

Berufsakademie Sachsen  
Staatliche Studienakademie Dresden  
Studienrichtung Holztechnik

Deutsche Werkstätten Hellerau GmbH

## **Berechnungsansätze für das Verformungsverhalten von furnierten Bauteilen**

Praxisarbeit  
2. Studienhalbjahr

eingereicht von:  
Knorr, Fabian  
05. 06. 1981

Gutachter: Dipl.-Ing. Ulrich Kühnhold

Testat: .....{erteilt im April 2006}.....

Unterschrift: .....{U. Kühnhold}.....

## Inhalt

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen .....	3
1       Thematik und Zielstellung der Arbeit .....	4
2       Furnierherstellung.....	5
2.1   Sägefurniere .....	7
2.2   Schäl furniere .....	7
2.3   Messerfurniere.....	9
3       Trägermaterialien für furnierte Platten im Innenausbau.....	11
3.1   Spanwerksstoffe .....	11
3.2   Faserwerkstoffe .....	11
3.3   Verbundwerkstoffe.....	12
4       Mechanische Einflussgrößen .....	13
4.1   Biegefestigkeit .....	13
4.2   Elastizitätsmodul.....	14
4.3   Schubmodul .....	16
5       Einwirkung der Einflussgrößen / Berechnungsansätze .....	18
5.1   Vergleich der Trägermaterialien .....	18
5.2   Auswirkungen der Furniere .....	22
5.3   Finite-Elemente-Methode .....	25
6       Resümee und Ansatzpunkte für weitere Untersuchungen.....	27
Quellenverzeichnis .....	29
Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen .....	30
Anlagenverzeichnis .....	31

Anlage

## Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

$\tau$	Schubspannung
b	Bauteilbreite
DIN	Deutsches Institut für Normierung
E	Elastizitätsmodul
E-Modul	Elastizitätsmodul
EN	Europannorm
FEM	Finite - Elemente - Methode
FU	Furniersperrholz
G	Schubmodul
G-Modul	Schubmodul
h	Bauteildicke
M	Widerstandsmoment
$\gamma$	Verschiebungswinkel
$\mu$	Querdehnzahl

## 1 Thematik und Zielstellung der Arbeit

Holz als Rohstoff hat wie kaum ein Anderer die menschliche Entwicklung von der Urgemeinschaft bis zum Industriestaat beeinflusst. Auch in Zukunft ist der Werkstoff nicht wegzudenken. Dabei erneuert sich dieser Werkstoff ständig selbst und wird auf noch nicht absehbare Zeit zur Verfügung stehen. Stetig kommen neue Verwendungsmöglichkeiten hinzu, dabei wird Holz aufgrund seiner holzartbedingten technischen Eigenschaften aber vor allem auch wegen seiner ästhetischen Wirkung immer vielfältiger eingesetzt. „Wir sind deshalb verpflichtet, den Rohstoff Holz optimal zu nutzen. Voraussetzungen sind umfassende Kenntnisse über Vorkommen und Eigenschaften, über Bearbeitung und Verwendbarkeit möglichst vieler Holzarten.“<sup>1</sup>

Eine Möglichkeit, diesen Werkstoff Ressourcen schonend auszunutzen, ist die Herstellung von Furnieren, dünnen Schichten aus Holz. Bereits im zweiten Viertel des 18. Jahrhunderts zur Kulturepoche des Rokoko waren alle sichtbaren Teile an Möbeln furniert, eingesetzt wurden teuerste Importhölzer.<sup>2</sup> Der eigentliche Trägerwerkstoff kann dabei ein minderwertigeres Material sein, so lange die statische Funktion des Möbelstückes noch gegeben ist. Auf den Sichtseiten werden diese Platten mit Furnier beleimt, um das Möbel optisch zu gestalten und wertvolles Material (und somit auch Kosten) einzusparen. Untersucht werden muss die Möglichkeit, so viel Material wie möglich zu sparen, ohne die Optik oder die Funktion einzuschränken. Dabei ist die Frage zu klären, inwieweit es möglich ist, die nicht sichtbaren Flächen mit günstigeren Furnieren zu belegen, und was dabei zu beachten ist. Die hohe Anisotropie des Werkstoffes Holz lässt vermuten, dass für eine mathematische Beschreibung des komplexen Systems Furnier-Platte-Furnier viele Kennwerte quantifiziert und beachtet werden müssen.

In dieser Praxisarbeit sind zunächst alle Einflussfaktoren auf die elastomechanischen Fähigkeiten zusammengetragen und aufgelistet. Anschließend sind die für die Berechnungsansätze Einfluss nehmenden Eigenschaften sowie das Problem der mathematischen Erfassung qualitativ beleuchtet.

---

<sup>1</sup> WAGENFÜHR, SCHEIBER (1989)

<sup>2</sup> vgl. WÖHRLIN (2003)

## 2 Furnierherstellung

Das Belegen von Oberflächen mit dünnen, gesägten Holzplättchen ist ein Arbeitsgang mit ins Altertum reichender Tradition. Das Beleimen des Trägermaterials geschah damals in Portalen aus Holzbalkenkonstruktionen. Zink- und später Aluminiumplatten wurden auf Öfen angewärmt und dienten dann als Wärmeträger, um die verwendeten Haut- oder Knochenleime flüssig zu halten. Als man lernte, das Furnier auch maschinell zu sägen, kamen neben dem Sägefurnier auch Messer- und Schäl-furniere auf. Durch diese zunehmende maschinelle Fertigung konnten hochwertige Furniere immer dünner hergestellt werden. Um ein Durchscheinen der Trägerplatte zu vermeiden, wurde unter dem Deckfurnier ein Blindfurnier aus billigeren Hölzern geleimt, das somit dicker sein konnte.<sup>3</sup>

Furniere sind dünne Holzblätter, die durch Schälen, Messern oder Sägen vom Stamm oder Stammteil abgetrennt sind, so unterscheidet man sie zum einen nach der Herstellungsart in:

- Schäl-furnier,
- Messer-furnier,
- Säge-furnier.

