
1 Allgemeiner Teil

1.1 Einleitung

Seit dem Umweltgipfel 1992 in Rio de Janeiro ist der Begriff der „Nachhaltigkeit“ als ein allgemeingültiges erstrebenswertes Handlungsprinzip erkannt worden. Es steht als Sinnbild für verantwortungsbewusstes, umweltverträgliches und vorausschauendes Handeln. Entwickelt wurde das Prinzip in der Forstwirtschaft als Bewirtschaftungskonzept, wonach nur so viel Holz geschlagen werden darf, wie nachwächst. 1713 wurde das Konzept erstmals vom sächsischen Oberberghauptmann Hans Carl von Carlowitz niedergeschrieben. Der Durchbruch kam zu Beginn des 19. Jahrhunderts durch Georg Ludwig Hartig und Heinrich Cotta (GEORG-LUDWIG-HARTIG-STIFTUNG 2005). So stellt die Forstwirtschaft nicht nur den Ursprung des Begriffs dar, sondern bietet heute auch eine wichtige Grundlage für umwelt- und entwicklungspolitische Nachhaltigkeit. Denn Holz ist weltweit der bedeutendste nachwachsende Rohstoff. Verglichen mit den weltweit etwa 3,54 Mrd. m³ eingeschlagenen Rundholzes erscheinen die ca. 54 Mio. m³ geernteten Holzes in Deutschland sehr gering (FAO 2006). Dennoch steht Deutschland mit seinem Holzvorrat an der Spitze in Europa (ANONYMUS 2004) und beinhaltet ein großes Potenzial für die Holzverarbeitende Industrie. Vornan steht die Sägeindustrie, die im Jahr 2006 nach Angaben der FAO 24,4 Mio. m³ Schnittholz (Laub- und Nadelholz) erzeugte. Zweitgrößter Holzverbraucher ist die Holzwerkstoffindustrie, die im selben Jahr 17,4 Mio. m³ plattenförmiger Werkstoffe hergestellt hat (FAO 2006). Die wichtigsten Produkte waren mit 10,8 Mio. m³ die Spanplatten und mit 4,2 Mio. m³ die Faserplatten (FAO 2006).

Die Technologie der Holzwerkstoffe mit dem Grundprinzip der Verwendung von kleinen Holzteilchen, die mit einem Bindemittel zu flächigen Werkstoffen verpresst werden, hat die Anwendungsbereiche des Rohstoffes Holz erheblich erweitert. Der industrielle Durchbruch gelang der Spanplattentechnologie zwischen 1940 und 1950 nach der Entwicklung der ersten synthetischen Bindemittel zu Beginn des 20. Jahrhunderts. Seitdem hat die Holzwerkstoffindustrie eine rasante Aufwärtsentwicklung erfahren. Die Ausweitung der Produktionskapazitäten geht heute zwar deutlich langsamer vonstatten, dennoch ist mit gewissen Schwankungen ein stetiger Zuwachs der Produktionsmengen zu beobachten.

Nach wie vor werden überwiegend synthetische Bindemittel bei der Herstellung von Span- und Faserplatten verwendet. Die Herstellung der Bindemittel erfolgt in der

petrolchemischen Industrie aus Erdöl und Erdgas. Die immer wieder steigenden Rohölpreise lassen die Holzwerkstoffindustrie ihre Abhängigkeit vom Weltmarkt der chemischen Rohstoffe und von deren Preisen spüren. Die Rohölpreise haben in der Vergangenheit bereits zeitweise zu einer Verdoppelung der Kosten für die Bereitstellung von Bindemitteln wie UF-Harze, PF-Harze und MUF-Harze geführt. Da die Preiserhöhungen der Bindemittel nur teilweise auf den Verbraucher übertragen werden können, steigt das Interesse an alternativen Bindemitteln.

