

# **1 Einleitung**

## **1.1 Vorwort**

Die angefertigte Dissertation wurde im Rahmen eines vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) geförderten Projektes „Verwertungsorientierte Untersuchungen an geringwertigen Laubholzsortimenten zur Herstellung innovativer Produkte. Teilvorhaben 4: Entwicklung von Spanplatten (Gerlau)“ erstellt. Zum Zeitpunkt der Erstellung der Versuchsplanung und Versuchsdurchführung war von forstlicher Seite in Deutschland der Waldumbau von nadelholzdominierten Reinbeständen hin zu artenreichen Mischwäldern vermehrt eingeleitet worden. Durch den daraus resultierenden zukünftigen Anstieg des Laubholzanteils ist anzunehmen, dass auch der Anteil an geringwertigen Laubholzsortimenten stark zunehmen wird. Im Zuge der Dürrejahre 2018 bis 2020 hat sich die Dringlichkeit des Waldumbaus mit Blick auf den Klimawandel verstärkt. Durch die anhaltende Trockenheit und die damit verbundenen Kalamitäten sind zahlreiche Nadelholzreinbestände ausgefallen und müssen nunmehr durch klimastabile Mischwälder ersetzt werden. Somit hat das Thema „der stofflichen Laubholznutzung“ seit Erstellung dieser Dissertation immens an Bedeutung gewonnen.

## **1.2 Ausgangssituation**

Durch den Waldumbau in Deutschland und der damit einhergehenden Veränderung der Baumartenzusammensetzung in den deutschen Wäldern, werden sich in der Zukunft die Verfügbarkeiten der einzelnen Holzarten deutlich verändern. Im Zuge dieser Veränderung der Waldbestände von nadelholzdominierten Reinbeständen hin zu laubholzreichen Mischbeständen wird es zu einer Verknappung des Nadelholzangebotes kommen, was wiederum dazu führen wird, dass zukünftig bislang unzureichend genutzte Holzpotenziale nutzbar gemacht werden müssen (Meinelschmidt et al. 2016). In der holzbearbeitenden und holzverarbeitenden Industrie werden derzeit hauptsächlich Nadelhölzer eingesetzt, wobei die Holzarten der Fichte und der Kiefer in Deutschland eine dominierende Rolle einnehmen. Ursächlich hierfür ist, dass die Spanplattenindustrie Laubholz wegen dessen höherer Holzdicke weitestgehend meidet. Dies kann sowohl zu Problemen im Produktionsprozess,

als auch zu einer Verschlechterung der Werkstoffeigenschaften führen (Gamage et al. 2015). Im Speziellen werden bei der Produktion von Spanplatten in Deutschland überwiegend Sägenebenprodukte mit einem Anteil von 44,6 % sowie Altholzsortimente mit einem Anteil 24,5 % verwendet. Waldindustrieholzsortimente, bezogen auf Nadelholz mit einem Anteil von 13,3 % sowie Laubholz mit einem Anteil von 11,7 %, nehmen bei dem Rohstoffmix der Spanplattenproduktion bislang nur eine untergeordnete Rolle ein (Döring et al. 2017). Daraus resultierend stammt derzeit ein Großteil der Rohstoffe für die Produktion von Spanplatten aus Koppelprodukten der nadelholzdominierten Sägeindustrie sowie aus Nadelindustrieholz.