Bevor Furniere „geschält“ oder „gemessert“ werden können, muss der Stamm vorbereitet werden. Das Rundholz wird eingeteilt, abgelängt und entrindet. Anschließend richtet man die Blöcke entsprechend der Holzqualität, dem Stammdurchmesser und der geforderten Furniertextur zu (Abb. 2-1), die Kernzone wird dabei herausgetrennt. Um innere Spannungen im Holz zu verringern und es für ein schonenderes Abtrennen der Furniere zu erweichen, werden die Stämme in Dämpf- oder Wassergruben bei ca. 85°C „gekocht“. Anschließend wird das Holz geputzt und gereinigt, damit die Furniermesser nicht durch Sand abgestumpft oder beschädigt werden. Nach dem Verarbeiten des Stammes zu Furnieren werden die noch nassen Blätter durch einen Düsentrockner gefördert, in dem sie je nach Holzart und –dicke einem speziellen Trocknungsprozess ausgesetzt werden. Er hat zugleich einen Bügeleffekt auf das Furnier, der die Welligkeit vermindert. Das Furnier muss auf eine Restfeuchte von etwa 11 - 14% gebracht werden; ist es zu feucht, droht die Gefahr,

---

<sup>3</sup> Vgl. MOMBÄCHER, u. a. (1988): Seite

dass die Furnierpakete anfangen zu schimmeln. Sind sie zu trocken, neigt das Holz zum Reißen.

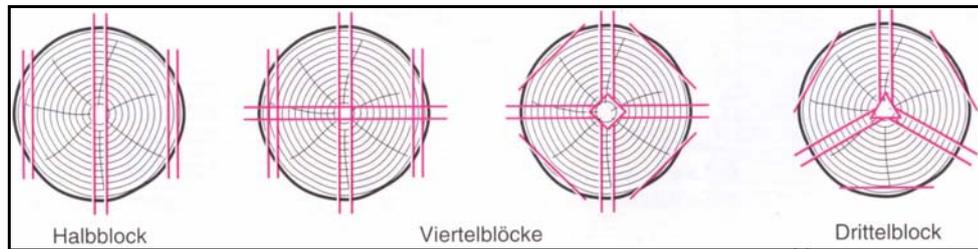


Abb. 2-1 - Einteilung des Rundholzes in Furnierblöcke

(Quelle: KALLWEIT (1990): Seite 76)

Ein weiteres Unterscheidungskriterium für Furniere ist die Unterteilung nach dem Verwendungszweck laut DIN 68330:

- **Deckfurniere:** Sie bilden die äußere Schicht eines furnierten Fertigerzeugnisses, dabei sind *Außenfurniere* (für Außenflächen) meist qualitativ hochwertige Furniere, *Innenfurniere* (für Innenflächen) haben hingegen oft eine geringere Qualität. Bei den Holzwerkstoffplatten bestimmen die Deckfurniere die Güteklasse der Platte nach DIN EN 635.
- **Unterfurniere bzw. Blindfurniere:** Sie werden unter das Deckfurnier verleimt, um Markierungen der Trägerplatte an der Oberfläche zu verhindern oder Spannungen des Deckfurniers z. B. bei Intarsien aufzunehmen.
- **Absperrfurniere:** Sie sollen die Formstabilität sowie die Festigkeit verbessern und das Quellen und Schwinden vermindern. Diese Furnierlagen können zusätzlich zu den Unterfurnieren eingesetzt werden, man leimt sie zwischen Trägerplatte und Unterfurnier (Abb. 2-2). Sie sind dicker als die Deckfurniere.

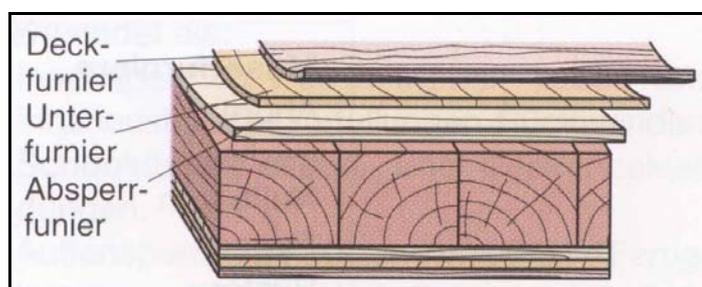


Abb. 2-2 - Verleimreihenfolge von Deck-, Unter- und Absperrfurnier

(Quelle: KALLWEIT (1990): Seite 81)

- **Gegenfurniere.** Sie werden auf die Rückseite der Trägerplatte geleimt. Sie haben keinen dekorativen Anspruch und sollen dem Verziehen des Bauteils entgegenwirken.

## 2.1 Sägefurniere

Die Furnierblätter werden mit einer Furnierkreis- oder einer Furnierbandsäge-  
maschine vom entrindeten und auf Gebrauchtfuchte gebrachten Vollholzstamm ab-  
getrennt. Die Furnierdicke beträgt hierbei zwischen 2 und 8mm. Gegenüber anderen  
Herstellungsvarianten hat diese Technologie folgende Vorteile:

- Der Stamm unterliegt keiner Farbveränderung durch vorheriges Kochen bzw.  
Weichmachen.
- Die Furniere sind aufgrund der schonenden Herstellung absolut rissfrei und da-  
her als hochwertige Deckfurniere sehr gut geeignet.

Jedoch entsteht bei diesem spanenden Vorgang ein hoher Verschnitt, die Furnier-  
ausbeute beträgt je nach Dicke nur etwa 20 bis 50%. Des Weiteren ist diese Her-  
stellungsweise zeitaufwendig, die so gewonnenen Furniere sind deshalb sehr teuer<sup>4</sup>.