Hierfür bieten sich u. a. natürliche polyphenolische Stoffe an, so genannte Tannine, die aus tropischen und subtropischen Holz- und Rindenarten (Quebracho- und Mimosatannin) aus dem Ausland bezogen werden können. Diese Tannine werden in Deutschland in geringem Umfang sowohl bei der Herstellung von Span- als auch von Faserplatten als Bindemittel bereits eingesetzt. Die Hauptverwendung der Tannine liegt bei der Lederherstellung als natürliches Gerbmittel. Die Tannine aus Südamerika werden auf dem Weltmarkt in Dollar gehandelt. Saisonale und branchenabhängige Schwankungen in der Lederindustrie schlagen sich ebenfalls auf den Preis nieder, so dass auch hier die Verfügbarkeit und die Preise mit Unsicherheiten behaftet sind.

Als Alternative für die Gewinnung von polyphenolhaltigen Extraktstoffen bieten sich hierzulande die Rinden einheimischer Nadelholzarten an. Die Fichtenrinde ist dabei ein geeigneter Rohstoff, der in großen Mengen anfällt. Sie enthält einen Extraktstoffgehalt von etwa 20 % und weist einen bei etwa 12 % liegenden Gehalt an mit Formaldehyd reaktiven Polyphenolen auf. Die polyphenolischen Bestandteile der Extraktstoffe der Fichtenrinde gehören wie auch diejenigen aus dem Quebrachoholz oder der Mimosarinde zur Kategorie der kondensierten Gerbstoffe und eignen sich deshalb ebenfalls als Rohstoff für die Herstellung von Kondensationsharzen, die als Bindemittel für die Herstellung von Holzwerkstoffen verwendet werden können. Mit der Extraktion von Fichtenrinde erschließen sich auch in Europa einheimische, nachwachsende Rohstoffvorräte für die Herstellung von Bindemittelbestandteilen. Auch wenn Tannin-gebundene Holzwerkstoffe nicht gänzlich ohne chemische Zusatzstoffe auskommen, sind sie mit ihrem Holz und Tannin aus photosynthetischem Ursprung beispielhaft für eine nachhaltige Entwicklung (NATTEC 2005).

1.2 Problemstellung

Tannine als polyphenolische Verbindungen aus Rinden und Hölzern werden durch Extraktion mit wässrigen Lösungen gewonnen. Neben den heute wirtschaftlich relevanten Rohstoffen, dem Holz des Quebrachobaumes und der Rinde des Mimosabaumes, wurden bis zum Zweiten Weltkrieg auch Fichtenrinden für Gerbungszwecke extrahiert. Als wichtigste Wirtschaftsbaumart in Deutschland war sie in großen Mengen vorhanden und verfügte über die entsprechenden Inhaltsstoffe. Die Extrakte wurden als Gerbmittel in der Lederindustrie eingesetzt. Nach 1945 ging jedoch die Bedeutung der natürlichen Gerbmittel mit Einführung der Chromatgerbung zurück (SCHMIDT 2001). In Deutschland werden heute die Inhaltsstoffe der Fichtenrinde in sehr begrenztem Umfang für hochwertige Lederprodukte, die nach dem Altgrubengerbverfahren hergestellt werden, eingesetzt. Weltweit finden derzeit etwa 300.000 t/Jahr Tannin (Feststoff) Anwendung (ROFFAEL UND SCHÄFER 1998).

Die Möglichkeit, polyphenolische Inhaltsstoffe aus Pflanzen als natürliches Bindemittel einzusetzen, wurde erstmals 1918 in einem US-Patent von MCCOY erwähnt. Nach systematischen Untersuchungen von DALTON (1950, 1953) erfolgte jedoch erst Anfang der sechziger Jahre die erste industrielle Herstellung von Tannin-gebundenen Spanplatten in Australien (STASHEVSKI UND DEPPE 1973). Tannine tropischer oder subtropischer Herkunft werden heute auch in Deutschland von zwei Holzwerkstoffherstellern für spezielle Produkte eingesetzt.

