spezifische Fasereigenschaften wie Zellwandstärke, Mikrofibrillenwinkel oder Faserlänge mit den neuesten Technologien bestimmt (Teischinger und Patzelt 2006).

Der Zusammenhang der gewonnenen Kenngrößen mit der Lage im Stamm und Funktionen über den Querschnitt ermöglichen ein erstes Qualitäts- bzw. Eigenschaftsmodell eines Starkholzstammes.

Basierend auf diesem Datenmaterial wird nun Zellstoff aus genau definierten Bereichen der Starkholzblöcke produziert, zu denen alle wichtigen Parameter im Holz festgestellt wurden. Der Menge entsprechend und der Genauigkeit gerecht werdend, wird das Holz händisch zu dem der ÖNORM ISO 8966 entsprechenden Ausmaß gehackt. Die anschließende Kochung wird mit einem Laborkocher nach der Kraftmethode (weltweit die bedeutendste Methode) durchgeführt. Es kommt die in der Industrie übliche verwendete Chemikalienszusammensetzung für Fichte zum Einsatz. Nach Probekochungen kann es hierbei noch Änderungen geben, um in jeden Fall zu einer ausreichenden Menge an Zellstoff zu kommen. Die gesamte Kochprozedur wird nach dem üblichen Laborverfahren durchgeführt um möglichst produktionsnahe Bedingungen einzuhalten.

Eine genaue Beschreibung der Arbeitsabläufe findet sich im Forschungsantrag in Kapitel 10.

Die technologische, physikalische Überprüfung der Eigenschaften des Zellstoffs erfolgt nach einschlägigen ISO sowie DIN Normen und entspricht dem neuesten Stand der Technik. Vollautomatische Prüfgeräte, wie sie bereits im laufenden Produktionsprozeß eingesetzt werden, können hier nicht angewendet werden. Hierfür reichen die Probemengen nicht. Darüber hinaus ist die Genauigkeit bei händisch ausgeführten Messungen höher und die Ergebnisse besser dokumentierbar. Sämtliche Parameter die für einen möglichen Einsatz des Rohstoffs in Großproduktion aussagekräftig sind, wie Kappa-Zahl und Restalkali, werden ebenfalls bestimmt.

Jeder der produzierten Zellstoffe wird Mahlungen mit vordefinierten Umdrehungszahlen in einer PFI Mühle unterzogen. Die Mahlung von Zellstoff ist ein produktionstechnisch übliches Verfahren, um die Bindungsfähigkeit der einzelnen Fasern zueinander zu erhöhen. Dabei werden die Fasern mechanisch beansprucht die Zellwände aufgeraut sowie die Kollapsibilität gefördert. Die daraus gewonnenen Daten werden in einer Mahlkurve graphisch dargestellt (siehe Abb. 3) in der sich die Bereiche feststellen lassen die die optimalen Zellstoffeigenschaften für die einzelnen Endprodukte bieten.

Die Auswertung der gewonnenen Daten soll eine gesicherte Grundlage für den zukünftigen industriellen Einsatz kommen um mittels deskriptiver und multivariater Statistik die Korrelationen zu erschliessen und darzustellen.

4.2 Formale Methodik

4.2.1 Unterstützende Werkzeuge und methodische Notwendigkeiten

Forschungsdesign

Jede wissenschaftliche Untersuchung vom überschaubaren Einzel-Experiment bis zum umfangreichen Forschungsprojekt sollte sich auf ein entsprechendes Forschungsdesign stützen. Ausgehend von der empirischen Fragestellung und der dazu entwickelten Hypothese trifft man mit dem Forschungsdesign eine Vorentscheidung über die potentielle Aussagekraft der Ergebnisse. Die Elemente des Forschungsdesigns reichen von der Versuchsanordnung, über die Auswahl der Stichprobe aus der Grundgesamtheit bis hin zum eigentlichen Auswahlverfahren.

Probendesign und Probengeometrie

Besonders im Bereich neu entwickelter Prüfmethodik und im Bereich der industrienahen Forschung stellt die Probengeometrie eine Herausforderung dar. Die Möglichkeit die Proben aus der erworbenen Stichprobe auszuformen, Kompatibilität mit entsprechenden Prüfstandards und Normen bzw. betriebsinternen Routinen erfordern strukturierte Vorgehensweisen.

Im Zusammenhang des in dieser Arbeit erstellten Forschungsantrages wird die Probengeometrie durch die Versuchsanlagen zur Zellstoffherstellung determiniert und durch das vorhandene Probenmaterial aus dem vorangegangenen XXL-Wood-Projekt limitiert.

Stichprobenumfang und Auswertemöglichkeiten

Die Wahl des Stichprobenumfangs wird durch ein Zusammenspiel folgender Parameter bestimmt:

- Kombinatorik der untersuchten Varianten
- Notwendige Signifikanz der Ergebnisse
- Verfügbarkeit des Probenmaterial
- Verfügbare Finanzielle Mittel
- Verfügbare Kapazitäten im Bereich der Humanressourcen
- Zeitrahmen des Projektes
- Laborkapazitäten

Das vorliegende Projekt wurde so konzipiert, dass eine Weiterverwendung des Probenkollektivs des XXL-WOOD-Projektes eine Optimierung der Projektressourcen darstellt und das Zusammenführen der Ergebnisse mit entsprechenden Verknüpfungspunkten der beiden Matrices zu einer Potentialsteigerung in der Ergebnisanalyse führt.

Projektmanagement und Zeitplanung

Zur Planung eines Forschungsprojektes größeren Umfanges kommen in zunehmendem Ausmaß speziell dafür entwickelte Software-Applikationen zum Einsatz. Die einzelnen Arbeitspakete und deren Teilaspekte können sowohl im zeitlichen Ablauf wie auch in Bezug auf ihre Abhängigkeiten vernetzt dargestellt werden. Das Setzen von Meilensteinen als markante Zwischenziele des Projektes wie auch die Verknüpfung mit Terminplanungs- und Zeitmanagement-Werkzeugen machen die Anwendung derartiger Software-Lösungen zu einer wertvollen Unterstützung.

4.2.2 Grundlegende Aspekte der Antragstellung

Zusammenstellung des Konsortiums (Antragsteller und Projektpartner). Welche Erfahrungen sind nötig?

Je nach Projektart ist eine Förderung eines einzelnen Antragstellers möglich, beziehungsweise eine Zusammenarbeit mit juristischen Personen im In- bzw. Ausland vorgeschrieben. Bei einer zwingenden Zusammenarbeit mit Partnerunternehmen ist ein Mindestanteil an der Mitfinanzierung festgelegt.

Der Antragsteller muß dem Fördergeber nachweisen können, daß er in der Lage ist das Projekt professionell abzuarbeiten. Sowohl die organisatorische als auch

die fachliche Kompetenz sind Voraussetzung. Es muß die fachliche Eignung der forschenden Personen nachgewiesen werden, auch in Form bisheriger Publikationen. Die Aufgabenverteilung ist entsprechend der Kompetenz vor Projektbeginn festzulegen.

Vor und Nachteile von Firmenpartner?

Etwa ein Drittel der Förderlinien sieht zwingend eine Firmenkooperation vor. Der Vorteil bei der Beteiligung von Firmenpartner ist, daß man Zugang zu einem großen Pool an praxisrelevanten Daten und Erfahrungen hat. Das Ziel ist unter anderem die Umsetzung von auf universitärem Niveau erstellten Projekten im Kontext einer profitorientierten praxisnahen Unternehmensumgebung. Ein Ausgleich soll geschaffen werden zwischen Theorie der Universität und Realität der Produktion. Firmenpartner verfügen über Informationen, Kontakte, Erfahrungen, Laborausrüstungen,...

Der Nachteil kann in der Beeinflussung der wissenschaftlichen Fragestellung durch den Firmenpartner bestehen. Aufgrund des Zwanges zu rein wirtschaftlich verwertbaren Projekten können Fragestellungen aus der reinen Grundlagenforschung auf der Strecke bleiben.

Ein Problem kann auch die Verpflichtung aufgrund des Förderprogramms zur Mitfinanzierung darstellen. Dadurch wird der Anspruch auf Einflußnahme auf den Verlauf des Forschungsprojektes erhöht. Wichtige Grundlagenfragen können unbeantwortet bleiben, weil sie als nicht ausreichend praxisrelevant bezeichnet werden.

Der Firmenpartner soll das Potential haben, die gewonnen Erkenntnisse in die Praxis umzusetzen, wobei es zu einem Konflikt auf Ebene der Verwertungsrechte kommen kann. Das Wirtschaftsunternehmen ist an der Geheimhaltung der Forschungsergebnisse interessiert um den erzielten Wettbewerbsvorteil möglichst lange zu halten. Das wissenschaftliche Institut im Gegenzug strebt eine rasche Publikation der Ergebnisse an. Die Bindung des forschenden Teils des Konsortiums an mögliche Geheimhaltungsabkommen kann hemmend auf Kooperationen wirken.

Erforderliche formale Voraussetzungen?

Das Vorwissen entscheidet über den Aufwand den man für die Antragserstellung benötigt. Entscheidend ist nur die formale Voraussetzung die gefordert wird um das Projekt auch durchzuführen. Die Praxis zeigt jedoch, daß die Position in der wissenschaftlichen Gemeinschaft, die Berufserfahrung und die Anzahl der veröf-

fentlichten wissenschaftlichen Publikationen in dem entsprechenden Forschungsfeld den Fördergeber als Garanten dienen mit der Förderung des Projektes keine „Fehlinvestition“ zu tätigen.

Was folgt der Antragsgenehmigung?

Wird dem Antrag auf Forschungsförderung stattgegeben muß ein Vertrag zwischen der FFG und einem Koordinator als Vertreter des Konsortiums abgeschlossen werden. Während der Vertragsverhandlung werden rechtliche, finanzielle und inhaltliche Belange geklärt. Bei den meisten Projekten ist es nötig regelmäßig einen Fortschrittsbericht abzuliefern. Die Erreichung der Zielsetzungen und die Einhaltung des Zeitplanes muß stets überwacht werden. Die anschließende Verwertung der Ergebnisse hängt von der Programmlinie und eventuellen Einschränkungen durch einen Vertragspartner ab.

Wieviel Vorwissen und Vorarbeit ist für die Gestaltung eines Forschungsantrages erforderlich?

Die Verfassung eines ordnungsgemäßen Antrages erfordert einen erheblichen Zeitaufwand und meist auch finanzielle Mittel. Die Literaturrecherche muß abgeschlossen sein, das vorhandene Wissen zusammengetragen, der Zeitplan und das Probendesign aufgestellt sein. Alle potentiellen Projektpartner müssen überzeugt worden sein oder zumindest eine Absichtserklärung abgeben haben.

Für die Konzeption eines Forschungsantrages ist bereits ein sehr tiefer Einblick in dieses Forschungsfeld Voraussetzung. Gemeinsam mit der Notwendigkeit für etwaige Vorversuche zur Überprüfung der Realisierbarkeit des Forschungsvorhabens und dem Zeitaufwand für die formale Erstellung stellt ein Forschungsantrag eine beträchtliche „Risikoinvestition“ in die Zukunft dar. Dies birgt die Notwendigkeit einer Vorfinanzierung bzw. der Antragstellung aus einer unabhängigen Position wie zum Beispiel einer universitären Planstelle heraus.

An einem konkreten Beispiel am Institut für Holzforschung Boku zeigt sich, daß durch Vorversuche bis zu einem Drittel der Gesamtprojektkosten verbraucht wurden. Um diese Hürde zu mildern und eine Anreiz für eine Projektantragstellung zu bieten, vergibt die FFG eine Anbahnungsfinanzierung. Diese wird auf Antrag in Form eines nicht rückzahlbaren Zuschusses gewährt. Die mit der FFG abrechneten Kosten werden nur zu 75% ersetzt, die restlichen 25% müssen die antragstellenden Institute selbst tragen.

Der Zeitpunkt der Einreichung kann auch entscheidend für die Genehmigung sein. Aktuellen Themen die einen breiten Bekanntheitsgrad haben werden durchaus prioritär gefördert. Man kann von einer strategischen Einreichung sprechen wenn man die Antragstellung in einem tagespolitischen Kontext (z.B.: Rohstoffverknappung, erneuerbare Ressourcen,...) plaziert.

- 5 Projektantrag zu „Nutzung nachwachsender Rohstoffe und biogener Reststoffe aus Verarbeitungsprozessen“ als „wirtschaftsbezogene Grundlagenstudie“ der Programmlinie Fabrik der Zukunft**



Fabrik der Zukunft

4. Ausschreibung im Rahmen des Impulsprogramms Nachhaltig Wirtschaften

Teil A Projektmanagement & Finanzen	Projektantrag für Wirtschaftsbezogene Grundlagenforschung	
Projekttitel		
Kurztitel		
Antragsteller (Firma, Institution)		
Hauptansprechpartner		
Einzureichen bei der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) Sensengasse 1 1090 Wien Es werden nur Anträge in deutscher Sprache berücksichtigt!	Projekt- Nr.: nicht vom Antragsteller auszufüllen	Kategorie: nicht vom Antragsteller auszufüllen

Teil A

Projektmanagement und Finanzen

A 1 Projektmanagement im Überblick

Tabelle mit allen am Projekt beteiligten Partnern
Erläuterungen auf der folgenden Seite.