## 2.2 Schäl-furniere

Die vorbereiteten Stämme werden in axialer Richtung eingespannt und rotieren  
schnell gegen ein feststehendes Messer. Furnierdicken von 0,25 bis 8,0mm sind  
möglich, bestimmt wird dies durch die Stammdrehfrequenz und die Vorschub-  
geschwindigkeit des Messers mit dem Druckbalken gegen das Holz. Durch die  
Druckleiste wird das Holz unmittelbar vor dem Messer verdichtet; damit wird die Vor-  
spaltung verringert, um die Rissbildung einzudämmen. Beim Schäl-furnier unter-  
scheidet man hinsichtlich der Stammeinspannung zwischen folgenden ver-  
schiedenen Technologien:

- Rundschälen: Der Stamm wird zentriert eingespannt und rotiert gegen das vor-  
rückende Messer. Das so gewonnene endlose Furnier wird auf so genannten  
Bobinen bzw. Furnierhaspeln aufgewickelt und in Magazinen getrocknet. Der  
Schnitt erfolgt hierbei parallel zu den Jahrringen, die Maserung des geschälten  
Furniers ist unregelmäßig und wirkt durch die breite Fladerung unnatürlich. Die  
abgetrennten Blätter werden zur Herstellung von Furnier- und Stab- bzw. Stab-  
chensperrholzplatten benutzt.

---

<sup>4</sup> vgl. HEYN, u. a. (1997)

- Exzentrerschälen: Der Stamm wird im Gegensatz zum Rundschälen außermittig eingespannt, die Schnittebene verlagert sich aus der tangentialen in die mehr und mehr radiale Lage zum Holz. Das so geschälte Furnier wirkt natürlicher und gleicht gemesserten Furnieren.
- Staylog-Schälen: Der gesäuberte Stamm wird zusätzlich an einer Seite plan gehobelt, mit zwei Längsnuten versehen und in dem so genannten „Staylog“ (Abb. 2-3) hydraulisch eingespannt. Das Schnittbild ähnelt dem des Exzentrerschälers, jedoch können Hölzer mit kleinerem Durchmesser wirtschaftlicher aufgearbeitet werden.
- Radialschälen: Der Stamm wird zentrisch eingespannt und rotiert gegen ein Messer, das schräg zur Stammachse angesetzt wird. Die gewonnenen kreisrunden Furniere sind z. B. für Tische besonders gut geeignet.

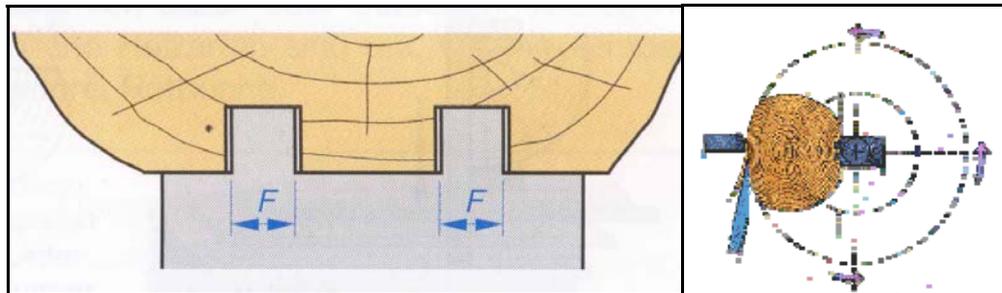


Abb. 2-3 - Stay-Log-Schälen (links: Detail Einspannung)

(Quelle: KALLWEIT (1990): Seite 79)

Es ergeben sich folgende Vorteile bei der Furniergewinnung durch Schälen:

- Hohe Arbeitsgeschwindigkeiten werden durch den kontinuierlichen Arbeitsvorgang ermöglicht (besonders beim Rundschälen).
- Endlose Furniere können für die Sperrholzerstellung genau auf Breite geschnitten werden, somit muss das Furnier für die Herstellung nicht extra zusammgefügt werden.
- Furnierdicken bis 8mm eignen sich für den Einsatz als Mittellage bei Stab- und Stäbchensperrholzplatten.

Negative Aspekte entstehen zum Beispiel durch den vorbereitenden Prozess des Weichmachens. Aufgrund des Kochens unter Wasser verfärbt sich das Holz. Des Weiteren entstehen durch den Herstellungsprozess Haarrisse auf der Unterseite des Furniers („rechte“ Seite des Holzes). Besonders beim Rundschälen tritt ein großer

Breitenschwund auf, da die größere tangentielle Schwindrichtung voll zum Tragen kommt.

### 2.3 Messerfurniere

Das Rundholz wird wie beim Schäl furnier vorbereitet, zusätzlich werden die Stämme dann je nach gewünschter Furniertextur in Furnierblöcke aufgeteilt und abgerichtet. Hinsichtlich der Fertigungstechnologie unterscheidet man zwischen den Horizontal- und den Vertikal- Messermaschinen. Bei den horizontal arbeitenden Messermaschinen gleitet das schräg gestellte Messer quer zum Faserverlauf über den fest eingespannten Furnierblock, der sich bei jedem Schnitt um die Furnierdicke anhebt. Vertikale Messermaschinen hingegen arbeiten mit einem sich gegen das fest stehende Messer auf und ab bewegendem Furnierblock, der in einem so genannten Flitschtisch eingespannt ist. Die Dicke der Blätter wird durch den Vorschub des Furnierblockes gegen das Messer definiert. Bestimmte Furnierbilder werden durch die Einspannungsart bestimmter Furnierblöcke erreicht:

- Flachmessern: Es wird ein Halblock mit der Kernseite auf dem Flitschtisch eingespannt (Abb. 2-4). Die Textur ist anfangs blumig, in Kernnähe streifig.
- Echt-Quartiermessern: Ein Viertelblock ist aufgespannt, die Furniere werden im rechten Winkel zu den Jahrringen abgetrennt (Abb. 2-4). Es entstehen ausschließlich schlichte, streifige Furniere.
- Flach-Quartiermessern: Ein geviertelter Block wird mit dem Kern zum Tisch eingespannt, die Jahresringe werden hierbei flach angeschnitten (Abb. 2-4). Die Furnierblätter zeigen eine blumige, gefladerte Maserung.
- Faux-Quartiermessern: Der Viertelblock wird flach auf dem Flitschtisch eingespannt, die Jahresringe werden zuerst flach, zum Schluss in nahezu rechtem Winkel angeschnitten (Abb. 2-4). Die Furnierblätter haben eine halbblumige Textur.