### 1.3 Ziel der Arbeit

Vor dem Hintergrund einer sich abzeichnenden Verschiebung der zukünftig in Deutschland noch verfügbaren Holzressourcen von Nadelholz hin zu unterschiedlichen Laubhölzern, verfolgt die vorliegende Dissertation das Ziel, zu untersuchen, welche Laubholzbaumarten sich für einen möglichen Einsatz zur Herstellung von Spanplatten eignen. Dafür wurden im Rahmen dieser Arbeit aus geringwertigen Laubholzsortimenten im Biotechnikum der Georg-August-Universität Göttingen in mehreren Schritten Späne hergestellt. Als zu untersuchende Baumarten wurden neben der Buche (*Fagus sylvatica* L.) die ALN-Hölzer Birke (*Betula pendula* Roth), Pappel (*Populus nigra* L.) und Erle (*Alnus glutinosa* L.), sowie die ALH-Hölzer Ahorn (*Acer pseudoplatanus* L.) und Esche (*Fraxinus excelsior* L.) ausgewählt. Zur Evaluierung der unterschiedlichen Einsatzgebiete und Verwendbarkeiten, wurden aus den Laubhölzern dreischichtige Spanplatten unter Verwendung von vier unterschiedlichen Bindemittelsystemen hergestellt. Neben sortenreinen, dreischichtigen Spanplatten sollten weiterhin auch Spanplatten aus verschiedenen Laubholzmischungen hergestellt werden. Hierfür kam ein in der Praxis übliches Bindemittelsystem auf der Basis von Harnstoffformaldehyd zum Einsatz. Ferner wurde eine handelsübliche Rohdichte der Spanplatten von  $650 \text{ kg/m}^3$  gewählt. Daneben erfolgte für ein Bindemittelsystem eine Absenkung der Rohdichte der Spanplatten auf  $550 \text{ kg/m}^3$  mit dem Ziel, die Eignung von Laubholz als Rohstoff für die Herstellung von leichten Spanplatten zu evaluieren. Um einen Vergleich mit industrienahen Spanplattenprodukten zu ermöglichen, wurden jeweils für jede der definierten Spanplattenvarianten zusätzlich dreischichtige Spanplatten aus Fichtenholz sowie aus

Industriespänen hergestellt. Dabei fanden folgende Bindemittelsysteme eine Anwendung:

- ein klassischer E1-Harnstoffformaldehydharz Kaurit®Leim 350 der Firma BASF,
- ein formaldehydarker Melaminharnstoffformaldehydharz Kaurit®Leim 465 der Firma BASF,
- ein formaldehydfreies Polymeres Diphenylmethandiisocyanat (pMDI) Luprant M 20 S der Firma BASF,
- ein Blutalbuminklebstoff.

Die mit diesen Bindemittelsystemen hergestellten Spanplatten sollten hinsichtlich ihrer mechanisch-physikalischen Werkstoffeigenschaften untersucht und bewertet werden. Neben den Festigkeitswerten wurden zudem die Dickenquellung und die Formaldehydemission der Spanplatten analysiert und bewertet. Dies erfolgte mit dem Ziel, die Laubholzspanplatten mit Referenzspanplatten aus Fichtenholz und aus Industriespänen vergleichen zu können. Eine Bewertung der Ergebnisse soll die Frage beantworten, welche Holzarten sich unter Verwendung welcher Bindemittelsysteme als alternative Rohstoffquelle für die Spanplattenproduktion am besten eignen.

#### **1.4 Holzwerkstoffe**

Als Holzwerkstoffe werden im allgemeinen Werkstoffe auf lignocellulöser Basis bezeichnet, die durch Zerkleinern und erneutes Zusammenfügen von Holz unter Einsatz von anderen Stoffen, organischer oder anorganischer Bindemittel, hergestellt werden (Lohmann 2010, Gottlöber 2014). Einteilen lassen sich die Holzwerkstoffe nach dem Aufschlussgrad des Ausgangsmaterials beginnend mit flächig verleimten Sperrhölzern, über aus Spänen hergestellten OSB-Platten sowie Spanplatten bis hin zu aus Fasern hergestellten Faserplatten. Nach neueren Definitionen zählen zu den Holzwerkstoffen nach Marutzky und Schwab (2009) auch andere Verbundwerkstoffe wie Wood-Plastic-Composites (WPC), Brettschichtholz und Engineered Wood Products (z.B. Laminated Veneer Lumber).