Kurzbezeichnung

		Institution / Unternehmen	Mitarbeiter
Antragsteller	A		
			< MitarbeiterIn 3 >
Projektpartner	P1		< P1 MitarbeiterIn 2 >
			< P1 Mitarbeite >
	P2		Un of. DI
			<
	P3		
	P4		

Es folgen Formblätter für Informationen zu Antragstellern, Projektpartnern, Institutionen, Werkvertragsnehmer, ...



Fabrik der Zukunft

4. Ausschreibung im Rahmen
des Impulsprogramms Nachhaltig Wirtschaften

<p>Teil B Projektbeschreibung</p>	<p>Projektantrag für Wirtschaftsbezogene Grundlagenforschung</p>	
<p>Projekttitel (voller Titel)</p>		
<p>Kurztitel</p>		
<p>— anonymer Teil des Antrags —</p>		
<p>Einzureichen bei der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) Sensengasse 1 1090 Wien</p> <p>Es werden nur Anträge in deutscher Sprache berücksichtigt!</p>	<p>Projekt- Nr.</p> <p><small>nicht vom Antragsteller auszufüllen</small></p>	<p>Kategorie</p> <p><small>nicht vom Antragsteller auszufüllen</small></p>

B 5 Detaillierte Beschreibung des Projekts

B 5.1 Ziele des Projekts

- Vor- und Nachteile der adulten Faser in Papierprodukten herausfinden
- Grundlagenwissen für innovative Nutzung
- Unterschiede zwischen juvenilem und adultem Holz herausarbeiten
- Wertschöpfung Rohstoff Holz erhöhen
- Voraussetzung für neue Produkte und Produktoptimierung in der Papierindustrie schaffen

Ziel dieses Projektes ist, Grundlagen für die innovative Nutzung von Fichtenstarkholz in der Zellstoff- und Papierindustrie zu schaffen. Das Wissen um die unterschiedlichen Eigenschaften des Rohstoffes Starkholz ist Voraussetzung für Produktoptimierungen.

Es ist notwendig herauszufinden, ob Papier und Zellstoff hergestellt aus adultem Holz bessere bzw. andere Eigenschaften hat, als bisher produzierte Papier- und Zellstoffsorte. Adultes Holz wird ab einem bestimmten Alter (ca. 20 Jahre) vom Baum gebildet. Der junge Baum baut lediglich juveniles Holz auf, die bisher hauptsächliche Rohstoffquelle der Zellstoffproduktion. Die einzelnen Fasern unterscheiden sich in Ihren Parametern und Voraussetzungen für die Produktion deutlich. Die Fasereigenschaften bestimmen maßgeblich die Papiereigenschaften (Lecourt 2005), daher ist es interessant herauszufinden, ob sich die stark abweichenden Eigenschaften der adulten Faser über den Verarbeitungsprozeß hinweg im Papierblatt ihre Gültigkeit behalten.

Es gilt heraus zu finden, ob Zellstoff und in der Folge Papier, gewonnen aus adultem Holz andere Qualitäten besitzt, als jener bisher aus vorwiegend juvenilen Holz Gewonnener. Eine Wissenslücke soll geschlossen werden, um die tatsächlichen Vor- und Nachteile des Starkholzes festzustellen.

Neue Möglichkeiten eröffnen sich durch die Anwendung hochwertiger Langfaserzellstoffe bei Spezialprodukten sowie die gezielte Beimengung zu Faserwiederverwertungskreisläufen.

Ein positiver Nebeneffekt dieses Projektes kann eine Erhöhung der Wertschöpfung des nachhaltig verfügbaren Rohstoffes Fichtenstarkholz sein. Der österreichische Holzmarkt unterliegt zur Zeit einem starken Wandel. Noch bis vor kurzem bestanden für die österreichischen Forstwirtschaft bei dem Produkt Nadelstarkholz (Bhd > 40 cm) ein Absatzproblem. Durch die massive staatliche Förderung von Biomasse Heizkraftwerken kommt es aktuell zu einem drastisch erhöhten Bedarf an nachwachsenden Rohstoffen. Eine thermische Verwertung des oftmals hochwertigen Rohstoffes Starkholz entspricht derzeit einer Wertschöpfung von 110 €/t und kommt einer Verschwendung der Ressource Holz gleich. Ein Einsatz in der

Zellstoffproduktion mit anschließender Papierproduktion, Druck und Herausgabe kommt bereits auf 990€/t. Im Anschluß an den Durchlauf zahlreicher Recyclingkreisläufe ist eine thermische Verwertung weiterhin möglich (Teischinger 2007). Die Möglichkeit aus den adulten Fasern von Nadelstarkholz einen hochwertigen Zellstoff zu gewinnen, erhöht die Wertschöpfung um ein Weiteres.

B 5.2 Inhalte des Projekts

Innovative Nutzung von Fichtenstarkholz in der Zellstoff- und Papierindustrie

Im Zuge des vorgeschlagenen Projektes werden Daten zur Anwendung von Fasereigenschaften und deren Verteilung über den Stamm gewonnen. Nur aufgrund dieser Erkenntnisse ist es möglich, den Einsatz unterschiedlicher Holzherkünfte zu lenken. Die Nutzung bisher unbekannter Potentiale kann das Produkt Papier und Karton weiterhin konkurrenzfähig halten. Die nachhaltige Bewirtschaftung österreichischer Gebirgswälder kann damit unterstützt werden. Der Vorteil liegt in der Verwendung eines permanent nachwachsenden, CO₂ neutralen Rohstoffes.

Neue hochreißfeste Papiersorten können aus diesem Qualitätszellstoff geschaffen und neue Einsatzgebiete für Papier- und Kartonsorten erschlossen werden.

Gaps – Informationslücken schließen

Das „Missing Link“ in der Vermarktung und Verarbeitung von Starkholz liegt in erster Linie in fehlenden Forschungsergebnissen über die Verteilung der unterschiedlichen Holzeigenschaften über den Stamm und deren Entwicklung gemäß dem Alter. 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 einem entsprechenden Preis bei passenden Kunden umsetzen, die Weiterverarbeiter können es nicht eigenschafts- und nutzungsoptimiert auftrennen und zu höherwertigen Produkten verarbeiten. Dieses Projekt soll durch seine Forschungsergebnisse die entscheidende Wissenslücke schließen und mit konkreten Nutzungsvorschlägen einen weiteren Schritt zu einer geschlossenen Produktionskette Starkholz setzen.

B 5.3 Inhaltliche Beschreibung der Arbeitspakete

Arbeitspaket 1:

Gewinnung und Vorbereitung des Versuchsmaterials

- 1.1 Auswahl der Versuchsbloche
- 1.2 Lokalisierung des relevanten Jahrringabschnitts
- 1.3 Gewinnung des relevanten Jahrringabschnitts
- 1.4 Umwandlung in Hackschnitzel

Arbeitspaket 2:

Zubereitung und Mahlung des Zellstoffes

- 2.1 Kochung der Hackschnitzel mit Chemikalien
- 2.2 Waschung und Desintegration des Zellstoffes
- 2.3 Sortierung
- 2.4 Kappa-Zahl
- 2.5 Mahlung

Arbeitspaket 3:

Herstellung von Laborblättern, Prüfung des Zellstoffes

- 3.1 Prüfung der Zellstoffsuspension mit Kajaani FibreLab
- 3.2 Bestimmung des Mahlgrades nach Schopper - Riegler
- 3.3 Herstellung der Laborblätter
- 3.4 Bestimmung der technologischen Eigenschaften: Zugfestigkeit (ZF), Zugbrucharbeit (ZBA), Zugfestigkeitsindex (ZFI), Bruchdehnung (BD) nach ISO 1924/3
- 3.5 Bestimmung des spezifischen Weiterreißwiderstandes vergleiche ISO 1974
- 3.6 Bestimmung des spezifischen Berstwiderstandes nach ISO 2758
- 3.7 Bestimmung des Luftwiderstandes nach Gurley

Arbeitspaket 4:

Auswertung und Publikation

- 4.1 Auswertung der gewonnenen Daten
- 4.2 Publikation

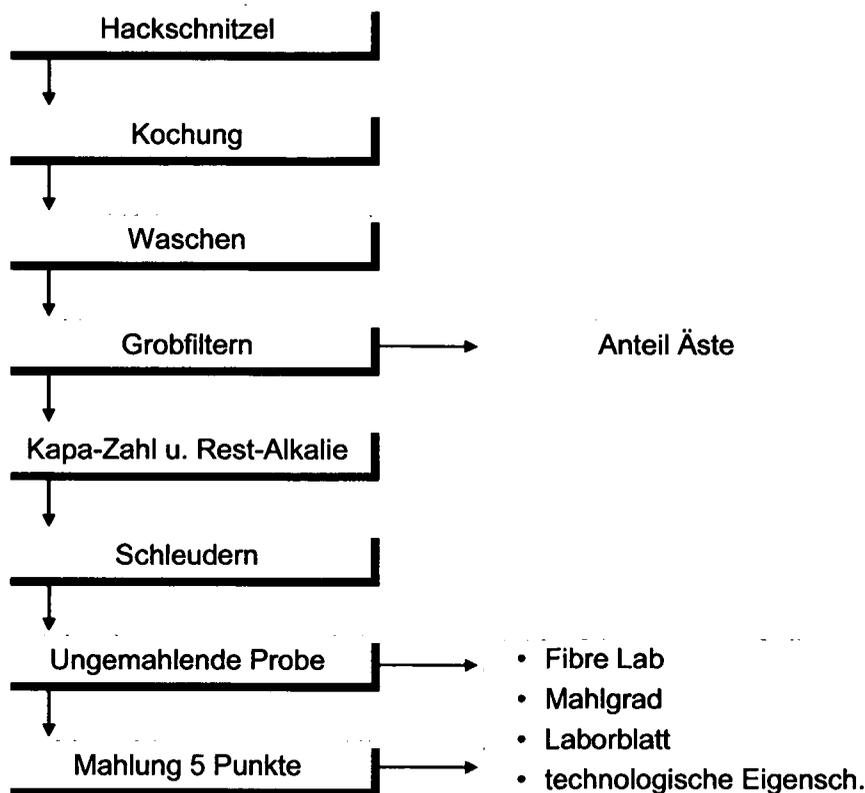


Abb 1: Prozessübersicht Zellstoffherstellung und anschließende Prüfung

Arbeitspaket 1

Gewinnung und Vorbereitung des Versuchsmaterials

1.1 Auswahl der Versuchsbloche

Am Institut für Holzforschung vorhandenen Starkholzproben, Restbestände des XXL-Wood Projekts, werden so ausgewählt, daß es zu einer Ausbeute an Hackschnitzeln von 45°kg kommt. Das Probenmaterial des XXL Wood Projektes der Fabrik der Zukunft wurde in drei Höhenstufen (Höhenstufe I (300 – 500 m SH) hohe Bonität, Höhenstufe II (550 – 900 m SH) mittlere Bonität, Höhenstufe III (> 900 m Gebirgsstandort) mit den dementsprechenden Bonitäten geworben. Die unterschiedlichen Herkünfte werden bei der Probenzusammenstellung bedacht. Stammabschnitte die im Bereich der zu werbenden Proben Abnormitäten wie Äste, Reaktionsholz, Fäule, Pilz und sonstige Degradation aufweisen werden ausgeschlossen. Zudem sollten sie einen gleichmäßigen Jahringaufbau aufweisen. Es werden Proben einzelner Individuen zusammengefaßt, die aus der gleichen Region sowie vom selben Baumabschnitt stammen. Pro Individuum können maximal 300g geworben werden. Ein enger Zusammenhang besteht zwischen den Faserlängen und der Baumhöhe in der die Probe geworben wurde. Dies wird bei der Probenzusammenstellung berücksichtigt.

1.2 Lokalisierung der relevanten Jahrringabschnitte

Nur die äußeren, ab einem Alter von etwa 20 Jahren gebildeten Jahrringe können zur Weiterverarbeitung verwendet werden, da erst hier die adulte Jahrringbildung beginnt. Abbildung 2 und 3 nach Koch (1965) und Lecourt (2005) zeigen schematisch die Faserlängenverteilung in Nadelhölzern. Bereits durchgeführte Untersuchungen über die Faserlängen (Silviscan) in den einzelnen Jahrringen werden zur Hilfe genommen. Proben mit auffallend hohen Faserlängen werden bevorzugt.