Zu dem Einsatz von Tanninen als Bindemittel für Holzwerkstoffe wurden zahlreiche Untersuchungen durchgeführt und publiziert. Der Wissensstand, insbesondere die praktischen Erfahrungen, konzentrierten sich bisher auf Tannine tropischer und subtropischer Herkunft. Die Verwendung der einheimischen Fichtenrinde als Ausgangsstoff für die Herstellung von Bindemittel für die Holzwerkstoffindustrie ist vergleichsweise neu. Untersuchungen am Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI) und dem Institut für Holzbiologie und Holztechnologie (ROFFAEL, DIX UND SCHNEIDER 2001 UND 2002; OKUM 1999) haben im Labormaßstab gezeigt, dass aus der Rinde der Fichte Extrakte gewonnen werden können, die Quebrachotannin bei der Herstellung von Span- und Faserplatten teilweise ersetzen können. Ein sich anschließendes Forschungsvorhaben verfolgte das Ziel, den Einsatz von Fichtenrindenextrakten als Bindemittelbestandteil bei der Produktion von Spanplatten industriell zu erproben.

Neben den Extrakten führt der Extraktionsvorgang auch zum Anfall von extrahierter Rinde. Eine industrielle Herstellung von Rindenextrakten wirft zwangsläufig die Frage

nach der Verwertung des Rindenrückstandes auf. Das Auswaschen von löslichen Bestandteilen und die thermohydrolytische Behandlung während des Extraktionsvorganges lassen Veränderungen in der chemischen Zusammensetzung und den Eigenschaften der Rinde erwarten. Die Auswirkungen der angewendeten Extraktionsverfahren auf die Rinde und deren Verwertung wurden bisher nicht untersucht.

1.3 Zielsetzung

Die in der Industrie anfallende Fichtenrinde wird überwiegend für gärtnerische Zwecke eingesetzt. Frische Rinde hat jedoch die Eigenschaft, pflanzenverfügbaren Stickstoff zu immobilisieren. Des Weiteren verfügt sie über große Mengen an Gerbstoffen. Sowohl die Stickstoffbindung als auch die Gerbstoffe können das Wachstum von Pflanzen beeinflussen bzw. Pflanzenschäden verursachen (GRANTZAU 1990). Diese Nachteile müssen durch eine kontrollierte Fermentierung, auch als Kompostierung bezeichnet, beseitigt werden. Kompostierte Rinde kann als Rohstoff für Pflanzensubstrate oder als Humus zur Bodenverbesserung eingesetzt werden.

Die Fermentierung ist ein empfindlicher biochemischer Prozess, der durch zahlreiche Faktoren beeinträchtigt wird. Hierzu zählen neben den Rottebedingungen, wie beispielsweise Temperatur, Sauerstoffversorgung und Wassergehalt, auch die chemischen und physikalischen Eigenschaften des Rottegutes selbst. Es ist anzunehmen, dass Rinde, die für die Gewinnung von Tanninen extrahiert wurde, sich in einigen Eigenschaften von frischer Rinde unterscheidet. Bezüglich der Veränderung der Rinde durch die Extraktion liegen keine Ergebnisse von systematischen Untersuchungen vor. Das Schrifttum befasst sich überwiegend mit den Eigenschaften der Extrakte. Hierbei sind die Erfahrungen so weit fortgeschritten, dass der Einsatz von Fichtenrindenextrakten als Substitut für Mimosatannin industriell erprobt wurde. Eine industrielle Extraktion von Rinde wirft zwangsläufig die Frage nach der Verwertung des Rindenrückstandes auf.

Die vorliegende Arbeit soll die Eignung der extrahierten Rinde für eine stoffliche Verwertung, insbesondere für gärtnerische Anwendungen, untersuchen. Die Veränderungen einiger chemischer und physikalischer Eigenschaften von Fichtenrinde durch eine Extraktion sollen dargestellt werden. Besondere Aufmerksamkeit gilt dabei dem Stickstoffhaushalt der Rinde, der eine zentrale Eigenschaft für die Eignung der extrahierten Rinde als hochwertiger Rohstoff für den Garten- und Pflanzenbau darstellt. Über die Ermittlung der grundsätzlichen Veränderung der Rinde durch den Extraktionsprozess hinaus sollen verschiedene Zusätze zur Extraktion in ihrer Wirkung auf die Extrakte und die Rinde untersucht werden. Die extrahierten Rinden sollen einem Rotteversuch unterzogen werden, um ihre Eignung als Rohstoff für den Garten- und Pflanzenbau zu beurteilen.

Die Untersuchungsergebnisse werden dazu beitragen, die Rinde einer rückstandsfreien, wertsteigernden, stofflichen Nutzung zuzuführen.