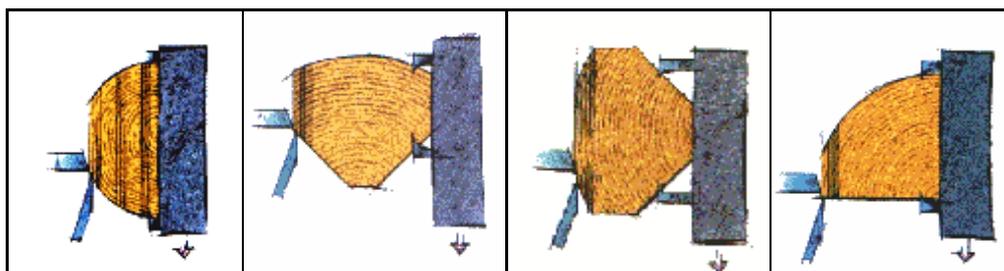


Abb. 2-4 - V. I. n. r.: Flach-, Echtquartier-, Flachquartier-, Fauxquartiermessern  
(Quelle: <http://www.furnier.de> ( 21.Februar 2006)(online))

Doch auch bei der Furnierherstellung durch Messern entstehen kleine Haarrisse aufgrund der Furnierblattwölbung im Schneidprozess. Auch hier ist das Furnier im Gegensatz zum ursprünglichen Holz durch das Kochen verfärbt. Dennoch bringt das Messern einige Vorteile:

- Nur ein relativ kleiner Messerrest bleibt übrig, die Ausbeute ist hoch.
- Es entsteht kein Schnittverlust bei diesem spanlosen Verfahren.
- In der Furnierblattbreite herrscht der kleinere Radialschwund vor. Die Gefahr, dass sich Fugen nach dem Zusammenfügen öffnen, ist somit geringer.
- Beim Vertikalmessern lassen sich die abgetrennten Furniere günstig abnehmen.

### **3 Trägermaterialien für furnierte Platten im Innenausbau**

#### **3.1 Spanwerkstoffe**

Für die Herstellung von Spanplatten werden Holzreste, die bei der Herstellung von anderen Materialien abfallen oder keine Verwendung finden, sowie andere nachwachsende Rohstoffe (z. B. Flachschäben/ Stroh) in ihrer nativen Struktur aufgetrennt, bzw. zerkleinert. Anschließend wird dieser Spänebrei mit 7-12% Klebstoff vermischt und meist in Durchlaufpressen kontinuierlich verdichtet und verklebt. Die einzelnen Späne liegen dabei in Richtung der Plattenebene.

Um die Biegefestigkeit zu erhöhen, werden Flachpressplatten dreischichtig aufgebaut. Die jeweils äußere Schicht besteht hierbei aus feineren Spänen (Säge-späne), die sich aufgrund ihrer Kleinheit noch mehr verdichten lassen. Die Außenschichten haben so eine größere Dichte und können demnach die Zug- und Druckkräfte besser aufnehmen.

Für die Herstellung von Strangpressplatten wird der Spänekuchen durch einen beheizten Kanal „gestopft“, die Späne ordnen sich bei diesem Verfahren senkrecht zur Plattenebene an. Diese Platten haben auf den Querschnitt bezogen einen homogenen Aufbau, sie werden nicht so verdichtet wie Flachpressplatten und haben somit eine geringere Dichte und Festigkeit.

Der Vorteil von Spanwerkstoffen befindet sich in der Ressourcenausnutzung des Rohstoffes Holz, da Abfälle verwertet werden, die sonst im Innenausbau keine Verwendung mehr finden würden. Ferner müssen die eingesetzten Materialien nicht vorsortiert werden, die Verpressung erfolgt kontinuierlich. Die Plattengröße hängt nur von der eingesetzten Fertigungsanlage ab. Jedoch ist durch den Aufschluss des Holzes der innere Zusammenhalt gebrochen, die Platte besteht aus vielen kleinen Holzpartikeln, die mit Hilfe von Klebstoffen zusammengehalten werden. Die Kriechverformung (sie sagt aus, dass die Verformung eines Werkstückes bei konstanter Belastung zunimmt) von Spanplatten addiert sich aus den einzelnen Kriechzahlen der Strukturelemente (einzelne Holzpartikel, Leim). Hiervon lässt sich ableiten, dass die Kriechverformung über der des Vollholzes liegt.

#### **3.2 Faserwerkstoffe**

Bei den Faserwerkstoffen wird die Holzstruktur noch weiter aufgeschlossen. Das Zellgefüge wird unter Anwendung von Dampf und Druck aufgeweicht und gemahlen,

die Lignozellulosefasern werden anschließend unter Druck und Hitze verpresst. Entweder kommen während dieses Prozesses noch Bindemittel hinzu, oder die Platte wird allein durch das Verfilzen der einzelnen Fasern zusammengehalten. Der ursprüngliche Rohstoff ist in der Platte nicht mehr zu erkennen. Der neu entstandene Werkstoff ist nahezu isotrop. Jedoch nimmt durch den weitgehenden Aufschluss des nativen Rohstoffes die Kriechverformung noch weiter zu, da die einzelnen Strukturelemente noch kleiner sind, als bei den Spanplatten.