Die Herstellung von Holzwerkstoffen ermöglicht es negative Eigenschaften des Ausgangsmaterials Holz auszugleichen (Wagenführ 1989). Durch die Zerkleinerung des Holzes und das vermischte Zusammenfügen des

Holzmaterials steigt die Homogenität der gefertigten Holzwerkstoffe. So werden beispielsweise festigkeitsmindernde Merkmale, wie Astholz, gleichmäßig auf den Werkstoff verteilt und somit die Anisotropie des Holzes im Holzwerkstoff verringert. Ein Beispiel hierfür ist die Dimensionsänderung des Holzes durch Quellen und Schwinden. Nach Niemz (1993) unterscheiden sich die unterschiedlichen Quell- und Schwindmaße im Holz deutlich (tangential 8 bis 10 % und longitudinal 0,1 bis 0,35 %).

Ein weiterer Vorteil von Holzwerkstoffen ist, dass die Produktion von größeren Abmessungen möglich ist, deren Grenzen nicht durch die Abmessungen eines Baumes, sondern durch die eingesetzten Produktionsmaschinen limitiert wird. Aus diesem Grund lassen sich auch andere, für die Vollholznutzung nicht oder nur eingeschränkt nutzbare Holzsortimente für die Herstellung von Holzwerkstoffen einsetzen. Neben geringwertigen Holzsortimenten wie Durchforstungs- und Industrieholzsortimenten umfasst dies auch Produktionsreste aus der Sägeindustrie sowie Altholz. Somit ermöglichen Holzwerkstoffe eine Kaskadennutzung von Holz. Ein Nachteil bei der Produktion von Holzwerkstoffen ist jedoch der benötigte Energieaufwand. Dieser steigt mit der Erhöhung des Zerkleinerungsgrades an (Dunky u. Niemz 2002).

## **1.5 Spanplatten**

### **1.5.1 Anforderungen an Spanplatten**

Die unterschiedlichen Einsatzbereiche bestimmen auch die Anforderungen an die unterschiedlichen Eigenschaften der Spanplatten. Für die Möbelproduktion spielen z. B. die Oberflächenqualität und die Profilierbarkeit eine wichtige Rolle, wobei im Bauwesen statische Eigenschaften und Feuchtebeständigkeit der Spanplatten von höherer Bedeutung sind (Niemz und Bauer 1991, Dunky und Niemz 2002). In der EN 312 werden die Spanplatten nach den jeweils unterschiedlichen Verwendungszwecken eingeteilt (siehe Tabelle 1) und zwar nach den Verwendungen „tragend“ und „nicht tragend“, sowie den Anwendungsbereichen „Trocken“- oder „Feuchtebereich“. Für diese unterschiedlichen Anwendungsbereiche müssen die Spanplatten unterschiedliche Grenzwerte erreichen. Ein Auszug der Anforderungen an Spanplatten im Dickenbereich von 13 bis 22 mm ist in der Tabelle 2 aufgeführt und der für diese Arbeit relevante Spanplattentyp P2 darin hervorgehoben.

**Tabelle 1: Einteilung von Spanplatten nach Anwendungsbereichen (DIN EN 312)**

	Anwendungsbereich	Verwendung	Typ
nicht tragend	Trockenbereich	allgemeine Zwecke	P1
		Inneneinrichtung (Möbel)	P2
	Feuchtbereich	allgemeine Zwecke	P3
tragend	Trockenbereich	allgemeine tragende Zwecke	P4
		hochbelastbare Platte	P6
		allgemeine tragende Zwecke	P5
		hochbelastbare Platte	P7