2 Kenntnisstand

2.1 Eigenschaften von Rinde

Das Angebot an Rinde hängt im Wesentlichen von der Menge an verarbeitetem Rundholz ab, wobei die Sägeindustrie die dominierende Branche auf dem Rindenmarkt ist (GAEBELER 1996). In der Bundesrepublik Deutschland wurden in der Vergangenheit jährlich zwischen 40 und 50 Mio. Fm Holz eingeschlagen. Die bei mobiler Entrindung im Wald anfallenden Mengen sowie die weniger verwertbaren Laubholzrinden stehen nur bedingt einer weiteren Verwendung zur Verfügung. Der verfügbare Teil an Fichtenrinde, der zentral in der Holzindustrie bei stationären Entrindungsanlagen anfällt, beträgt etwa 3 Mio. Fm. Der Anteil, den die Rinde am Gesamtvolumen von Rundholz ausmacht, wird durch mehrere Faktoren bestimmt. Der Rindenanteil ist umso größer, je höher das Baumalter, je schlechter der Standort, je höher über dem Meeresspiegel und je nördlicher die Lage ist (SCHNEIDER UND BAUMS 1970). Die Rindendicke kann dadurch mitunter sehr starken Schwankungen unterliegen. Als Mittelwerte kann man folgende artspezifische Volumenanteile für die Rinde annehmen:

Tabelle 2.1: mittlerer Volumenanteil der Rinde der wichtigsten Baumarten (SCHNEIDER UND BAUMS 1970)

Baumart	Rindenanteil
Kiefer	12 %
Fichte/Tanne	10 %
Lärche	20 %
Buche	7 %
Eiche	12 %

Als Durchschnitt aller Baumarten wird ein mittlerer Rindenanteil von 10 % angenommen (GROSS 1988). Unterschiede finden sich jedoch nicht nur zwischen verschiedenen Einzelbäumen, sondern auch innerhalb eines Baumes. So kann die Rinde im Astbereich einen Anteil von mehr als 30 % erreichen (SACHSSE UND HARTMUTH 1989). Erscheint dies für den industriellen Anfall von Rinde wenig bedeutsam, so ist jedoch der zunehmende Rindenanteil mit sinkendem Durchmesser bzw. steigender Stammhöhe durchaus von Interesse (BONNEMANN 1978, GROSS 1988). Die holzverarbeitenden Betriebe sind abhängig von dem herzustellenden

Produkt und der verwendeten Technik meist auf bestimmte Durchmesserklassen spezialisiert. Des Weiteren geht eine Veränderung im Rindenanteil auch mit Verschiebungen in der chemischen Zusammensetzung sowie ihrem anatomischen Aufbau einher. Der Saft ändert beispielsweise seine Zusammensetzung mit der Baumhöhe und dem Alter (ROFFAEL, MIERTZSCH UND SCHWARZ 1992a,b). Darüber hinaus ist bekannt, dass der Borkenanteil mit zunehmendem Stammdurchmesser steigt, was sich auf die Verwendung der Rinde erheblich auswirken kann.

Die Rinde des Baumes besteht aus der äußeren Borke (Periderm) und dem bis zum Xylem reichenden Bast (Phloem). Die Borke erfüllt hauptsächlich eine Schutzfunktion, der Bast dient mit dem Phloemgewebe vornehmlich als Leit- und Speichergewebe für den Stofftransport. Damit dient die Rinde grundsätzlich anderen Funktionen als das Holzgewebe. Das Xylem muss die Festigkeit aufbringen, die das Höhenwachstum und den Wassertransport der Bäume gegen die Schwerkraft ermöglicht.