### **3.3 Verbundwerkstoffe**

„Verbundwerkstoffe sind plattenförmige Werkstoffe, die aus mehreren Schichten symmetrisch aufgebaut sind und überwiegend eine gegenüber den Beplankungsschichten dickere Trägerschicht aufweisen.“<sup>5</sup> Sie bestehen also aus mindestens zwei verschiedenen Materialien, für die obere und untere Deckschicht wird eine Furnierlage verwendet. Sie untergliedern sich in Vollholz- und Leichtbauplatten.

Die Mittellage der Vollholzplatten wird dabei mit 7 bis 30mm dicken, teilweise aneinander geleimten, Holzstäben (Stabplatte nach DIN 68705, Teil 2) oder mit bis zu 7mm breiten, aufrecht stehenden, Schäl furnierstreifen (Stäbchenplatte nach DIN 68705, Teil 2) gebildet.

Die Mittellage der Leichtbauplatten besteht entweder aus Papier- oder Aluminiumwaben. Die Waben dienen dabei dem Zweck, der Platte die gewünschte Dicke zu geben, ohne das Gewicht maßgeblich zu erhöhen. Die Wabenstruktur wird dafür gewählt, da sie in Längs- und Querrichtung der Platte eine gleichmäßig hohe Biegefestigkeit aufweisen. Einfache Lamellen sind im Gegenteil dazu nur in ihrer Längsrichtung steif.

---

<sup>5</sup> NIEMZ (1993)

## 4 Mechanische Einflussgrößen

### 4.1 Biegefestigkeit

Bei einer Biegebelastung liegen sowohl Druck- (auf der Oberseite), als auch Zugspannungen (auf der Unterseite) vor, die durch eine spannungsfreie, neutrale Schicht getrennt sind. Verhält sich die Durchbiegung proportional zu der einwirkenden Kraft, liegt diese neutrale Zone in der Schwerachse des Materials. Von einem bestimmten Punkt an nimmt die Biegung bei gleich bleibender Krafteinwirkung stärker zu. Ab diesem sog. Proportionalitätspunkt verschiebt sich die neutrale Zone in den Zugbereich. Da aufgrund der Gleichgewichtsbedingungen innerhalb eines Werkstoffes die Summe der Druckspannungen gleich der Summe der Zugspannungen sein muss (entspricht der schraffierten Fläche), erhöht sich die maximale Spannung (Abb. 4-1). Diese Spannungen müssen vom eingesetzten Werkstoff aufgenommen werden. Je höher die Biegefestigkeit ist, desto mehr Spannungen werden absorbiert bzw. desto geringer ist die Durchbiegung.

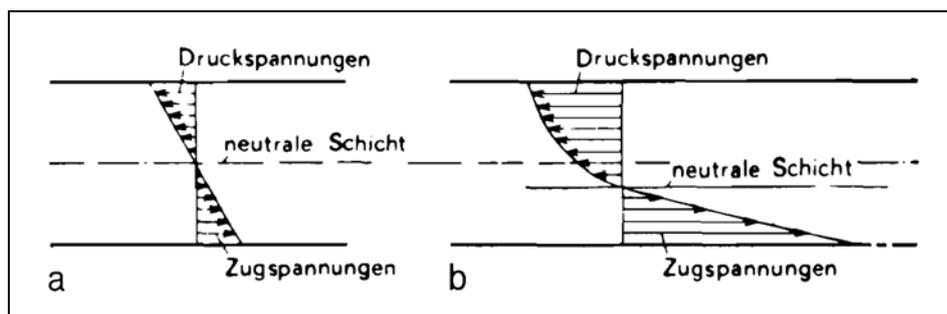


Abb. 4-1 - Biegespannung: a) unterhalb, b) oberhalb der Proportionalitätszone  
(Quelle: MOMBÄCHER, u. a. (1988): Seite 130)

Die Biegefestigkeit steht für die zum Bruch führende Biegespannung. Je höher sie ist, desto zäher verhält sich das Material. „Sie steigt im allgemeinen mit zunehmender Rohdichte sowie abnehmender Feuchte und Temperatur des Holzes. Die Biegefestigkeit wird durch Abweichung von der Faserrichtung oder Ästigkeit vermindert, vor allem, wenn diese im auf Zug beanspruchten Teil des Holzes auftreten.“<sup>6</sup> Ist also die Biegefestigkeit eines Stoffes groß, bzw. hat er eine große Rohdichte, kann er mehr Kraft aufnehmen, die auf seine Biegung einwirkt. Da jeder Kraft eine gleichgerichtete Kraft gegenübersteht, kann man sagen, dass ein Material mit höherer Biegefestigkeit seiner eigenen Durchbiegung mehr entgegenwirkt, als ein

<sup>6</sup> MOMBÄCHER, u. a. (1988)

Stoff mit geringerer Biegefestigkeit. Eine Erhöhung des Faser-Last-Winkels oder eine ansteigende Temperatur bewirken einen Abfall der Biegefestigkeit.

## 4.2 Elastizitätsmodul

Die Elastizität ist definitionsgemäß die Fähigkeit eines Körpers, eine Verformung nach Wegfall der Belastung bzw. Krafteinwirkung wieder rückgängig zu machen. Ist die Formänderung nach der Entlastung vollständig reversibel, so spricht man von idealelastischen Materialien. Holz und Holzwerkstoffe sind jedoch viskoelastisch, d. h., die elastischen Verformungen werden durch plastische zeitabhängige Verformungen überlagert.