**Tabelle 2: Anforderung an Spanplatten im Dickenbereich 13 bis 20 mm (DIN EN 312)**

			Anforderungen / Plattentyp						
Eigenschaft	Prüfnorm	Einheit	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
<b>Biegefestigkeit</b>	EN 310	[N/mm <sup>2</sup> ]	10	11	14	15	16	18	20
<b>Biege-E-modul</b>	EN 310	[N/mm <sup>2</sup> ]	-	1800	1950	2300	2400	3000	3350
<b>Querzugfestigkeit</b>	EN 319	[N/mm <sup>2</sup> ]	0,24	0,35	0,45	0,35	0,34	0,5	0,7
<b>Dickenquellung 24 h</b>	EN 317	[%]	-	-	14	15	10	15	10
<b>Abhebefestigkeit</b>	EN 311	[N/mm <sup>2</sup> ]		0,8					
<b>Querzugfestigkeit nach Kochprüfung</b>	EN 1081-1	[N/mm <sup>2</sup> ]			0,08		0,14		0,23

### 1.5.2 Technologie der Spanplattenherstellung

In dem folgenden Abschnitt werden die einzelnen, aufeinander aufbauenden Produktionsprozesse der Spanplattenherstellung und der Stand der Technik erläutert. Des Weiteren werden wichtige Faktoren, die einen Einfluss auf die Qualität und die Eigenschaften der Spanplatten haben, aufgezeigt.

#### Lagerung des Rohstoffs

Den ersten Schritt der Spanplattenproduktion bildet der Holzplatz. Hier werden die verwendeten Holzsortimente bis zum Zeitpunkt ihrer Verarbeitung gelagert. Er dient zur Sicherstellung der Rohstoffversorgung. Hierbei wird ein Ausgleich zwischen einer kurzen und ausreichenden Lagerhaltung sowie einer angemessenen Verweildauer des Materials angestrebt. So können einerseits Preisschwankungen des Marktes aufgefangen werden und andererseits kann eine Überlagerung des Materials vermieden werden, die zu Qualitätseinbußen führt. Rundholz lagert üblicherweise auf Poltern und wird sortimentspezifisch sortiert, während Späne meist überdacht in Bunkern lagern.

## **Entrindung**

Als nächster Verarbeitungsschritt erfolgt die Entrindung des Rundholzes mittels Lochrotoren-, Rotationsrotoren- oder Trommelentrindern. Durch die Reduzierung des Rindenanteils werden sowohl geringeren Festigkeiten der Spanplatten, als auch einer Erhöhung des Leimverbrauches entgegengewirkt (Paulitsch und Barbu 2015). Weitere positive Effekte sind die Erhöhung der Standzeiten der Maschinen sowie die Möglichkeit, ein helleres Produkt herzustellen. Der Rindenanteil im Rohstoffmix liegt bei ca. 1,7 % (Mantau 2012).

## **Hacken und Zerspanen**

Im Folgenden Schritt werden aus dem Rundholz mittels eines Trommel- oder Scheibenhackers Hackschnitzel erzeugt. Vor dem Zerspanungsschritt wird das Material üblicherweise von Metallresten getrennt, mit dem Ziel, Schäden an den folgenden Maschinen zu vermeiden. Die Hackschnitzel werden anschließend durch einen Messerringzerspaner zu Spänen zerkleinert. Bei der Herstellung von Spänen direkt aus Langholz und Sägenebenprodukten (Schwarten und Spreißeln) kommen Messerwellenzerspaner, Messerscheibenzerspaner oder Messerkopfzerspaner zum Einsatz. Es folgt eine Nachzerkleinerung durch Mühlen oder Refiner (Dunky und Niemz 2002). Die Zerspanungsbedingungen sowie die Feuchte des Holzes beim Zerspanungsprozess beeinflussen die Qualität des Spanmaterials maßgeblich und haben damit einen direkten Einfluss auf die Eigenschaften der Spanplatten (Buchholzer 1988). Zur Erreichung hoher Biegefestigkeiten eignen sich Späne mit einem großem Schlankheitsgrad, während für hohe Querzugfestigkeiten eher kubische Späne besser geeignet sind. Sehr dünne Späne sorgen für eine hohe Oberflächengüte (Dunky und Niemz 2002).