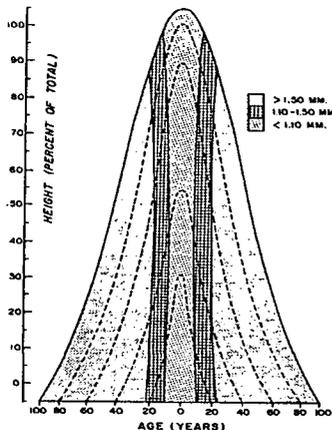


Abb. 2: Variationen in der Faserlänge
(Koch 1965)

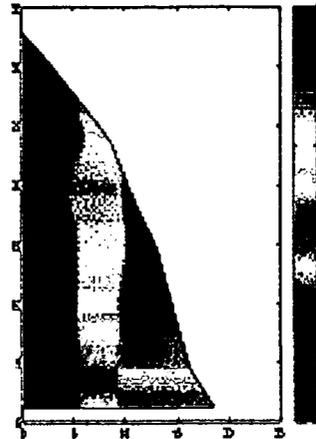


Abb. 3: Faserlängeverteilung in einem Fichtenstamm
als eine Funktion von Höhe und Alter
(Lecourt 2005)

1.3 Gewinnung der relevanten Jahrringabschnitte

Die Gewinnung der relevanten Proben geschieht mittels Bandsäge. Es wird ein Quader ausgehend vom Splint von 4 cm x 5 cm x Blochhöhe geworben. Die Lage dieses Quaders orientiert sich nach dem Abschnitt an dem die vorangegangenen Faserlängenmessungen vorgenommen wurden. Die Proben werden so nahe wie möglich an die vorangegangenen Messungen angelegt. Anschließend wird die Blochhöhe in 3,5 cm Abschnitte gesägt.

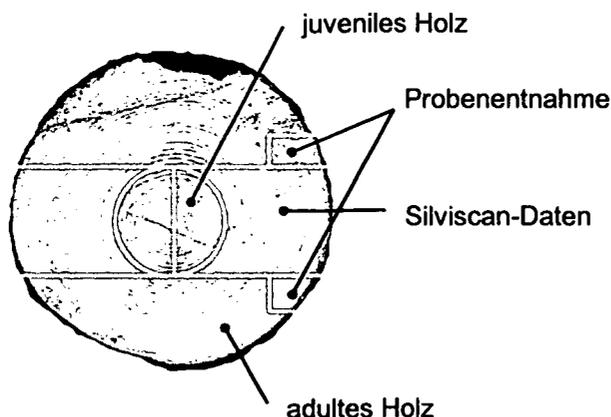


Abb. 4: Schematische Darstellung der Probenentnahme

1.4 Umwandlung in Hackschnitzel

Diese geschieht händisch, da die zu verarbeitende Probenmengen zu gering sind und mögliche Verluste durch eine maschinelle Aufbereitung nicht toleriert werden können. Die Dimension der Hackschnitzel (siehe Abb. 5) ist entscheidend für eine ordnungsgemäße Kochung. Es werden die von der Industrie gewünschten und vorgeschriebenen Maße eingehalten (Länge 25 – 28 mm, Dicke 4 – 8 mm, Breite 15 – 30 mm; nach ÖNORM ISO 8966) (Fuhrmann et al. 1995). Die Längsseite der Hackschnitzel entspricht der Längsachse des Blochs. Die Stirnseite der einzelnen Schnitzel muß sauber geschnitten und darf nicht gestaut sein, da hier hauptsächlich die Chemikalien zur Auflösung des Zellverbands eindringen und es ansonst zu einer verringerten Ausbeute kommt. Auf Grund der exakten Ausführung wird eine Siebfractionierung überflüssig. Die händische Herstellung entspricht den Laborbedingungen, um eventuelle Fehler in diesem Produktionsschritt ausschließen zu können. Pro Versuchreihe werden mindestens 1.000 g lufttrockenes Holz benötigt.



Abb 5.: Hackschnitzel aus industrieller Produktion (Lenzing 2005)

Arbeitspaket 2

Zubereitung und Mahlung des Zellstoffs

2.1 Kochung der Hackschnitzel mit Chemikalien

Es gibt zwei maßgebliche Verfahren zur Gewinnung der Fasern, das Mechanische und das Chemische. Das mechanische Verfahren hat eine hohe Endausbeute, jedoch werden die Fasern größtenteils beschädigt und uniformiert (Sundholm 1999). Die chemische Methode bietet zwar eine wesentlich geringere Ausbeute, dafür sind die Qualität und der mögliche Einsatzbereich des Zellstoffs wesentlich höher. Die Fasern bleiben weitgehend in ihrer ursprünglichen Ausprägung erhalten, besonders die Faserlängen. Aufgrund dessen kommt bei den anstehenden Versuchen nur dieses Verfahren in Frage.

Die Kochungen erfolgen nach der Kraft-Methode, die weltweit am häufigsten angewandte Technologie auf diesem Sektor (Niendieker 1993). Es kommen bei diesem stark alkalischen Natrium-Sulfatverfahren eine Mischung aus Na_2CO_3 , Na_2S und NaOH zum Einsatz im pH Bereich von 13 - 14 (Schöne 1994). Das Verfahren ist für sämtliche Baumarten geeignet, ist bis zu einem gewissen Grad tolerant gegen Rinde, ermöglicht rasche Delignifizierung und resultiert in hochfestem Zellstoff. In ungebleichten Zustand ist das Haupeinsatzgebiet Sack- und Verpackungspapier und als gebleichtes Papier wird es im Schreib- und Druckbereich verwendet.

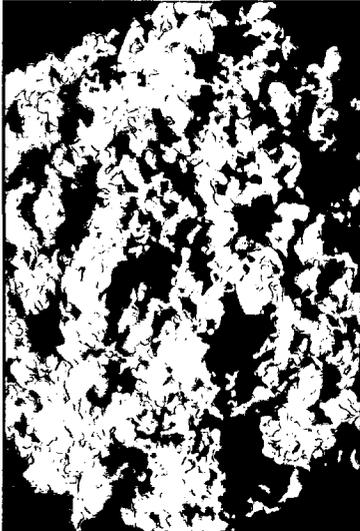


Abb 6.: Zellstoff aus industrieller Produktion (Lenzing 2005)

800 g ofentrockene Hackschnitzel pro Kochung werden nach erfolgter Vordämpfung mit einem Liter destilliertem Wasser im Flüssigkeitsverhältnis 4:1 bei konstanter Temperatur von 166°C mit Weißlauge in einem Laborkocher (siehe Abb. 7) gekocht. Sobald der gewünschte Druck von 6 bar erreicht ist, beträgt die Kochzeit 1,5 Stunden. Der gesamte Kochprozeß mit Temperatur- und Druckverlauf wird mittels Computerprogramm (Fix32) überwacht und aufgezeichnet. Die gewünschte Kappa-Zahl, Aussage über Restligningehalt, beträgt 40. Die Ausbeute an Zellstoff (siehe Abb. 6) beläuft sich auf zirka 50 %.

Nach dem Ablauf der Kochzeit wird der Restalkaligehalt der Lauge aus dem Kocher, durch Ablassen einer kleinen Menge, bestimmt.

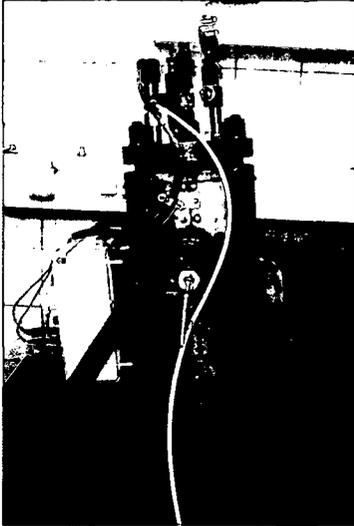


Abb 7.: Laborkocher

2.2 Waschung und Desintegration des Zellstoffs

Das gekochte Hackgut, ab nun als Zellstoff bezeichnet, wird nach Ablassen des Druckes 20 Minuten lang in seiner Lauge belassen. Anschließend wird der Zellstoff im Diffuseur (siehe Abb. 8) ausgewaschen und zu Portionen von 500 g in einem Standard-Aufschlaggerät bei 30.000 Umdrehungen nach ISO 5263 zerkleinert.



Abb 8.: Diffuseur

2.3 Sortierung

Die so erhaltene Stoffsuspension wird abermals gründlich mit heißem Wasser im Diffuseur ausgewaschen und danach mit einem HS-Fraktioniergerät (siehe Abb. 9) von den Ästen und groben Splintern befreit. Nach dem Fraktionieren wird der Zellstoff in einer Zentrifuge 20 Minuten entwässert und anschließend der Trockengehalt für die Ausbeute bestimmt.

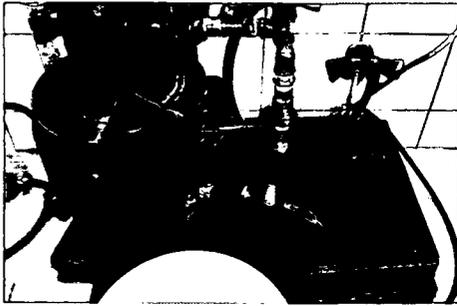


Abb 9.: HS-Fraktioniergerät

2.4 Kappa-Zahl

Vom ersten fraktionierten Zellstoff wird die Kappa-Zahl bestimmt. Sie gibt Aufschluß über die Härte des gekochten Zellstoffs, also den Restligningehalt und sollte 40 ± 4 betragen.

2.5 Mahlung

Der Zellstoff wird nach Bestimmung des Trockengehaltes (ISO 638) mehrere Mahlungen mit einer PFI-Mühle (siehe Abb. 10) nach ISO 5264/2 mit 5 Mahlpunkten unterzogen. Nach der Ausscheidung einer ungemahlene Referenzprobe von 24 g wird der Zellstoff zu je 30 g mit unterschiedlichen Umdrehungsanzahlen gemahlen. Die Mahlpunkte liegen bei 2.000, 3.000, 4.000, 7.000 und 9.000 Umdrehungen.

Das Ergebnis daraus läßt sich in einer sogenannten Mahlkurve darstellen.

Eine Mahlung des Zellstoffs findet ebenso im großindustriellen Rahmen statt. Dabei werden die Primärwand „aufgerauht“ und die gesamte Zellwandstruktur gelockert. Diese Behandlung fördert die Bindungsfähigkeit der einzelnen Fasern (Roberts 1996).

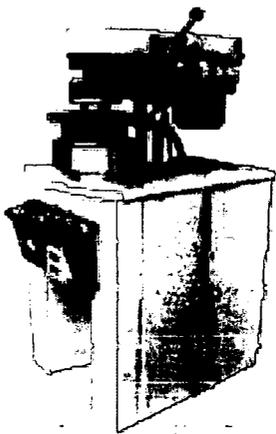


Abb 10.: PFI Mühle

Arbeitspaket 3

Herstellung von Laborblättern, Prüfung des Zellstoffs

3.1 Prüfung der Zellstoffsuspension mit Kajaani FibreLab

Zur Probenbreitung wird aus 2 g absolut trockenen, ungemahlten Zellstoff ein Laborblatt nach dem Rapid-Köthen-Verfahren (ISO 5269/2) hergestellt und daraus folgend 1,5 g absolut trocken entnommen. Diese Teilmenge wird mit 10 l Leitungswasser in einem Verteiler aufgelöst. Nach 20.000 Umdrehungen werden dreimal 50 mm entnommen. Diese Proben werden unabhängig voneinander vollautomatisch vom „Kajaani FibreLab“ Gerät geprüft. Es werden sämtliche in der Probe vorhandene Fasern durch eine Kapillare gesaugt. Hier wird Faserlänge [μm], Faserweite [μm], Faserwandstärke [μm] und der längengewichtete Faseranteil zwischen 0,05 und 0,5 %, entspricht dem Feinstoffanteil, gemessen. Dargestellt werden die Ergebnisse in einem Zusammenfassungsbericht, der unter anderem durch die Längengewichtete tatsächliche Länge der Fasern [mm], Anzahl aller in der Probe vorhandenen und der gemessenen Fasern, beinhaltet. Graphische Darstellungen der Verteilungen erhöhen die Anschaulichkeit.

3.2 Bestimmung des Mahlgrades mit Schopper-Riegler-Gerät nach DIN ISO 5267/I

Dieses Verfahren dient der Prüfung des Entwässerungsverhaltens des Zellstoffs der einzelnen Mahlgrade. Es ist ein wichtiger Zeiger für die den rationellen Einsatz in der Papiermaschine. Rasch Entwässerung ist nötig für eine hohe Maschinenlaugeschwindigkeit. 1 Liter eines 2,0 g enthaltenden Stoff-Wasser-Gemisches wird in gut gemischtem Zustand in den Apparat eingegeben. Am unteren Ende des Gerätes ist ein Filter durch den das Wasser abfließen kann. Auf diesem Sieb bildet sich ein Filterkuchen. Die vom Filterkuchen ablaufende Wassermenge wird durch zwei Auslaufdüsen geteilt, wobei eine senkrecht angebrachte, feine Düse eine Wasseruhr darstellt, über die 250 ml Wasser pro Minute ausfließt. Der Wasserüberschuß tritt durch eine seitliche große Öffnung aus. Je langsamer der Filterkuchen entwässert, um so weniger Wasser gelangt die seitliche Ausflußöffnung. Die seitliche Ausflußmenge ist direkt in „SR“ als Maß für die Entwässerung geeicht.

3.3 Herstellung der Laborblätter mit dem Rapid- Köthen- Blattbildner nach ISO 5269/I

Das Ziel ist reproduzierbare Laborblätter herzustellen, die für die Bestimmung von mechanischen, optischen und eventuell Reinheits-Kennwerten geeignet sind.