Bis zu einem materialspezifischen Punkt verhält sich das Material in Bezug auf seine Verformung proportional zur Spannung. Oberhalb dieses Punktes, der Elastizitätsgrenze, steigt die Verformung überproportional an. Diese Verformung besteht dann aus einem elastischen und einem plastischen Anteil (Abb. 4-2), wobei der Letztere nach dem Abklingen der Spannung als bleibende Verformung des Werkstoffes zu beobachten ist. Je größer die Elastizität eines Materials ist, desto mehr setzt es seiner Verformung entgegen bzw. desto steifer verhält er sich. Ausgedrückt wird dieser Parameter im Elastizitätsmodul (E-Modul).

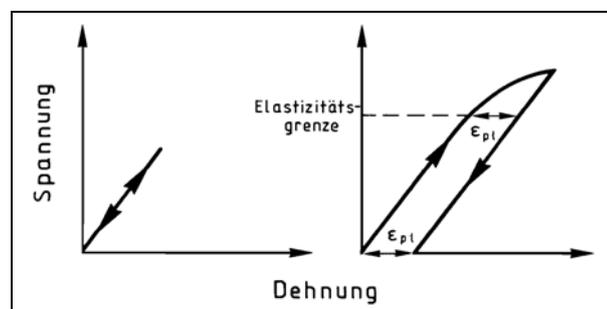


Abb. 4-2 - Elastizitätsverlauf in Abhängigkeit von der Höhe der Spannung  
(Quelle: MOMBÄCHER, u. a. (1988): Seite 277)

Der E-Modul ist somit ein materialspezifischer Kennwert für die Verformungssteifigkeit eines Werkstoffes bei mechanischer Beanspruchung. Werkstoffe mit großem E-Modul werden sich folglich weniger durchbiegen. „Bei Holz nimmt der Elastizitätsmodul im allgemeinen zu mit steigender Rohdichte, abnehmender Temperatur und abnehmendem Feuchtgehalt...“<sup>7</sup>

<sup>7</sup> MOMBÄCHER, u. a. (1988)

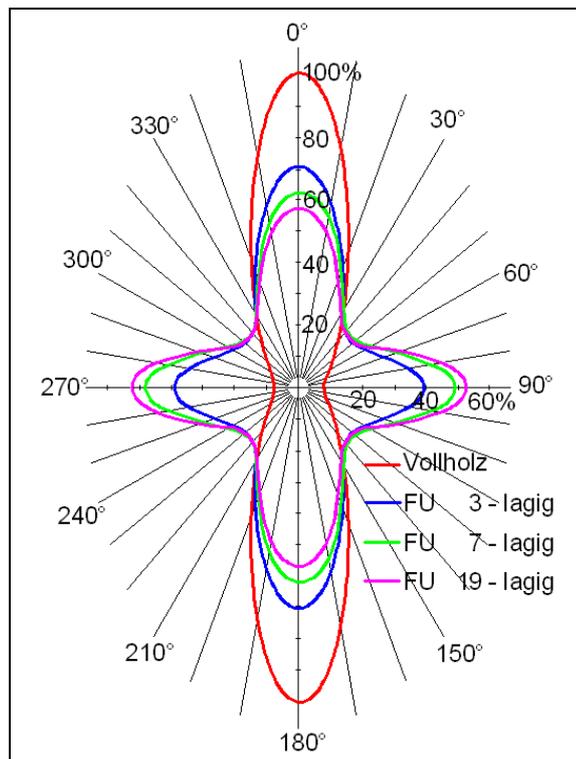


Abb. 4-3 - Polardiagramm: Abhängigkeit des E-Moduls von der Faserrichtung  
(Nach: MOMBÄCHER, u. a. (1988): Seite 277)

Abb. 4-3 verdeutlicht die prozentuale Abhängigkeit des E-Moduls von Vollholz und Furniersperrhölzern (FU) mit unterschiedlicher Lagenanzahl von der Faserrichtung des Holzes bzw. der Furnierdecklage. Die jeweiligen Prozentwerte beziehen sich hierbei auf den Elastizitätsmodul des Vollholzes. Dem Polardiagramm kann man entnehmen, dass der E-Modul stark von der Faserrichtung abhängig ist. Bei einfacher Lagenanzahl (also Vollholz) beträgt der Elastizitätsmodul rechtwinklig zur Faserrichtung nur etwa 10%. Erhöht man die Lagenanzahl, verringert man die Abhängigkeit der Richtung der Fasern, da jede zweite Lage um 90° gedreht ist und somit die Fasern in zwei Richtungen verlaufen. Dabei übt jedoch der Verlauf der Deckschichten einen größeren Einfluss aus, weil bei einer üblichen ungeraden Lagenanzahl die Lagen mit Richtung der Decklage einmal öfter vertreten sind. Nimmt die Lagenanzahl zu, wird der Unterschied zwischen den zwei Belastungsrichtungen immer geringer, da das Verhältnis der Lagenanzahl dieser Faserrichtungen bei hoher Anzahl immer näher an 1 liegt. So ist das Verhältnis bei FU 3-lagig:  $\frac{1}{2} = 0,5$ . Bei FU 7-lagig beträgt das Verhältnis  $\frac{3}{4} = 0,75$ . Nimmt man FU 19-lagig, ist das Verhältnis  $\frac{9}{10} = 0,9$ . Dem Diagramm ist ersichtlich, dass sich die E-Moduln der zwei be-

trachteten Belastungsrichtungen bei zunehmender Lagenanzahl immer mehr annähern. Aber genauso nimmt der maximale Elastizitätsmodul bei größerer Anzahl der Schichten immer mehr ab, so beträgt er bei 19-lagiger Schicht nur noch etwa 40% vom nativen Holz.