## **Trocknung des Spanmaterials**

Den nächsten Schritt in der Spanplattenherstellung stellt die Trocknung des Spanmaterials da. Dabei kommen im industriellen Bereich direkt oder indirekt beheizte Trockner vor, die nach dem Gegen- oder Gleichstromprinzip arbeiten. Im Gleichstromtrockner wird das Spanmaterial mit der erwärmten Luft in die gleiche Richtung transportiert. Beim Gegenstromprinzips hingegen wird die erwärmte Luft aus der entgegengesetzten Richtung an den Spänen vorbeigeführt. So entsteht ein Temperaturgefälle, welches zur Trocknung der

Spanpartikel führt. In Abhängigkeit des für die Produktion der Spanplatten vorgesehen Bindemittels werden die Späne auf eine Feuchte von 2 bis 4 % getrocknet. Eine zu hohe Spanfeuchte kann während des Pressprozesses durch den entstehenden Wasserdampf zu hohen Dampfdrücken und damit zu Dampfspaltern führen (Paulitsch und Barbu, 2015).

### **Sortierung der Späne**

An den Trocknungsprozess schließt sich die Sortierung des Spanmaterials an. Dabei erfolgt zum einen die Trennung der Späne nach Deck- und Mittelschichtspänen, zum anderen werden gröbere Späne und zu feines Material (Feinspäne und Stäube) aussortiert. Im Produktionsprozess würde zu feines Spanmaterial bezogen auf dessen Partikelmasse überbeleimt, was zu einer Erhöhung des Leimbedarfs führt. Ferner wirkt sich eine zu große Spandicke und Spanbreite negativ auf die Festigkeiten der Spanplatten aus (Niemz 1982). Die Sortierung des Spanmaterials erfolgt nach zwei unterschiedlichen Prinzipien, dem Sieben und dem Sichten in einem Luftstrom. Die Siebung der Späne erfolgt über die verwendeten Maschenweiten der Siebe, von denen meistens mehrere mit aufsteigender Maschenweite entsprechend übereinander angeordnet sind. Neben dem Sieben findet eine Fraktionierung der Späne auch über die Sichtung statt, dabei werden die Spanpartikel durch ihre unterschiedlichen Schwebegeschwindigkeiten in einem aufsteigenden Luftstrom sortiert (Kehr 1990).

### **Beleimung des Spanmaterials**

Den nächsten Schritt in der Spanplattenproduktion stellt die Beleimung dar. Die für die Beleimung verwendete Leimflotte setzt sich aus unterschiedlichen Komponenten zusammen. Neben dem Bindemittel kann die Leimflotte auch Härter, Puffer und Hydrophobierungsmittel enthalten. Ferner kann dem Bindemittelsystem Wasser hinzugefügt werden, um die gewünschte Zielfeuchte der Spanplatten zu erreichen. Je nach Einsatzgebiet der Spanplatte können auch Zusatzstoffe wie Holzschutzmittel oder Flammschutzmittel hinzukommen. Die Beleimung setzt sich aus unterschiedlichen Prozessstufen zusammen. Diese sind die Dosierung der Leimflotte sowie die Dosierung des zu beleimenden Spanmaterials, der Leimauftrag und das Vermischen von Spänen und Holz (Dunky und Niemz 2002). Das Ziel der Beleimung ist es, eine möglichst gleichmäßige Verteilung des Leimes auf der Oberfläche des Spanmaterials zu

gewährleisten. Das Bindemittel wird hierbei durch Sprühsysteme auf die Oberfläche der Spanpartikel aufgetragen und durch die Reibung der Späne untereinander gleichmäßig verteilt. Dabei kommt in der Industrie ein Ringmischer zum Einsatz. Unterschieden wird dabei zwischen einer Innenbeleimung, bei der der Leimauftrag über eine Hohlwelle mittels Leimschleuderröhrchen erfolgt, und einer Außenbeleimung, anhand derer der Leimauftrag über Düsen stattfindet. Die rotierende Bewegung des Mixers und der Mischwerkzeuge führt zu Relativbewegung der Späne unter einander, was zu einer gleichmäßigen Verteilung des Leimes führt (Dunky und Niemz 2002).