Der Zellstoff wird mit 10 l Leitungswasser vermischt aufgeschlagen. Unter ständigem Rühren werden viermal 770 ml Suspension des gemahlten Zellstoffs für die Bildung der Blätter entnommen. Für den ungemahlten Zellstoff werden viermal 960 ml (2,3 g) für 4 Prüfblätter, einmal 420 ml (= 1,0 g) und einmal 880 ml (=2,1 g) für zwei Ansichtblätter abgefüllt.

Das Blattbildungsgerät besteht aus drei genormten Teilen: Blattbildner zur Herstellung eines nassen Faservlieses; Gerät zur Übertragung dieses Vlieses vom Blattbildungssieb auf den Trockner und Trockner zur Verdichtung und Trocknung der Laborblätter. Im Gegensatz zur

Verwendung des Zellstoffs in der Fabrikation, wo nach Aufbringung des Zellstoff auf die Papiermaschine eine Ausrichtung der einzelnen Fasern in Maschinenlaufrichtung erfolgt, ist unter Laborbedingungen eine möglichst willkürliche Verteilung der Fasern im Blatt gewünscht.

3.4 Bestimmung der technologischen Eigenschaften: Zugfestigkeit (ZF), Zugbrucharbeit (ZBA), Zugfestigkeitsindex (ZFI), Bruchdehnung (BD) nach ISO 1924/3

- Bruchwiderstand, Bruchdehnung, und Arbeitsaufnahme werden vom Zugfestigkeitsprüfer automatisch nach Beendigung der Prüfung ausgedruckt.
- Zugfestigkeit (ZF): Breitenbezogener Bruchwiderstand in $[\text{kN}/\text{m}^2]$
- Zugbrucharbeit (ZBA): Flächenbezogenes Arbeitsaufnahmevermögen in $[\text{J}/\text{m}^2]$
- Zugfestigkeitsindex (ZFI): Bruchwiderstand breiten- und längenbezogen in $[\text{Nm}/\text{g}]$
- Bruchdehnung (BD): Verhältnis aus Längenänderung beim Bruch der Probe und der Meßlänge in [%]. Als Meßlänge gilt die freie Einspannlänge.
- Relative Naßfestigkeit (relative Zugfestigkeit naß): Verhältnis aus Naß-Zugfestigkeit (ZF naß) und (Trocken-)Zugfestigkeit der klimatisierten Probe in [%]

3.5 Bestimmung des spezifischen Weiterreißwiderstandes vergleiche ISO 1974

Entspricht dem flächenbezogener Durchreißwiderstand. Vier Probestücke werden nach dem Einspannen mit einem Initialschnitt versehen. Das Pendel reißt dann, nach dessen Freigabe, die Proben in Verlängerung des Initialschnittes durch. Das Resultat wird als mittlerer Durchreißwiderstand per Probefogon für die gesamte Probe angegeben. Pro Prüfung werden 4 Messungen durchgeführt. Bei jeder Messung werden 4 Lagen Papier oder Zellstoffblätter durchgerissen.

3.6 Bestimmung des spezifischen Berstwiderstandes nach ISO 2758

Ein mit einer Gummimembran abgedeckter Druckraum überträgt den hydraulisch erzeugten Druck über diese Gummimembran auf die eingespannte Papierprobe. Dabei wird die Gummimembran aufgewölbt und die Probe bis zum Bersten beansprucht.

Der Berstwiderstand ist jener Widerstand, den die eingespannte Probe dem einseitig gleichmäßig ansteigenden Druck bis zum Bersten entgegensetzt.

3.7 Bestimmung des Luftwiderstandes nach Gurley (ISO 5636/5)

Das Gurley - Densometer mißt den Widerstand von Papier und ähnlichen Werkstoffen gegen Luftdurchlässigkeit. Durch Messen der Zeit, die eine bestimmte Luftmenge benötigt, um durch eine Probe unter konstantem Druck zu dringen, erhält man ein Maß des Widerstandes gegen den Luftdruck. Diese Eigenschaft ist besonders wichtig für Sackpapier, das aufgrund moderner Befüllungstechnik eine hohe Luftdurchlässigkeit aufweisen muß. (Levlin und Söderhjelm 1999).

Arbeitspaket 4

Auswertung und Publikation

4.1 Auswertung

Der Auswertung vorausgehend müssen sämtliche Ergebnisse der physikalischen Prüfungen sowie die Daten der FiberLab Auswertungen in einer Datenmatrix zusammengefaßt werden. Dies macht erst eine Auswertung in Form einer multivariaten Statistik möglich. Es wird das Computerprogramm SPSS zum Einsatz kommen. Die Ergebnisse werden diskreptiv sowohl in Tabellenform als auch graphisch zusammengefaßt.

4.2 Publikation

Die Ergebnisse werden in einer Form dargestellt, daß sie auch von nicht direkt in diesen Themenkreis involvierten Personen interpretiert werden können. Publikationen in Fachzeitschriften sowie die Teilnahme an Konferenzen sollen das erworbene Wissen einem weiten Kreis von Wissenschaftlern und Anwendern erschließen.

B 5.4 Beschreibung der angewandten Methodik

Eine genaue Beschreibung beinhaltet der Abschnitt der Arbeitspakete.

Die Auswahl des Versuchsmaterials in mehreren Wuchsgebieten wurde von Materialforschern in Zusammenarbeit mit Forstwirten durchgeführt.

Genau Aufzeichnungen über jeden einzelnen Stamm und deren Markierung garantieren die Nachvollziehbarkeit aller möglichen beeinflussenden Parameter.

Alle Verfahren zur Ermittlung der Materialkenngrößen entsprechen dem letzten Stand des Wissens und der Technik und garantieren umfassende und genaue Ergebnisse hinsichtlich der Fasereigenschaften.

B 5.5 Angaben über bereits vorhandene Studien und Patente, die zentral für das Vorhaben sind

In diesem Projekt wird auf das 2004 abgeschlossene Projekt „XXL-Wood“ im Rahmen der Fabrik der Zukunft aufgebaut. Die hierbei gewonnenen Faserdaten, es konnte unter anderem außergewöhnlich hohe Faserlänge festgestellt werden, haben veranlaßt, über mögliche Einsatzgebiete in der Zellstoff- und Papierindustrie nachzudenken. Bisherige Forschungsergebnisse auf dem Gebiet der Zellstoff- und Papierproduktion haben gezeigt, daß lange Fasern für eine Reihe positiver Eigenschaften bei der Produktion und beim finalen Produkt ausschlaggebend sind.

Der Vortrag anlässlich des Workshops „Starkholz: Produkte – Märkte – Forschungsbedarf“, HFA-Forum in Salzburg, 2002 gehalten von Prof. Teischinger, zeigt das Innovationspotential von Starkholz auf. Wurde damals von einer sinkenden Nachfrage nach Starkholz schlechter Qualitäten ausgegangen, so hat sich die Situation bis 2007 stark verändert. Geblieben oder vielmehr gestiegen ist die Notwendigkeit Starkholzstämmen optimal auszunutzen. Forschungslücken werden aufgezeigt.

Die differenzierte Nutzung von Starkholz wird thematisiert bei Cost Action E40 – Conference in Biel „Large Diameter Timber – Problem or Chance? (Teischinger und Patzelt 2006)

B 5.6 Beschreibung des Standes der Technik

Derzeit wird überwiegend juveniles Holz als Rohstoff in der Zellstoffindustrie eingesetzt. Adultes Holz kommt über den Umweg der Sägenebenprodukte in den Verarbeitungsprozeß.

Das Holz kommt direkt als Hackschnitzel oder in Stammform im Werk an. Derzeit wird nur zwischen Nadel- und Laubholzhackschnitzel unterschieden, wobei die jeweilige Geometrie der Hackschnitzel verschiedene Anforderungen erfüllen muß (Papierholz Austria 2006). Eine Differenzierung in einzelne Baumarten findet nicht statt. Bei Nadelholzhackschnitzel ist am Wichtigsten, daß es zu keinen Stauchungen an der Stirnseite kommt, da das Eindringen der Chemikalien hauptsächlich hier stattfindet.

Die Anforderungen an den Zellstoff sind je nach Endprodukt unterschiedlich. In der Sackpapierproduktion zum Beispiel ist eine hohe Reißfestigkeit im Gegenzug jedoch auch eine hohe Luftdurchlässigkeit notwendig.

Länge, Durchmesser, Wandstärke und Mikrofibrillenwinkel der Sekundärwand der Fasern sind die entscheidenden Parameter, die die Eigenschaften, des daraus aufgebauten Papiers beeinflussen. In der Folge werden die speziellen Ausprägungen der adulten Fasern in diesen Punkten einzeln behandelt. Grundsätzlich muß der Unterschied zwischen Früh- und Spätholz erläutert werden der in jeden Jahrring vorhanden ist, unabhängig ob juveniles oder adultes Holz.

Die einzelnen Faserparameter und deren Zusammenspiel

A Faserlänge

Die Faserlängen der Fichte (*Picea abies*) ändern sich im Laufe eines Baumalters. Grob gesagt werden sie mit steigendem Alter immer länger. Dies dürfte mit den erhöhten Stabilitätsanforderungen an das im Lebensabschnitt später gebildete Holz zusammenhängen. Das zu tragende Gewicht des Baumes steigt bekanntlich, folglich werden belastbarere Einzelfasern gebildet. Die erhöhte Stabilität der einzelnen Fasern kann bei einem daraus produzierten Papierblatt ebenfalls von Nutzen sein. Die Faserlänge wird in der Papierforschung als der

entscheidende Parameter für die Reißlänge von Zellstoff und Papier angeführt, die Grundvoraussetzung für hohe Maschinenlaufgeschwindigkeiten und Verhinderung von Weiterreißen.

Die Faserlänge ist verantwortlich für die Reißlänge von Zellstoff bzw. Papier. Je länger die Faser, desto mehr Verknüpfungsmöglichkeiten zu anderen Fasern und desto höher der Reißindex. (Lecourt 2005)

Die Länge ist eine der wichtigsten Charakteristika von Papierfasern. Eine lange Faser kann mehr Bindungen zu anderen Fasern eingehen und dabei besser im Netzwerk gehalten werden als kurze Faser. Die Reißfestigkeit eines nassen Blattes steigt rapide mit der Faserlänge. Reißfestigkeit (tensile strength), Bruchdehnung (breaking strain) und Bruchzähigkeit (fracture toughness) von trockenem Papier werden meist auch mit steigender Faserlänge verbessert.

Es ist allgemein bekannt, daß die durchschnittliche Faserlänge in Bäumen vom Mark ausgehend steigt bis zu einer nahezu konstanten durchschnittlichen Faserlänge nach 30-50 Jahren Wachstum vom Mark aus. Genauso ist die Faserlänge bei Nadelbäumen im Spätholz merklich höher als im Frühholz (Biermann 1996).

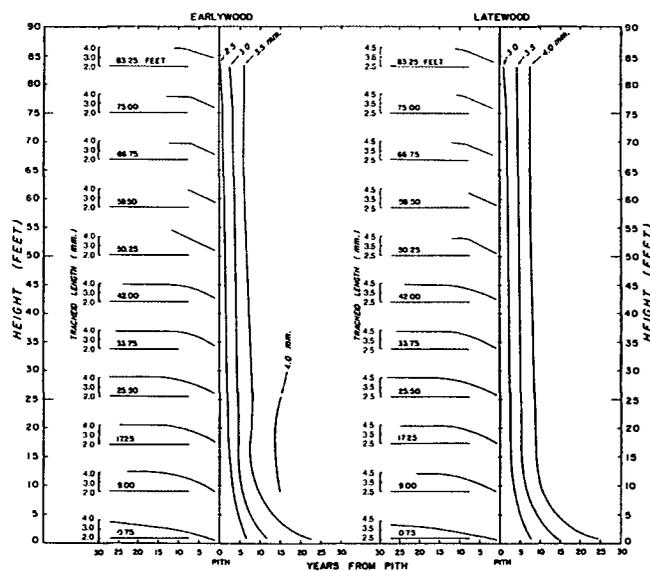


Abb 11: Faserlänge Analyse von mazerierten Proben der Fichte (*Picea abies*). Kurven rechts vom Mark sind Tracheidenlängenkonturlinien von Manwiller (1972) (Biermann 1996)

Die Dimensionen der Tracheiden variieren innerhalb von Baumarten. Umwelteinflüsse und das Alter des Kambiums – der Abstand des Jahresringes vom Mark in Jahren – verursacht es. Holz von jungen Bäumen oder Wipfel von älteren Bäumen haben kürzere Tracheiden als Holz von alten Bäumen oder Sägespänen. Die durchschnittliche Länge von ausgewachse-

nen Tracheiden für die häufigsten Zellstoffbaumarten ist im adulten Holz für gewöhnlich 3 - 4 mm (Kellomäki 2000).

Aufgrund der Eigenheiten des Baumwachstums ergibt sich ein auf 30 – 40 % der Baumhöhe nach innengewölbten Mantel von adulten Holz um den juvenilen Kern. Die Wipfelregion ist völlig auszunehmen, da hier nur juveniles Holz gebildet wird.