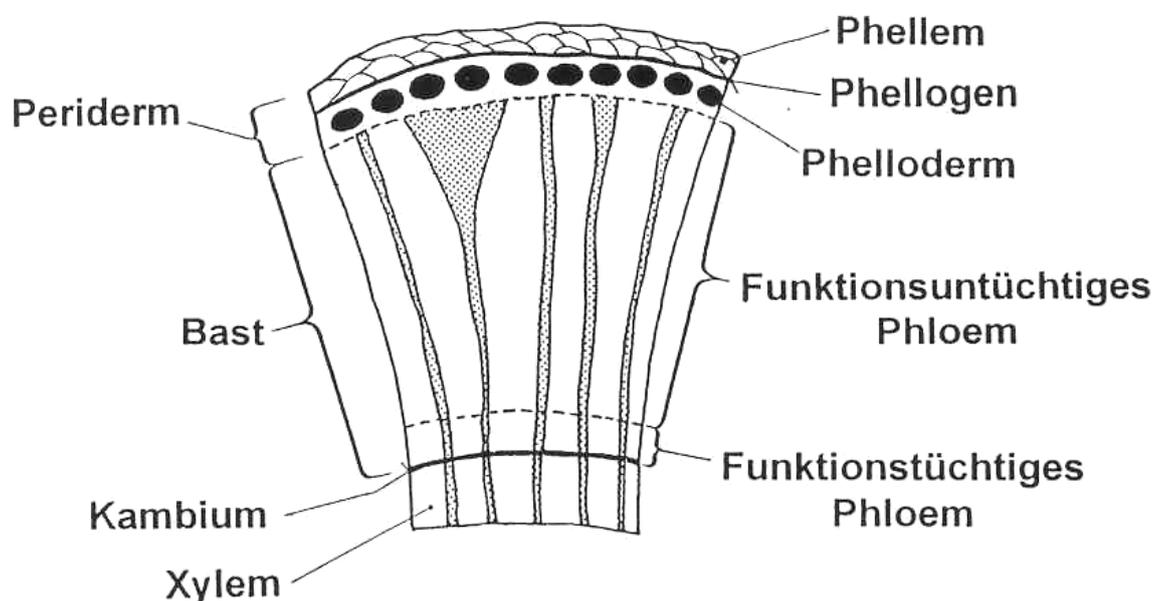


Abbildung 2.1: Schematische Darstellung eines Querschnittes der äußeren Koniferenrinde (OKUM 1999)

Die unterschiedlichen Aufgaben der verschiedenen Gewebe haben zur Folge, dass sich die Rinde sowohl anatomisch-physikalisch als auch chemisch in bedeutendem Maße von Holz unterscheidet. Ebenso wie das Holz ist die Rinde chemisch aus den

Komponenten Cellulose, Hemicellulose, Lignin und akzessorischen Bestandteilen aufgebaut (Tabelle 2.2).

Tabelle 2.2: Durchschnittliche Elementarzusammensetzung von Holz und Rinde der Fichte bezogen auf trockene Masse (vgl. MARUTZKY 2000)

Element	Rinde [%]	Holz [%]
C	52,6	50,3
H	6,0	6,2
O	40,9	43,1
N	0,5	0,2
Asche	2,6	0,4

In der Elementarzusammensetzung bestehen zwischen Holz und Rinde nur geringe Unterschiede. Der Anteil an mineralischen Bestandteilen ist in der Rinde wesentlich höher als im Holz. Dies kann von großer Bedeutung sein, da es sich hierbei auch um Schwermetalle handelt, die zunehmend ins Visier der Gesetzgebung kommen. Darüber hinaus können sich die mineralischen Bestandteile bei der Verarbeitung negativ auf die Standzeit der Werkzeugmaschinen auswirken. Des Weiteren ist der Stickstoffgehalt in der Rinde höher (MARUTZKY UND ROFFAEL 1977).

Beim chemischen Aufbau weisen Fichtenholz und Fichtenrinde jedoch deutliche Unterschiede auf. Der Cellulosegehalt der Rinde ist durchschnittlich nur halb so hoch wie im Holz (DIETRICHS ET AL. 1978). Darüber hinaus ist der Durchschnittspolymerisationsgrad (DIETRICHS 1975) niedriger und die Kristallinität (PARAMESWARAN ET AL. 1975) der Rindencellulose wesentlich geringer als im Holz. Die Menge an Hemicellulosen ist in der Rinde ebenfalls geringer als im Holz. Sind die absoluten Mengen an Cellulose und Hemicellulose in der Rinde geringer, so ist doch der Anteil an extrahierbaren Polysacchariden weitaus höher als im Holz (DIETRICHS 1975).