### 4.3 Schubmodul

Der Schubmodul (G-Modul) kennzeichnet den Widerstand eines Stoffes gegenüber einer Scherverformung. Diese tritt auf, wenn auf den Körper, bzw. die Platte eine Kraft tangential angreift. Man spricht von einer Schubbelastung, wenn sich aufeinander liegende Schichten innerhalb eines Werkstoffes gegeneinander verschieben. Dies geschieht auch bei einer Biegebelastung, besonders bei einem großen Unterschied in der Festigkeit der Deck- und Mittellagen. Man kann also sagen, dass die innere Kraft zunimmt, je höher der Schubmodul einer Platte ist. Sie setzt einer Biegebeanspruchung eine größere Kraft entgegen, bzw. die Platte biegt sich weniger durch. Mit dem Schubmodul lässt sich der Verschiebungswinkel  $\gamma$  er rechnen, der bei einer hinreichend großen Schubspannung  $\tau$  im Material entsteht:

$$\gamma = \frac{\tau}{G} \quad [4-1].$$

Dabei steht der G-Modul mit dem E-Modul in folgender Beziehung:  $G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \mu)}$

[4-2]. Aus dieser Formel ist abzulesen, dass sich G proportional zu E verhält, hat ein Material also ein größeres Schubmodul im Vergleich zu einem anderen Stoff, ist

auch sein Elastizitätsmodul höher. Der Proportionalitätsfaktor  $\frac{1}{2 \cdot (1 + \mu)}$  ist nur noch

von einer materialspezifischen Konstante, der Querdehnzahl oder Poisson-Zahl  $\mu$ , abhängig. Diese Zahl beschreibt das Verhältnis von der Dickenänderung zur Längenänderung eines Materials bei einer Schubbeanspruchung ( $\mu = -\frac{\Delta d / d}{\Delta l / l}$  [4-3]).

Eine Schubbeanspruchung tritt auf, wenn ein Werkstoff parallel zu seiner Fläche beansprucht wird. „Unter Einwirkung einer Zugkraft wird nach dem Hookeschen Gesetz jeder Körper länger. Gleichzeitig tritt aber eine relative Dickenänderung auf, durch die der Körper rechtwinklig zur einwirkenden Kraft dünner wird.“<sup>8</sup>(Abb. 4-4) Das Hoo-

---

<sup>8</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Poissonzahl> (25.März 2006)(online)

kesche Gesetz besagt, dass die Formänderung aufgrund einer Krafteinwirkung linear proportional zu der anliegenden Spannung ist. Der Proportionalitätsfaktor ist dabei der Elastizitätsmodul  $E$ .

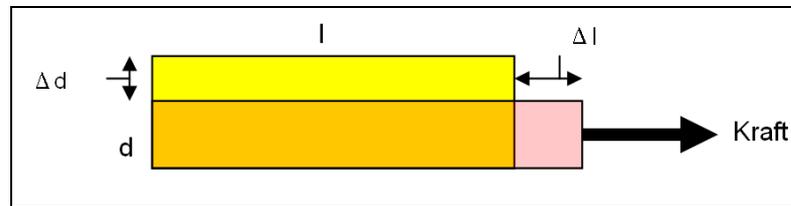


Abb. 4-4 - Abhängigkeit der Poissonzahl

(Quelle: o. V.: <http://de.wikipedia.org/wiki/Poissonzahl> (25.März 2006)(online))

## 5 Einwirkung der Einflussgrößen / Berechnungsansätze

### 5.1 Vergleich der Trägermaterialien

Jedes Trägermaterial setzt seiner Verformung, bzw. seiner Durchbiegung eine natürliche, materialabhängige Kraft entgegen. Diese Materialkonstante ist umso größer, je natürlicher der eingesetzte Rohstoff ist. Sie nimmt also mit dem zunehmenden Aufschluss der nativen Holzstruktur ab. In der folgenden Tabelle 5-1 sind die gebräuchlichsten Plattenmaterialien mit ihren Materialwerten zusammengefasst:

Tabelle 5-1 - Gegenüberstellung spezifischer Materialkennwerte von Plattenmaterialien  
(In Anlehnung an NIEMZ (1993))

	Dichte in kg/m <sup>3</sup>	Biegefestigkeit in N/mm <sup>2</sup>	E-Modul in N/mm <sup>2</sup>	G-Modul in N/mm <sup>2</sup>
Faserplatte hoher Dichte	800 – 1.000	45 - 50	4.000 – 7.000	1.000 – 1.250
Spanplatte	600 - 800	15 - 25	1.600 – 4.000	150 - 300

Diese Tabelle zeigt, dass Spanplatten am wenigsten geeignet sind, Spannungen aufzunehmen. Sie setzen einer Krafteinwirkung den geringsten Widerstand entgegen. Gemäß ihrer Herstellungstechnologie haben Spanplatten eine geringere Dichte als Faserplatten, davon sind die elastomechanischen Fähigkeiten abhängig. Sie haben aufgrund ihrer gezielt hergestellten Partikelverteilung eine wesentlich geringere Dichtestreuung (Variationskoeffizient: 3 ... 5%, im Vergleich Vollholz: 15 ... 20%).<sup>9</sup>

*Verbundplatten* mit einer holzfremden Mittelschicht lassen sich in dieser Tabelle nicht auführen, da ihre Zusammensetzung stark variiert. Ihre Mittellage kann aus Alu- oder Papierwaben, Schaumstoffen, o. ä. bestehen, der genaue Materialmix wird abhängig für den Einsatzzweck gewählt. Ist die Dicke der Deckschicht in Bezug auf die Mittellage viel kleiner, nimmt sie bei Belastung nur die Zug- und Druckspannungen auf, die Schubbeanspruchung geschieht in der Mittelschicht, somit muss auch der Schubmodul der Mittelschicht bekannt sein, um für die gesamte Platte repräsentative Materialkennziffern erhalten zu können. In der Abb. 5-1 erkennt man, dass die Deckschicht den größten Einfluss auf den E-Modul und somit auch die mechanischen Fä-

<sup>9</sup> Vgl. NIEMZ (1993)

higkeiten hat. Der Beplankungsgrad ist das Verhältnis der Dicke der Deckschicht zur Dicke der Mittellage.