Die Faserdimension variiert im Stamm einerseits radial (vom Mark zum Kambium) und vertikal (vom Stammfuß zum Wipfel). Das Variationsmuster ist gleich in verschiedenen Stämmen. Die Faserlänge hat die größte Variation unter den Fasereigenschaften. Variationen in der Tracheidenlänge folgen der Variation in der Länge von kambialen Zellen, was wiederum vom kambialen Alter abhängt. Folglich steigt die Faserlänge von Mark zur Rinde in allen Höhen des Stamms (Sundholm 1999).

Die Faserlänge steigt rapide nahe dem Mark während der juvenilen Periode, verlangsamt sich danach graduell und verflacht nahezu wenn das Kambium bereits sehr alt ist. Die Steigerung geht am langsamsten am Stammfuß vor sich. Die längsten Fasern konnten bei einer 96 Jahre alten Fichte (*Picea abies*) in den äußeren Teilen des Stammes auf einer Stammhöhe von 10 - 40% gefunden werden (Sundholm 1999).

Die Faserlänge variiert in der vertikalen Richtung vom Stamm innerhalb eines Jahresringes. Die Faserlänge steigt vom Stammfuß zum Mittelteil vom Stamm und sinkt wieder zum Wipfel hin. Für die meisten Koniferen tritt die maximale durchschnittliche Tracheidenlänge bei einer Höhe von 30 - 40 % vom Stamm auf. (Sundholm 1999)

Bei Versuchen wurden die unterschiedlichen Eigenschaften von thermomechanischen Zellstoff, gewonnen aus den unterschiedlichen Stammregionen von Kiefer (*Pinus radiata*), festgestellt. Das Erdbloch produziert Zellstoff mit dem höchsten und der Wipfel mit dem geringsten Langfaseranteil. Ungeachtet ob der Vergleich als eine Funktion von Mahlgrad, Blattdicke oder Energieverbrauch gemacht wird, die Bruchdehnung von Erdblochzellstoff ist größer als die vom zweiten und Wipfelblockzellstoff. Zum selben Ergebnis kommt man bei der Reißlänge. Genau umgekehrt ist es beim Vergleich der optischen Zellstoffeigenschaften. Die Wahl des Blochs hat einen ausgeprägteren Effekt auf die Beziehung zwischen Festigkeits- und optischen Eigenschaften als die Holzdichte (Sundholm 1999).

Die hohe Faserlänge hat einen positiven Einfluß auf die Papiereigenschaften. Die Zellstoffqualität wird durch längere Fasern verbessert, da lange Fasern besser verfilzen. Der Einsatz für hochreißfeste Papiersorten oder als Zusatz für die Recyclingpapierherstellung ist denkbar. Die Faserlänge ist für die Papierherstellung und anderen Verarbeitungen des zersetzten Holzes von Bedeutung. Bei der Recyclingpapiererzeugung verkürzen sich die Holzfasern mit jedem Recyclingprozess (Down-Cycling) und Rohmaterial muss zugemischt werden, um die Festigkeit des Papiers zu gewährleisten (www.starkholz.at).

B Zellwanddicke im Verhältnis zum Gesamtdurchmesser

Gesamtdurchmesser und Wanddicke der Zelle separat betrachtet, haben nahezu keine Aussagekraft über die Verwendbarkeit in Zellstoff und Papier. Entscheidend ist das Verhältnis (Sandermann 1997). Nadelholz mit hohem Anteil an Spätholz, gibt massige, poröse Blätter, mit dürrtigen Faserbindungen bei gleichzeitig hoher Reißfestigkeit. Wenn die Dicke der Zellwand geringer ist als der Radius des Lumens der Faser im Holz, macht das Holz ein gutes Papier (Runkel 1952). Die relative Dicke der Zellwand wird reflektiert dargestellt in der Faser Coarseness

(Coarseness = $(\text{Faseraußendurchmesser})^2 - (\text{Faserinnendurchmesser})^2$) [mg/100m].

C Mikrofibrillenwinkel der Faser Sekundärwand

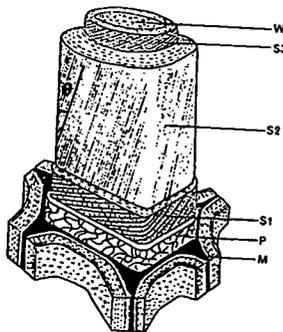


Abb. 12: Schematische Darstellung einer Nadelholztracheide zusammengesetzt aus Mittellamelle (M) und den vier Faserwänden (P, S1, S2 und S3), in der S2 Schicht ist der Mikrofibrillenwinkel angedeutet (Sundholm 1999)

Jede Holzfaser besteht aus einer Primärwand und Sekundärwand, wobei die letztere in drei sich stark unterscheidende Schichten unterteilt wird. Nach Stenius (2000) ist die zweite Sekundärwand (S2 Schicht) generell die dickste Schicht und deren Beschaffenheit dominiert die Eigenschaft der gesamten Faser. In dieser Schicht sind die Zellulose Mikrofibrillen in einem Winkel von 10 bis 30° zur Längsachse der Faser orientiert. Das gibt der Faser eine höhere Reißfestigkeit in der Längsrichtung verglichen zur radialen und tangentialen Ausrichtung. Fasern quellen und schwinden nur unmerklich in Längsrichtung während es zu großen Schwinden in den anderen zwei Ausrichtungen kommt (Biermann 1996).

Die S2 Schicht nimmt bei Fichte (*Picea abies*) rund $\frac{2}{3}$ der gesamten Zellwandstärke ein, aus diesem hohen Anteil begründet sich der entscheidende Einfluß auf die mechanischen Eigenschaften der gesamten Faser. Die Mikrofibrillen winden sich spiralig in einem konstanten Winkel um das Lumen. Fibrillen sind schmale Bündel aus primären Zellulosemolekülen. Sie sind umgeben von einer Matrix aus amorphen Material, hauptsächlich bestehend aus Hemicellulose und Lignin. Diese Matrix ist dehnbar zäh im Vergleich zu den steifen Fibrillen. Daraus ergibt sich einerseits das elastische Modul sowie die Reißfestigkeit (tensile strength) der Faser in der axialen Richtung. Die axiale Reißfestigkeit der Faser steigt bei sinkendem Fibrillenwinkel (Niskanen 2000).

Page et al. (1972) hat in seiner Arbeit gezeigt, daß die Reißfestigkeit in der Längsrichtung bei individuellen Fasern prinzipiell vom S-2 Fibrillenwinkel abhängt (bei gleichzeitiger Abwesenheit von Faserdefekten, etc.) und daß die Reißfestigkeit rapide abnimmt mit steigendem Fibrillenwinkel.

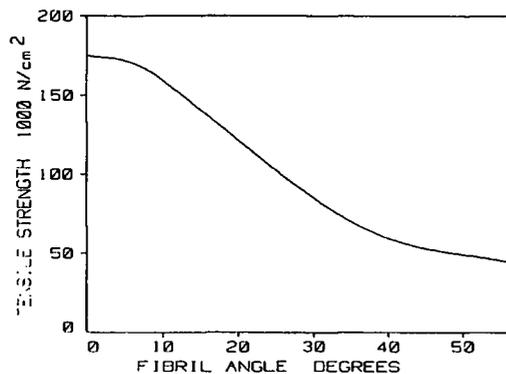


Abb. 13: Das Verhältnis der Faserfestigkeit zum Mikroibrillenwinkel der S2 Schicht (60 % Ausbeute, Fichtenfasern nach Kraftverfahren) (Page et al. 1972)

Die einzelnen Mikroibrillen, bestehend aus Zelluloseketten und Hemizellulose, weisen eine hohe Zugfestigkeit auf, Ihre Verbindung zueinander ist um einiges schwächer. Die Zugfestigkeit der gesamten Faser hängt nun davon ab, zu welchem Anteil die Mikroibrillen direkt oder deren Verbindung zueinander beansprucht werden.

Der durchschnittliche Fibrillenwinkel in der S2-Schicht von Nadelholztracheiden variiert wie folgt (Sundholm 1999):

- Er wird geringer vom Mark zum Kambium in allen Höhen des Stammes. Der Winkel ist am höchsten nahe dem Mark wo die Faserlänge am geringsten ist. Er steigt rapide in radialer Richtung zum Kambium hin, um danach ungefähr konstant zu bleiben
- Er ist geringer im Spätholz als im Frühholz eines ausgewählten Jahrringes
- Er steigt vom Stammfuß zum Wipfel innerhalb eines ausgewählten Jahrringes
- Er ist geringer in schmalen Jahrringen als in Weiten

Die Variation des Fibrillenwinkels korreliert negativ mit der Faserlänge und positive mit der Faserweite in einem Baumstamm. Die Variation des Fibrillenwinkels mit der Weite des Jahrringes und zwischen Frühholz und Spätholz zeigt den Effekt der Wachstumsrate auf den Fibrillenwinkel; Der Fibrillenwinkel einer langsam gewachsenen Faser ist kleiner als der einer schnell Gewachsenen (Sundholm 1999).

Page et al. (1972) faßt zusammen „ Fasern mit dem selben Fibrillenwinkel haben ähnliche Reißfestigkeit, unabhängig von der Baumart“. Die maximale Reißfestigkeit der Faser von 17000 N/cm^2 entspricht einer Reißlänge von über 100 km, was in etwa 10 mal stärker ist als Papier (Biermann 1996).

Einzelne Fasern mit hohem Fibrillenwinkel in der S2 Schicht haben eine höhere Bruchdehnung und geringere Reißfestigkeit (tensile strength) als entsprechende Fasern mit geringem Fibrillenwinkel wie Abbildung 14 zeigt (Niskanen 2000).

In Abbildung 15 ist zu sehen, daß das elastische Modul der Fasern genauso mit sinkendem Fibrillenwinkel steigt.

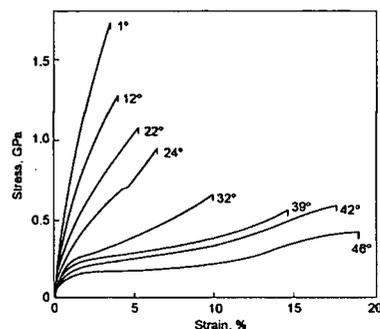


Abb. 14. Last-Dehnungskurve für Fichtenfasern mit unterschiedlichen Fibrillenwinkeln (1,2mm Spannweite) (Niskanen 2000)

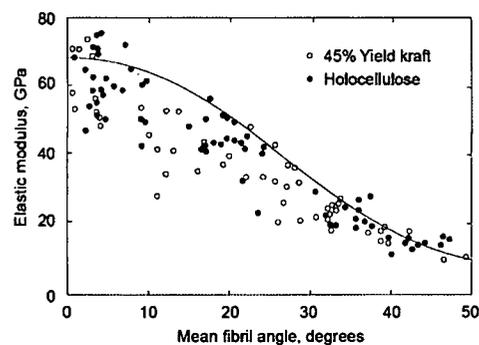


Abb. 15:: Elastizitätsmodul der Fasern vs. den Fibrillenwinkel der S2 Schicht. Die durchgezogene Linie gibt den theoretischen Zusammenhang (Niskanen 2000)

D Juveniles Holz vs. adultes Holz

Ein junger Baum produziert nur juveniles Holz, ein alter Baum jedoch produziert adultes Holz am Stammfuß und juveniles Holz am Wipfel. Alles Holz über einer bestimmten Höhe ist juveniles Holz (Kellomäki 2000).

Juveniles Holz tritt auf in einem zylindrischen Innenteil entlang des Stammes, bestehend aus für gewöhnlich 10 - 20 Jahrringe. Es wird in der aktiven Krone gebildet als Resultat des Einflusses des Apikalmeristems auf das Kambium. Wenn im Zuge des Baumwachstums die Krone nach oben wandert, sinkt der Einfluß des Apikalmeristems auf den unteren Teil des Kambiums und adultes Holz wird gebildet (Kellomäki 2000).

In der Jugend des Baumes bildet das Kambium nicht ausgereiftes juveniles Holz. Adultes Holz wird später gebildet. Zu einem höheren Baumalter wird hauptsächlich adultes Holz

gebildet. Der Übergang von einer Phase zur Anderen ist ohne deutliche Abgrenzung (Biermann 1996).

Juveniles oder Kronen Holz unterscheidet sich in seiner Struktur von normalen Adulten Holz. Die folgenden Charakteristika sind typisch für juveniles Holz von Nadelbäumen verglichen mit adultem Holz (Kellomäki 2000):

- kürzere Tracheiden
- dünnere Zellwände
- geringeres Masse-zu-Länge Verhältnis der Tracheiden
- geringerer Anteil von Spätholz
- allmählicher Übergang von Früh- zu Spätholz
- höherer Fibrillenwinkel
- höherer Gehalt an Lignin
- geringerer Anteil an Zellulose
- höherer Anteil an Reaktionsholz
- höherer Anteil an Astholz
- geringere Dichte

Folgende Liste sind die wichtigen Zellstoff und Papiercharakteristika von juvenilen Holz (Kellomäki 2000):

- geringerer Ausbeute des Zellstoffs
 - kürzere Mahlzeit
 - höherer Anteil an Ausschuß
 - geringe Reißlänge (tear factor)
 - höhere Bruchdehnung (burst factor)
 - höherer Dehnfaktor (tensile factor)
 - höhere Falzzahl (folding endurance)
 - höherer Lichtstreuungskoeffizient
 - höhere Opazität
 - höhere Papierdichte und niedrigere Masse
 - glatte Papieroberfläche
 - geringerer Energieverbrauch bei mechanischer Zellstoffherstellung
- (Kellomäki 2000)

E Frühholz vs. Spätholz

In Regionen mit deutlich ausgeprägten Jahreszeiten und einer Wachstumspause im Jahresverlauf kommt es zur Jahrringbildung.