### **Streuung des beleimten Spanmaterials**

Nach der Beleimung des Spanmaterials wird aus den Spänen ein Spankuchen gestreut. Hierbei ist es wichtig, eine gleichmäßige Verteilung der Späne zu erzielen, um möglichst geringe Abweichungen im Flächengewicht der Spanmatte zu erreichen. Die Streuvorrichtungen bestehen aus einer Dosiereinrichtung, einer Verteileinrichtung, einer Streueinrichtung sowie einer Streuunterlage. Grundsätzlich lassen sich zwei unterschiedliche Streuarten unterscheiden. Durch die Wurfsichtstreuung findet eine Separation der Spanpartikel mittels eines kinetischen Impulses statt. Dabei werden große und schwere Späne weiter geworfen als die kleineren, leichteren Partikel. Hierfür kommen in der Industrie Walzen zum Einsatz. Mit einer steigenden Anzahl dieser Walzen erhöht sich auch der Separierungsgrad. Das zweite separierende Streuverfahren stellt die Windsichtung dar. Die Separierung erfolgt hierbei durch einen Luftstrom anhand der spezifischen Oberfläche der Späne. Dabei werden kleinere Partikel weiter transportiert, als größere Partikel (Dunky u. Niemz 2002). Durch Flächengewichtswaagen kann die Verteilung des Spanmaterials kontrolliert werden, mit dem Ziel, größere Rohdichteschwankungen in der Spanplatte vermeiden zu können.

### **Pressen der Spanplatte**

Im Anschluss an den Streuvorgang folgt der Pressvorgang. Dabei wird zunächst das gestreute Spankuchen mittels einer Vorpresse vorverdichtet. Dies geschieht mit der Absicht, eine gewisse Mindestfestigkeit der Spanmatte zu erreichen. Neben einer erleichterten Handhabung der Spanmatte bei der Überführung in Taktpressen, ermöglicht die Vorverdichtung schnellere Schließzeiten der Presse und somit eine Verkürzung der Presszeit in der

Heißpresse. Ferner kann hierdurch die Öffnungsweite der Heißpresse reduziert werden. Die Heißpressen können in zwei Gruppen eingeteilt werden, die Taktpressen und die kontinuierlichen Pressen. Den größten Durchsatz weisen die kontinuierlichen Pressen auf. Mit einer Vorschubgeschwindigkeit von 2 m/s erreichen sie sehr hohe Kapazitäten. Durch die kontinuierliche Presstechnik werden Endlosspanplatten hergestellt. Einer dieser Pressentypen ist die Doppelbandpresse, die aus zwei durchlaufenden beheizten Stahlbändern besteht. Für dünne Spanplatten kommen in der Industrie Kalanderpresse zum Einsatz. Hierbei erfolgt die Einbringung der Temperatur über beheizte Walzen. Taktpressen lassen sich in Einetagen- und Mehretagenpressen einteilen. Bei den Etagepressen erfolgt die Hitzezufuhr über beheizte Pressplatten. Bei der Produktion von dicken Platten findet eine Dampfinjektion als zusätzliche Temperaturzufuhr statt. Mehretagenpressen sind übereinander angeordnete Taktpressen, die über eine simultane Schließeinrichtung verfügen (Dunky und Niemz 2002, Paulitsch und Barbu 2015).