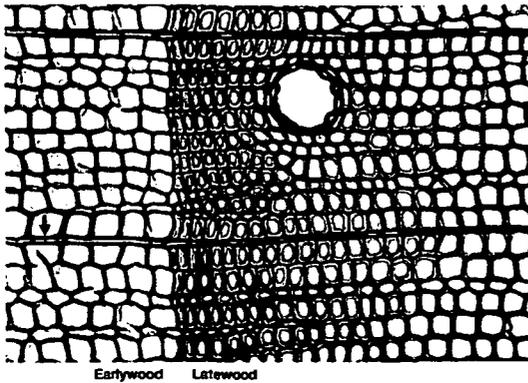


Abb. 16: Unterschied in Zellwandstärke und Zelldurchmesser bei Früh- und Spätholz (Sundholm 1999)

Als Ergänzung zur Faserlängenvariation in radialer und vertikaler Richtung innerhalb eines Stammes, treten Variationen genauso in jedem einzelnen Jahrring auf. Faserlänge steigt vom Frühholz zum Spätholz und erreicht seinen maximalen Wert am Ende der Wachstumsperiode. Bei Koniferen beträgt die Variation in der Faserlänge innerhalb eines Jahrringes im Durchschnitt 12 - 25 % (Sundholm 1999).

Spätholz hat eine höhere Querschnittsfläche, daraus ergibt sich ein höhere Bruchkraft (Kraft/Querschnittsfläche) als Frühholz. Die dickere S2 Schicht und der geringere Mikrofibrillenwinkel in Spätholzfasern ist verantwortlich für eine erhöhte Durchreißfestigkeit (Niskanen 2000).

F Verhältnis der einzelnen Parameter zueinander

Das Verhältnis Länge zu Durchmesser bei Nadelholztracheiden bewegt sich in einer Größenordnung von 100:1 (Sixta 2006). Dieses Verhältnis variiert innerhalb der Baumarten aber auch von Baum zu Baum als auch innerhalb eines einzelnen Stammes.

Die Hauptaufgabe für Frühholztracheiden ist der Wassertransport, derjenige der Spätholztracheiden Unterstützung der Struktur. Die Zellwandstärke verdeutlicht diesen Unterschied. Frühholztracheiden haben dünnere Zellwände, betontere Lumen und mehr Tüpfel für leichteren Wasserfluß zwischen den Zellen. Spätholztracheiden haben dickere Wände, geringere radiale Durchmesser, geringeres Lumen und weniger und kleinere Tüpfel. In der Papierproduktion verhalten sich die beiden Tracheidentypen unterschiedlich. Die steifen und Dickwandigen Spätholztracheiden behalten ihre ursprüngliche Querschnittsform und die dünnwandigen Frühholztracheiden kollabieren und werden bandförmig (Kellomäki 2000).

B 5.7 Beschreibung der Neuerungen sowie ihrer Vorteile gegenüber dem Ist-Stand

Die tatsächlichen Vor- und Nachteile der Fasern des Starkholzes werden festgestellt. Dies dient dem Vorteil einerseits der Produzenten als auch der Konsumenten. Die Forstwirtschaft kann gezielter ihre Ware anbieten und der Qualität entsprechende Preise erzielen. Ein erhöhter Ertrag führt zu einer Reihe von positiver Auswirkungen auf Umwelt und Wirtschaft im Forstbetrieb.

Die holzverarbeitende Industrie kann Eigenschaften gezielt nutzen. Neue Papier- und Kartonsorten mit erhöhter Reißfestigkeit können geschaffen werden. Maschinenlaufgeschwindigkeiten können erhöht werden, was wiederum die Produktivität und Effizienz steigert. Niedrigere Blattgewichte können bei gleicher Reißfestigkeit gewählt werden. Aber auch Recyclingkreisläufe können erweitert bzw. verlängert werden. Durch Beimengung hochwertigem Langfaserzellstoff können minderwertigere Sekundärfaserstoffe öfters bzw. in erhöhtem Maße eingesetzt werden.

Ziel ist, in Zeiten steigender Holzpreise in Mitteleuropa, eine optimierte Nutzung sowie eine maximale Wertschöpfung des Rohstoffes Holz.

B 5.8 Technische, organisatorische und andere Risiken im Projekt

Der kontinuierlich steigende Bedarf nach Biomasse hat auch das Fichtenstarkholz erreicht. Die noch vor wenigen Jahren üblichen Preisabschläge sind je nach Einzugsgebiet der Abnehmer abgeschwächt worden. Konkurrenten bei der Abnahme des Starkholzes sind „Bioheizkraftwerke“. Eine thermische Verwertung des hochwertigen Rohstoffes Holz ist jedoch die letztmögliche Wahl. Ein aus dem Kreislauf ausgeschiedener Zellstoff kann ebenfalls für diese Aufgabe dienen. Verunreinigungen des Brennstoffs können durch moderne Filteranlagen kompensiert werden.

Das Projekt selbst hat nur bedingte technische Risiken, es besteht jedoch das Risiko, dass die Arbeitshypothese „Langfaserzellstoff aus Nadelstarkholz ergibt eine bessere Papierqualität“ durch eine andere Fasermorphologie (durch schlechte Coarseness) falsifiziert wird. Bei einer etwaigen technischen Umsetzung der Resultate besteht die Gefahr, dass die bessere Faserqualität durch einen erhöhten Logistikaufwand bei der Hackgutbeschaffung beziehungsweise bei der Hackgutmanipulation im Zellstoffwerk nicht ökonomisch umsetzbar ist.

B 6 Darstellung der Ergebnisse

B 6.1 Welche konkreten Ergebnisse liegen am Ende des Projekts vor?

Die Eigenschaften von Zellstoff und Papier aus adulten Fichtenholz können gesichert dargestellt werden. Einen Vergleich mit aktuellen Zellstoffen kann angestellt werden.

Die grundlegende Charakterisierung des Zellstoffes aus „Starkholz-Tracheiden“ sowie der daraus hergestellten Papiere bildet die Basis für wirtschaftliche Betrachtungen einer gesonderten Produktionslinie und der Etablierung von neuen Logistikkonzepten in der Rohstoffbereitstellung.

B 6.2 In welcher Form ist die Verwertung der Ergebnisse vorgesehen (z.B. Workshops, Präsentation auf Veranstaltungen etc.)?

Die Verbreitung und Verwertung der Ergebnisse aus dem angestrebten Projekt sind ein wesentliches Ziel. Die Ergebnisse stellen eine Erweiterung des Wissens in der Zellstoffforschung, insbesondere in der gezielten Wahl des Rohstoffs dar und sollen in wissenschaftlichen Zeitschriften publiziert und auf wissenschaftlichen Kongressen einem Fachpublikum vorgestellt werden.

Ein Vergleich der Ergebnisse mit wissenschaftlichen Partnern auf internationaler Ebene wird angestrebt. Dies ist am ehesten möglich durch die Teilnahme an internationalen Projekten zur Forschungscoordination (z.B.: COST-Action), wo ein Erfahrungs- und Wissensaustausch im europäischen Raum ermöglicht wird. Durch Abhaltung von Workshops sollen die Informationen einer größeren Zahl an Interessierten zugänglich zu machen.

Letztendlich ist das Ziel, daß es zur Anwendung der Erkenntnisse in der Zellstoff- und Papierindustrie kommt und die gewonnenen Erkenntnisse als Grundlage für weitere Forschungen dienen können.

B 6.3 Welchen Beitrag leisten die gewonnenen Projektergebnisse zur Stärkung der österreichischen Forschungs- und Entwicklungskompetenz im Bereich „Nachhaltige Technologieentwicklung“?

Da die Ergebnisse dieses Projektes in erster Linie grundlegende Daten für folgende Technologieentwicklungen liefern sollen, ist es zu diesem Zeitpunkt nicht möglich, eine realistische Schätzung abzugeben, inwiefern diese zu einer Stärkung der Forschungs- und Entwicklungskompetenz beitragen können.

B 7 Detaillierte Angaben zu wesentlichen Beurteilungskriterien der Programmlinie „Fabrik der Zukunft“

B 7.1 Beitrag zum Gesamtziel der Programmlinie „Fabrik der Zukunft“ (siehe Leitfaden Kapitel 4)

Bei diesem vorliegenden Projekt werden Grundlagen für innovative Produktionsmethoden und -technologien erforscht, um den Einsatz der nachwachsenden Ressource Holz effizient und nutensorientiert 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 ermöglicht ein „Filetieren“ des Stammes und somit ein zielgerichteter Einsatz der spezifischen Fasereigenschaften zum Ziel der verbesserten Kundenzufriedenheit.

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

Dienstleistungs-, Service- und Nutzenorientierung:

Es gibt einen Versorgungsüberhang an 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 Projektes liegt darin, die Grundlagen zu schaffen, das Starkholz nutzenorientiert zu verarbeiten.

Nutzung erneuerbarer Energien

Starkholz ist eine erneuerbare Ressource, welche in Österreich bereits in einem zu großen und ständig wachsenden Ausmaß vorhanden ist und deren Nutzung eng mit der Tradition und der wirtschaftlichen Entwicklung besonders der ländlichen Region 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 technologisch zu nutzen.

Effizienzprinzip

Die in diesem Projekt vorgeschlagenen grundlegenden Forschungsarbeiten 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.

Rezyklierungsfähigkeit

Es wird davon ausgegangen, dass die Qualität von Altpapier durch die vorteilhaften Eigenschaften der Frischfasern aus Starkholz erheblich verbessert werden können.

Einpassung, Flexibilität, Adaptionfähigkeit und Lernfähigkeit

Die in diesem vorgeschlagenen Projekt gewonnenen Erkenntnisse in Bezug auf Potentiale der unterschiedlich verteilten Fasereigenschaften in Starkholz sollen dazu dienen, Nutzungsmuster innovativer einzusetzen.

Fehlertoleranz und Risikovorsorge

Eine nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung einer Region unter ökologischen Gesichtspunkten wird in diesem Projekt bereits im Vorfeld mitberücksichtigt.

Eine nachhaltige Nutzung der Starkholzreserven trägt zusätzlich zur Risikovorsorge bezüglich Naturgefahren bei. Ein überalterter Wald kann nicht mehr ausreichend die Funktion im Hinblick auf Wasserspeicherung, Erosionsschutz oder Lawinenschutz erfüllen und stellt damit eine Gefahr für weite Regionen dar (z.B.: Hochwasser) Dieser kann und muß durch vermehrte Nutzung der alten Starkholzstämme 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 vorgeschlagene Projekt soll die Grundlage bilden, um in weiteren Forschungs- und Entwicklungsvorhaben 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.

Durch eine verstärkte Nachfrage nach Starkholz kann ein fairer und konkurrenzfähiger Preis erzielt werden, der den Forstbetrieben eine nachhaltige und wirtschaftlich einträgliche Bewirtschaftung der Wälder im Gebirgsraum ermöglicht. Dies ist eine der Grundvoraussetzungen für eine hohe Lebensqualität in den Regionen, da diese nicht nur primär vom wirtschaftlichen Umfeld abhängt, sondern auch von den viele Nebenfunktionen eines Waldes, wie zum Beispiel der Schutz vor Erosion, Lawinen- und Murenabgängen, die Bereitstellung von Trinkwasser und die Funktion als Erholungsraum, welcher auch touristisch genutzt werden kann.

B 7.2 Beitrag des Projekts zu den ausgewählten Themenstellungen der 4. Ausschreibung (siehe Leitfaden Kapitel 5)

Das hier vorliegende Projekt leistet einen Beitrag zum Ziel der Programmlinie, nämlich das gesamte Potential des nachwachsenden Rohstoffs Holz unter Berücksichtigung der ökonomischen, ökologischen Rahmenbedingungen auszuschöpfen. Es soll eine technologische Lücke in der Wertschöpfungskette Starkholz geschlossen werden, um eine wirtschaftliche Umsetzung zu ermöglichen.

B 7.3 Wie werden Zielgruppen (Gruppen, die für die Umsetzung der Ergebnisse relevant sind) in das Projekt und die Umsetzung mit einbezogen und deren Bedürfnisse im Projekt berücksichtigt?

Versuche werden in den Einrichtungen eines der Unternehmen durchgeführt. Eine enge Zusammenarbeit bei der Festlegung des Versuchsumfanges findet statt.

B 7.4 Welcher wesentliche potentielle Nutzen ergibt sich für die Zielgruppen?

Zellstoff- und Papierindustrie:

- Kosteneinsparung
- Produktoptimierung
- Neue Produkte
- Erhöhung der Produktionsgeschwindigkeit

Für die Zellstoff- und Papierindustrie ergibt sich eine Reihe von Vorteilen. Wiederverwertete Fasern (Altpapier) nehmen mittlerweile in der Zellstoffproduktion für ausgewählte Produkte eine bedeutende Stellung ein. Mit jeder Wiederaufbereitung werden jedoch die Fasern gekürzt, gequetscht und die Faserwände abgeschabt. Im Durchschnitt können solche Fasern bis zu achtmal den Kreislauf durchlaufen, bis sie auf Grund des Zerstörungsgrades ausgeschieden werden müssen. Eine gezielte Beimengung der hier vorgestellten Langfaserzellstoffe könnte diese Kreisläufe erweitern helfen und den Zellverband der degenerierten Fasern so weit aufwerten, daß sie länger im Kreislauf verbleiben können. Dies kann zu Kosteneinsparungen führen.

Die Ansprüche an heutige Papierprodukte (vom Zeichenpapier bis zum Futtersackpapier) sind in engen Grenzen definiert. In immer mehr Bereiche, in denen bisher Papier eine Art Monopolstellung (z.B.: diverse Verpackungen) inne hatte, drängen Alternativprodukte (aus z.B.: Plastik). Durch die qualitative Verbesserung der angebotenen Papiere kann ein Wettbewerbsvorteil gegenüber solchen Substitutionsprodukten erzielt werden. Der durch dieses Projekt zu erzielende Zellstoff kann möglicherweise zu gänzlich neuen Anwendungen im Papier- und Kartonbereich führen. Eine Erweiterung der Anwendungspalette dieses CO₂ neutralen Rohstoffes kann im Gegenzug auch in von Plastik dominierte Bereiche eindringen und somit den Kreis der Nachhaltigen Produkte erweitern.

Moderne Papiermaschinen haben hohe Laufgeschwindigkeit. Die Grenzen hierbei ergeben sich direkt aus der Zugfestigkeit des zu verarbeitenden Zellstoffes. Langfasrige Zellstoffe ermöglichen durch eine erhöhte Anzahl von Bindungsstellen jeder einzelnen Faser eine erhöhte Zugfestigkeit auch bereits im nassen Zustand. Durch gezielt Beimengung langer Fasern besteht das Potential die Maschinenlaufgeschwindigkeit weiter zu erhöhen.

Forstwirtschaft:

- Kontinuierlicher Absatz der Ware Starkholz
- Verjüngung überalterter Bestände
- Stabilität im Schutzwald
- Stück-Masse-Gesetz

Ein kontinuierlicher Absatz der Ware Starkholz bringt der heimischen Forstwirtschaft erhebliche Vorteile. Überalterte Bestände können so kostendeckend verjüngt werden. Schutzwälder können ihre Funktion wieder wahrnehmen. Langfristige Abnahmeverträge wirken stabilisierend auf den Betrieb. Das Stück-Masse-Gesetz, besagt sinkende Stückkosten bei zunehmendem Durchmesser. Dieser Ansatz findet in der heutigen Zeit der vollmechanischen Ernte seine Grenzen bei mittleren Durchmessern. In Gebirgsstandorten mit Seilbringung kann dieses Gesetz jedoch weiterhin seine Gültigkeit behalten.

Beide:

- Verbesserung der Wertschöpfung

Sowohl Papier- und Zellstoffindustrie als auch Forstwirtschaft profitieren von der Erhöhung der Wertschöpfung in der Verwertungskette Starkholz.

B 7.5 Welche regionalen Effekte können mit dem Projekt erzielt werden (z.B. Arbeitsplätze, regionalpolitische Aspekte, soziale Aspekte wie z.B. Arbeitsbedingungen, Qualifikationsniveau, ...)?

Starkholzüberhang herrscht hauptsächlich in der strukturschwachen Bergwaldregionen Österreichs vor. Ein nachhaltiger Absatz kann zu Arbeitsplatzsicherung beitragen, zumal nach der Ernte Folgearbeiten nötige sind. Der Überalterung von Schutzwäldern kann durch gezielte Eingriffe entgegengewirkt werden.

B 7.6 In welcher Weise ist das Projekt geeignet, marktfähige Technologieentwicklungen zu initiieren bzw. zu stärken?

Das vorgeschlagene Projekt hat ein hohes Potential marktfähige Technologieentwicklungen zu initiieren. Es wird auf die allgemein verbreitete Technologie der Zellstoffproduktion aufgebaut. Die Weiterentwicklung von Maschinen ist wünschenswert jedoch nicht zwingend notwendig.

Der anfängliche Rohstoffbedarf kann durch die ohnehin anfallenden Sägenebenprodukte gedeckt werden. Bei erhöhter Nachfrage ist ein Ankauf von Starkholzstämmen nötig. Diese müßten „filetiert“ werden. Das heißt das adulte Holz muß vom juvenilen Holz und der Übergangzone im Stamm getrennt werden. Technologien hierfür stehen zur Verfügung beziehungsweise sind für diese Aufgabe adaptierbar.

„Die Industrie beraubt sich des Potentials adulter Fasern. Dabei ist ein „filetieren“ der Starkholzbloche denkbar, um „sortenreine“ mit geringer Streunung behaftet Zellstoffe zu erzielen“ (Teischinger 2002)

Denn Schleifholz unabhängig von deren Alter hat immer einen Anteil von nicht vollständig entwickeltem Holz und hat daher kürzere Fasern.

B 7.7 Wie sehen Sie folgende Potentiale für Ihr Projekt?

Marktpotenzial:

Ein besteht ein großes Marktpotential zumal Alternativrohstoffe auf den Markt drängen. Transportsichere Verpackung ist bei starker Warenverschiebung unabdingbar. An eine Verdrängung von Konkurrenzstoffen ist zu denken, wenn deren Vorteile was zum Beispiel Reißfestigkeit betrifft, überstiegen werden können. Die Konkurrenzfähigkeit von Papierprodukten wird dadurch gefördert. Qualitätssteigerung, Innovation ist ein ständiges Thema in der Zellstoffindustrie. Spezialanwendungen sind in der Sackpapierproduktion denkbar. In diesem Segment wird einerseits hohe Reißfestigkeit gepaart mit guter Luftdurchlässigkeit benötigt. Beides kann die überlange adulte Faser bei der richtigen Mahlung bieten.

Verbreitungs- bzw. Umsetzungspotenzial:

In gesamt Mitteleuropa, hauptsächlich in den gebirgigen Regionen herrscht weiterhin Starkholzüberangebot. Da die Transportentfernung für Rohholz begrenzt ist, ist eine weite Verbreitung dieser Technologie denkbar. Erst einmal auf die Vorzüge des Rohstoffs Starkholz aufmerksam gemacht werden viele Zellstoffhersteller auch diese Ressource nutzen.

Der Bedarf an hochwertigem Zellstoff besteht weltweit. Obschon sich die Starkholzproblematik und gleichzeitig das Potential auf Europa beschränkt.

6 Diskussion und Schlussfolgerungen

Parallel zur Gestaltung des Forschungsantrages wurden vom Diplomanden bereits Vorversuche durchgeführt, die zur Verifizierung der Durchführbarkeit des Forschungskonzeptes sowie zur Gewinnung von tendenziellen Ergebnissen dienten. Die bisherigen Ergebnisse befinden sich noch im Auswertestadium unter Anwendung deskriptiver und multivariater Statistik. Die Durchführbarkeit des Forschungsvorhabens konnte bestätigt werden. Die Ergebnisse der Vorversuche sind vielversprechend und bestärken den Antragsteller auch in der geplanten Vorgehensweise.

Die Möglichkeit für einen Innovationsschritt in der Zellstoff- und Papierindustrie ist denkbar, zumal in diesem Bereich ein derartiger Forschungsansatz ein relativ neues Feld ist. Bisher wurden nötige Änderungen an die Produktanforderung durch Veränderung von Prozeßabläufen erreicht – Steigerung beziehungsweise Senkung der Laugenkonzentration, Kochzeit der Hackschnitzel, Mahldauer. Der Ansatz Produktverbesserung durch Wahl genau definierter Rohstoffe, abseits von der reinen Unterscheidung von Nadel- und Laubholz, ist bisher noch nicht angewendet worden.

Starkholz, jenes Holz das sich einer hochautomatisierten Verarbeitung entzieht, kann für die Zellstoff- und Papierindustrie einen interessanten Rohstoff darstellen. In Österreich hat Starkholz einen weiterhin steigenden Prozentsatz von zirka 40 % am gesamten Holzvorrat im Wirtschaftswald (BFW 2002). Die Verarbeitungsmöglichkeiten der Biomassekraftwerke und der Faserplattenproduzenten werden auf stärkere Durchmesserklassen erweitert. Ein Anstieg der Preise in diesem Rohstoffsegment ist zu erwarten. Dabei ist eine der Qualität entsprechenden Aufteilung der starken Stämme wünschenswert. Denn eine thermische Verwertung sollte erst nach einem kaskadenförmigen Abbau der Nutzungspotentiale angestrebt werden. Hochwertige Bloche oder Stammanteile mit besonderen Materialeigenschaften sollten Verwendungen mit entsprechen hohem Wertschöpfungspotential zugeführt werden.

Bestehende Recyclingkreisläufe können ausgeweitet werden. Rohstoff der bereits zu degeneriert zur Weiterverarbeitung ist kann durch Beimengung von hochwertigem Langfaserzellstoff weiterverwendet werden.

Die steigenden Rohholzpreise und eine beginnende Rohstoffknappheit können beim Starkholz zu einer win-win Situation für Forstwirtschaft als Lieferant des Rohstoffs auf der einen Seite und für die Zellstoff- und Papierindustrie als Produzent eines hochwertigeren Produkts auf der anderen Seite führen. In der österreichischen Forstwirtschaft würde ein gesicherter Absatz des Starkholzes zu einer Mobilisierung des Übervorrates führen, was sich positiv auf Waldaufbau, Pflege und nachhaltige Nutzung auswirkt. Für die Zellstoff- und Papierindustrie wäre der Vorteil der Erschließung einer hochwertigen Rohstoffquelle. Die Potentialen stecken in höherer Maschinenlaufgeschwindigkeit, oftmaligere Verwendung von Recyclingzellstoff als bisher, erhöhte Papierfestigkeiten und damit die Möglichkeit von neuen Papiersorten (Thorèn 1995) Jede Erweiterung der Angebotspalette auf der Papier- und Kartonseite stärkt die Konkurrenzfähigkeit gegenüber Komplementärrohstoffen.

Es besteht das Bestreben der österreichischen Forstwirtschaft die Holz-, Papier- und Plattenindustrie gut mit dem Rohstoff Holz zu versorgen, umgekehrt aufgrund des Abnahmeinteresses auch die Möglichkeit. Es muß auf die Bedürfnisse jeweils eingegangen werden. Derzeit muß von der heimischen Zellstoff- und Papierindustrie Holz importiert werden um eine kontinuierliche Produktion zu garantieren, da ein Teil des Zuwachses im Land nicht genutzt wird (BFW 2002). Eine Flexibilisierung und ein Entgegenkommen beider Seiten sind von Nöten.

Jedes Forschungsprojekt birgt ein gewisses Forschungsrisiko, das durch methodische und inhaltliche Fragen beeinflusst wird. Methodisch wurden im vorliegenden Projekt mögliche Risiken weitgehend ausgeschaltet, da vor allem die für die Charakterisierung des Zellstoffes nötigen Zellstoffkochungen als Routinearbeit gesehen werden können.

Das Antragsformular mit fest vorgegebenen Fragenstellungen hat Vor- und Nachteile. Die festgelegte Struktur ist eine gute Richtschnur, um das Thema komplett abzuarbeiten. Der Nachteil dabei ist, daß sich oft inhaltliche Wiederholungen, durch ähnliche Fragestellungen provoziert, nicht vermeiden lassen. Der Umfang eines solchen Antrags ist genau vorgegeben und bei geringem Vorwissen steckt ein beträchtlicher Aufwand hinter der Erstellung. Ein Problem kann auch die Verpflichtung eines Industriepartners zur Über-

nahme eines Teils der Projektkosten darstellen. Der Druck auf den Industriebetrieb wird dadurch größer sich nur auf Projekte einzulassen, die eine rasche Amortisierung der Kosten versprechen. Für Forschungsinstitutionen ist eine Kooperation mit Industrie-Vertragspartner oft schwierig zu gestalten. Die Verwertungs- und Publikationsrechte, die Orientierung des Projektes entsprechend den bisher erarbeiteten Ergebnissen sowie die Bewahrung der Handlungsfreiheit sind oft Spannungsfelder die Kompromißlösungen der Projektpartner erfordern.

Die Wahrscheinlichkeit daß dieser Antrag vom Förderungsgeber akzeptiert bzw. ausgewählt wird, wird retrospektiv als hoch eingestuft. Gleichzeitig mit der Erschließung neuer Wertschöpfungspotentiale einer besonderen Rohstoffquelle für die Zellstoffproduktion wird für das, in den alpinen Waldstandorten Österreichs weiterhin bestehende Starkholzproblem ein neuer Teil-Lösungsansatz geboten. Die Versuchsprogramm ist klar definiert und im zeitlichen Ablauf realitätsnahe, auf Praxiserfahrung basierend, strukturiert. Die Zieldefinition des Projektes ist ausgereift, durch eine Hypothese klar definiert und stark fokussiert. Der Innovationsgrad des Projektes ist gegeben. Eine wirtschaftlich rentable Umsetzung ist bisherigen Einschätzungen möglich. Die 7 Leitprinzipien nachhaltiger Technologieentwicklung, im Antrag näher beschrieben, werden eingehalten.