### **Besäumen und Konditionieren**

Im Anschluss an den Pressvorgang folgt die Konfektionierung der Spanplatten. Nach dem kontinuierlichen Pressen erfolgt diese mittels einer Diagonalsäge während des laufenden Prozesses. In Anschluss an den Pressvorgang werden die Spanplatten besäumt. Hierbei werden die Randbereiche mit niedrigeren Rohdichten und damit auch schlechteren Eigenschaften entfernt. Bei Spanplatten, die mit Harnstoffformaldehydharzen hergestellt wurden, folgt anschließend eine Kühlphase. Durch die Restwärme der Spanplatten kann es sonst zur Hydrolyse des Harnstoffformaldehydharzes kommen, was Festigkeitsverluste mit sich führt. Hierfür kommt ein Sternkühler zum Einsatz. Im Gegensatz dazu werden Spanplatten aus Phenolharzen im Stapel gelagert, da sie durch die Restwärme nachhärten. Durch die Lagerung der Spanplatten findet eine Konditionierung statt, die für einen Feuchteausgleich über den Plattenquerschnitt sorgt. Dadurch werden Spannungen innerhalb der Spanplatten abgebaut. In einem letzten Fertigungsschritt wird die Oberfläche der Spanplatten geschliffen, wodurch die Presshaut entfernt und Dicken-schwankungen ausgeglichen werden. Die höchste Dichte bei den Spanplatten kann nach dem Pressen bis zu 2 mm unterhalb der Plattenoberfläche liegen, die darüber liegenden lockeren Oberflächenbereiche werden durch das Schleifen entfernt (Dunky u. Niemz 2002).

## **1.6 Grundlagen Holz**

Als Hauptrohstoff für Spanplatten kommt Holz zum Einsatz. Holz stellt jedoch keinen homogenen Werkstoff dar, sondern setzt sich aus diversen Zellarten zusammen. Die Zusammensetzung der Zellarten unterscheidet sich je nach der verwendeten Baumart. Durch das sekundäre Dickenwachstum werden aus den Zellen des Kambiums zur Stammmitte hin Xylemzellen gebildet, die sich im Weiteren durch den Zellwandaufbau sowie das Zellwachstum in unterschiedliche Zelltypen differenzieren (Wagenführ 1989).

### **1.6.1 Aufbau des Holzes**

Die Zellen im Holz übernehmen unterschiedliche Hauptfunktionen. Diese Funktionen sind die Wasserleitung, die Speicherung von Stoffen sowie Festigungsfunktion. Bei der Zusammensetzung der Zelltypen unterscheiden sich Nadelbaumarten von den Laubbauarten deutlich (Wagenführ 1999). In Gegensatz zu dem Holz der Laubbäume, deren Zellen stärker differenziert und spezialisiert sind, weist das Holz der Nadelbäume einen einfacheren Aufbau auf (Romberger et al. 1993, Sachse 1984).

#### **Nadelholz**

Die Holzzellen im Nadelholz bestehen zu 95 % aus Tracheiden. Diese werden zu Beginn der Vegetationsperiode dünnwandig und weitlumig ausgebildet und übernehmen im Holz die Wasserleitungsfunktion. Im Gegensatz dazu sind die Spätholztracheiden dickwandig ausgebildet und übernehmen die Festigungsfunktion im Holz. Tracheiden können in zwei weitere Gruppen, definiert nach ihrem Verlauf innerhalb des Holzes, unterschieden werden. Die langgestreckten Längstracheiden verlaufen axial und sind durch Hoftüpfel miteinander verbunden. Im Gegensatz dazu verlaufen die Holzstrahltracheiden horizontal im Holz am Rande von Parenchymzellen und sind mit diesen über einseitig behöftete Hoftüpfeln verbunden (Higuchi 1997).

Die Länge der Tracheiden beträgt zwischen 3 und 5 mm bei einem Zelldurchmesser von 20 bis 40 µm. Die zweite Zellgruppe im Holz bilden die Parenchymzellen die bei den Nadelhölzern eine Speicherfunktion von Nährstoffen übernehmen. Ihre hauptsächliche Anordnung im Stamm ist vertikal. Eine Sonderform der Parenchymzellen stellen Epithelzellen dar, die um die Harzkanäle angeordnet sind und den Harz erzeugen (Wagenführ 1999).