Literaturverzeichnis

- Biermann CJ (1996) Handbook of Pulping and Papermaking, 2nd, San Diego, USA, Academic Press, ISBN 0-12-097362-6
- Buksnowitz C (2006) Resonance Wood of *Picea abies*, Doctoral Thesis, Institute of Wood Science and Technology, University of Natural Resources and Applied Life Sciences BOKU-Vienna
- Buksnowitz C , Teischinger A, Müller U (2007) LDT-research at BOKU from material characteristics to performance in application, Vortrag bei COST E40 - Grenoble 29-30 März 2007
- Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW) (2002), Institut für Waldinventur; Ergebnisse der österreichischen Waldinventur 2000-2002
- Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) und Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) (Hrsg) (2006) Fabrik der Zukunft. 4. Ausschreibung im Rahmen des Impulsprogramms Nachhaltig Wirtschaften.
- Cown DJ (1992) Corewood (juvenile wood) in *Pinus radiata* – should we be concerned? New Zealand Journal of Forestry Science
- Drost C, Ni Y, Shewchuk D (2003) Effect of mature and juvenile wood from five wood species on kraft pulp strength, Pulp & Paper Canada 104:11: T270-T273
- Evans R (2001) A Tool for the Rapid Assessment of Wood and Wood Fibre Quality, Marcus Wallenberg Prize Symposium, Stockholm, 2. Oktober 2001
- Fuhrmann W, Dietz H, Teischinger A (1995) Bedürfnisse und Trends für Hackschnitzelgeometrien der Zellstoff- und Holzwerkstoffindustrie, Holzforschung und Holzverwertung 47(3): 48 - 51
- Grefermann Klaus (1988) Bestimmungsfaktoren des Fasereinsatzes in der Papierindustrie der Bundesrepublik Deutschland: Konsequenzen für den nachwachsenden Rohstoff Holz, Ifo – Institut für Wirtschaftsforschung, München, ISBN 3-88512-071-2

- Gullichsen J, Paulopuro H (1999) Papermaking Science and Technology, a series of 19 books covering the latest technology and future trends, Book 6A Chemical Pulping, ISBN 952-5216-06-3
- Kellomäki S (2000) Papermaking Science and Technology, a series of 19 books covering the latest technology and future trends, Book 2 Forest Resources and Sustainable Management
- Lecourt M (2005) How do fibres properties interact with pulp properties? Large Diameter Timber – Problem or Chance? editiert von A. Teischinger, Lignovisionen Schriftreihe des Institutes für Holzforschung, Band 13 (Sonderausgabe), Univ. für Bodenkultur
- Levlin J-E, Söderhjelm L (1999) Papermaking Science and Technology, a series of 19 books covering the latest technology and future trends, Book 17 Pulp and Paper Testing, ISBN 952-5216-17-9
- Neimo L (2000) Papermaking Science and Technology, a series of 19 books covering the latest technology and future trends, Book 4 Papermaking Chemistry
- Niendieker V (1993) Produktion von Rohstoffen für Zellstoff vor dem Hintergrund neuer Holzaufschlußverfahren: Regionales Angebotspotential der Forstwirtschaft, Heft 424, Münster, Landwirtschaftsverlag GmbH, Schriftreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, ISBN 3-7843-0424-9
- Niskanen K (1998) Papermaking Science and Technology, a series of 19 books covering the latest technology and future trends, Book 16 Paper Physics, ISBN 952-5216-16-0
- Page D.H., El-Hosseiny F., Winkler K., Bain R. (1972) The mechanical properties of single wood-pulp fibres. Part I: A new Approach, Pulp Paper Magazine Can. 73(8): 72-77
- Papierholz Austria (2006) Holzübernahmerichtlinien, Revision 6, erstellt von der Arbeitsgruppe Holzübernahme, Frantschach
- Roberts JC (1996) The chemistry of paper. The Royal Society of chemistry, Cambridge, U.K., ISBN 0-85404-518-X

- Runkel R O H (1952) Pulp from tropical Woods - historical development and results of a research work 1925 – 1952, Berlin, Mitteilungen der Bundesanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Reinbek bei Hamburg ; 29 : Zellwandforschung und Zellstoffchemie
- Sandermann W (1997) Papier, Eine Kulturgeschichte, 3. ergänzte, überarbeitete Auflage, Heidelberg, Springer-Verlag, ISBN 3-540-55131-4
- Schmidt-Vogt H (1986) Die Fichte, Ein Handbuch in zwei Bänden, Band II/1, Wachstum, Züchtung, Boden, Umwelt, Holz, ISBN 3-490-08416-0
- Schöne M (1994) Gewinnung von chlorfrei gebleichten Zellstoffen aus *Picea abies L.*, *Miscanthus sinensis Anderss.* Und *Populus nigra L.* nach dem Formacell-Verfahren, Dissertation, Universität Hamburg
- Sixta H et al. (2006) Handbook of Pulp, volume 1 & volume 2, ed. by Sixta Weinheim, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, ISBN 3-527-30997-7
- Stenius P (2000) Papermaking Science and Technology, a series of 19 books covering the latest technology and future trends, Book 3 Forest Products Chemistry, ISBN 952-5216-03-9
- Sundholm J (1999) Papermaking Science and Technology, a series of 19 books covering the latest technology and future trends, Book 5 Mechanical Pulping, ISBN 952-5216-05-5
- Teischinger A (2002) Innovationspotenzial Starkholz. Holzforschung und Holzverwertung 54(2): 34 – 36
- Teischinger A, Patzelt M (2006) XXL-Wood Materialkenngrößen als Grundlage für innovative Verarbeitungstechnologien und Produkte zur wirtschaftlich nachhaltigen Nutzung der Österreichischen Nadelstarkholzreserven, , Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Schriftreihe 27/06
- Teischinger A (2007) Ressourcenverknappung und ihre Herausforderungen – Thesen für die Holzwirtschaft, Holztechnologie 48, 5-8
- Thorèn A (1995) Paper in the Ecocycle, Falköpnig / Schweden, Media Express, ISBN 91-88198-21-9+
- Töppel O (1993) Prüfung von Papier, Pappe, Zellstoff und Holzstoff, Band 3 Physikalisch-technologische Prüfung der Papierfaserstoffe, Franke W (Hrsg.) Berlin, Springer-Verlag, ISBN 3-540-55896-9

Zobel B J, Sprague J R (1998) Juvenile Wood in Forest Trees, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, ISBN 3-540-64032-0

Zobel B J, van Buijtenen J P (1989) Wood Variation – Its Causes and Control, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York,

Internetzquellen

<http://www.oup.co.uk/pictures/industry/papermill> (22.4.2007)

Oxford Illustrated Science Encyclopaedia

<http://www.eibis.com/eibis/eibiswww/eibisdoc/4093fr.htm> (17.5.2007)

<http://www.metsoautomation.com> (8.1.2007)

<http://www.eibis.com/eibis/eibiswww/eibisdoc/4093de.htm> (17.5.2007)

<http://www.testingmachines.com/pulp-testing-and-sheet-making.html>
(22.4.2007)

http://www.labthink.cn/product/product_show105.html (15.2.2007)

<http://www.fabrikderzukunft.at/results.html/id4122>

<http://www.starkholz.at>

<http://www.ffg.at>

<http://www.rp7.ffg.at/RP7.aspx>

<http://www.fwf.ac.at>

<http://www.bmvit.gv.at/innovation/aktuell/ausschreibungen/bridge.html>

Normen

DIN 53112 T1 (1981) Prüfung von Papier und Pappe; Zugversuch an klimatisierten Proben

DIN 54358 T1 (1981) Prüfung von Zellstoffen; Herstellung von Laborblättern für physikalische Prüfungen; Rapid-Köthen-Verfahren

ISO 187 (1982) Papier und Pappe; Vorbehandlung der Proben

ISO 536 (1995) Papier und Pappe – Bestimmung der flächenbezogenen Masse

ISO 638 (1985) Bestimmung des Trockengehaltes

ISO 1974 (1983) Papier – Bestimmung des Durchreißwiderstandes

ISO 2758 (1983) Papier – Bestimmung des Berstfestigkeit

ISO 5636/5 (1986) Papier und Karton – Bestimmung der Luftdurchlässigkeit

ISO 5264/2 (1979) Labormahlung – Teil 2: PFI Mühlen Methode

ISO 5267/1 (1990) Zellstoff und Holzstoff; Prüfung des Entwässerungsverhaltens; Schoper-Riegler-Verfahren

ÖNORM ISO 8966 (1987) 1. Technisches Hackgut: Hackgut für die Erzeugung von Zellstoff, Holzwerkstoffen und die Hydrolyse

SCAN-C 22:66 Kappa Zahl von Zellstoff

SCAN-C 24:67 Mahlung von Zellstoff in PFI-Mühle

Zelcheming-Merkblätter (ZM):

V/8/76 (1976) Prüfung von Halbstoffen für Papier, Karton, Pappe, Herstellung von Prüfblättern aus Halbstoffen mit Hilfe des Rapid-Köthen-Gerätes

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

- Abb 1: Vereinfachte Darstellung der Papierproduktion (aus Oxford Illustrated Science Encyclopedia)
- Abb 2: Grobe Übersicht über die Forschungsförderung Österreichs
- Abb 3: Beispiel für Ausprüfungsprotokoll, Zellstoffeigenschaften werden in Tabellenform und graphisch dargestellt.
- Abb 4: FiberLab Zusammenfassungsprotokoll, die Werte in diesem standardisierten Protokolls sind nur beispielhaft und dienen rein der Darstellung (Metso Automation)
- Abb 5: FiberLab Analysegerät der Firma metso.(Metso Automation)
- Abb 6: Fasersuspension (vergrößert) (Metso Automation)
- Abb 7: Schopper – Riegler – Apparatur (Bild von Testing Machines Inc.)
- Abb 8: Schematische Darstellung Schopper- Riegler
- Abb 9: Rapid-Köthen Blattbildner
- Abb 10: Laborblatt noch feucht im Trockner
- Abb 11: Meßeinheit für den spezifischen Weiterreißwiderstand (Bild aus Labthink)
- Abb 12: SilviScan[®] Apparatur (Bild von CSIRO)
- Abb 13: Messprinzip mit Röntgenstreuung (Bild von CSIRO)
- Abb 14: Messung der polierten Probe mit Videomikroskop (Bild von CSIRO)
- Abb 15: Entnahmeregionen der Probestämme
- Abb 16: Entnahme der Stämme in drei Höhenstufen (Buksnowitz, Müller 2007)
- Abb 17: Entnahmeort, Blochqualitäten und Schema der Auftrennung des Baumes in Bloche zur Probengewinnung
- Abb 18: Schematische Darstellung des XXL Wood Projektes (Buksnowitz, Müller 2007)

Tab 1: Übersicht unterschiedlicher Starkholzdefinitionen im deutschsprachigen Raum

Tab 2: Auswirkung ausgesuchter Faserparameter auf die Papierqualität (Bilder von Sixta 2006)

Abbildung- und Tabellenverzeichnis Kapitel 6 (Forschungsantrag)

Abb 1: Prozessübersicht Zellstoffherstellung und anschließende Prüfung

Abb 2: Variationen in der Faserlänge (Koch 1965)

Abb 3: Faserlängeverteilung in einem Fichtenstamm als eine Funktion von Höhe und Alter (Lecourt 2005)

Abb 4: Schematische Darstellung der Probenentnahme

Abb 5: Hackschnitzel aus industrieller Produktion (Lenzing 2005)

Abb 6: Zellstoff aus industrieller Produktion (Lenzing 2005)

Abb 7: Laborkocher

Abb 8: Diffuseur

Abb 9: HS-Fraktioniergerät

Abb 10: PFI Mühle

Abb 11: Faserlänge Analyse von mazerierten Proben der Fichte (*Picea abies*). Kurven rechts vom Mark sind Tracheidenlängenkonturlinien von Manwiller (1972) (Biermann 1996)

Abb 12: Schematische Darstellung einer Nadelholztracheide zusammengesetzt aus Mittellamelle (M) und den vier Faserwänden (P, S1, S2 und S3), in der S2 Schicht ist der Mikrifibrillenwinkel angedeutet (Sundholm 1999)

Abb 13: Das Verhältnis der Faserfestigkeit zum Mikrofibrillenwinkel der S2 Schicht (60 % Ausbeute, Fichtenfasern nach Kraftverfahren) (Page et al. 1972)

Abb 14: Last-Dehnungskurve für Fichtenfasern mit unterschiedlichen Fibrillenwinkeln (1,2mm Spannweite) (Niskanen 2000)

Abb 15: Elastisches Modul der Fasern vs. den Fibrillenwinkel der S2 Schicht. Die durchgezogene Linie gibt den theoretischen Zusammenhang (Niskanen 2000)

Abb 16: Unterschied in Zellwandstärke und Durchmesser von Früh- und Spätholz

Tab 1: Arbeits- und Zeitplan