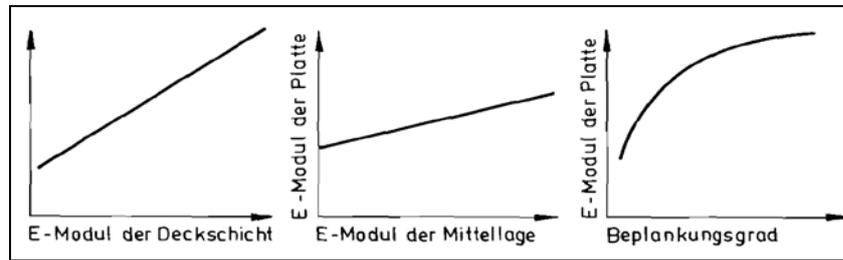


Abb. 5-1 - Einflussfaktoren auf den E-Modul von Verbundplatten

(Quelle: NIEMZ (1993): Seite 36)

Auch Abb. 5-2 verdeutlicht, dass die Decklagen und der Schichtaufbau den größten Einfluss auf die Eigenschaften der gesamten Platte haben, daneben spielt nur noch die Form und Anbindung bei einer Wabenmittellage eine untergeordnete Rolle. Die Eigenschaften der Mittellagen üben nur einen relativ geringen Einfluss aus.

Einflußfaktor	Biegefestigkeit E-Modul
Eigenschaften der Decklagen (phys./mech./rheol.)	3
Eigenschaften der Mittellagen (phys./mech./rheol.)	1
tragender Querschnitt der Mittellage	1
Schichtenaufbau (-anteil)	3
Kehlnahtbreite bei Waben	2
Randabschluß bei Wabenplatten	2
Einfluß: 1 – relativ gering 2 – deutlich 3 – dominierend	

Abb. 5-2 - Wirkung strukturbedingter Einflussfaktoren auf die Biegefestigkeit/ E-Modul von Verbundplatten

(Quelle: NIEMZ, P. (1993):Seite 36)

Greift an *Spanplatten* eine Kraft an, wird diese durch die Schubspannungen in den Leimbrücken, welche die Späne punktförmig miteinander verbinden, übertragen. Um die Eigenschaften von Spanplatten für die Beurteilung ihrer Reaktion auf Kräfteinflüsse zu untersuchen, muss man unter anderem auch die Art und Beschaffenheit der Späne, ihre Orientierung, den Schichtaufbau und auch den zielgerichteten Einsatz des Bindemittels beachten. Eine Auflistung aller Einflussfaktoren mit ihrer Wichtigkeit zeigt Abb. 5-3.

Einflußfaktor	Biegefestigkeit E-Modul
Holzart (Rohdichte)	3
Spanlänge	3
Spanbreite	1
Spandicke	2
Oberflächenstruktur der Späne	2
Klebstoffart	1
Klebstoff(Festharz-)anteil	2
Spanorientierung	3
Rohdichteprofil	2
mittlere Rohdichte	3
Profil der Spanabmessungen	2
Profil der Bindemittelverteilung	2
Einfluß: 1 – relativ gering 2 – deutlich 3 – dominierend	

Abb. 5-3 - Wirkung strukturbedingter Einflussfaktoren auf die Biegefestigkeit / E-Modul von Spanplatten

(Quelle: NIEMZ (1993): Seite 33)

Abb. 5-4 zeigt qualitativ den Einfluss verschiedener Parameter auf den E-Modul. Es ist klar ersichtlich, dass er proportional zur Rohdichte der Platte ansteigt. Auch bei den Spanplatten hat die dichtere Deckschicht einen großen Einfluss, da in den Randschichten die bei einer Biegung auftretenden Zug- und Druckspannungen aufgenommen werden.

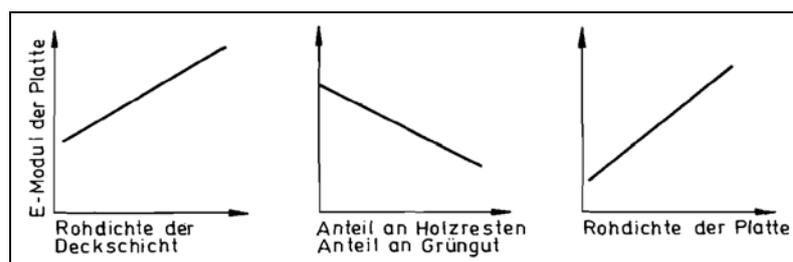


Abb. 5-4 - Einflussfaktoren auf den E-Modul von Spanplatten

(Quelle: NIEMZ (1993): Seite 34)

*Faserplatten* werden als ein dreidimensionales Fasernetzwerk betrachtet. Infolge der komplizierten Zusammenhänge von mechanischer Faserverankerung, Wirkung des Bindemittels sowie Reaktivierung holzeigener Bindekräfte sind die Verhältnisse ma-

thematisch schwer zu erfassen.<sup>10</sup> Abb. 5-5 listet die verschiedenen Faktoren und ihren Einfluss auf die Biegefestigkeit / den E-Modul mit ihrer Wichtigkeit auf. Die Rohdichte übt dabei den größten Einfluss aus.

Einflußfaktor	Biegefestigkeit E-Modul
Holzart	1
Holzqualität	1
Partikelgröße (Aufschlußgrad)	2
Klebstoffart	1
Klebstoff(Festharz-)anteil*	2
(Zusatzstoffanteil)	1
Rohdichteprofil	3
mittlere Rohdichte	3
Profil der Faserabmessungen bei MDF	2
Profil des Festharzanteils bei MDF	2
* sofern nicht thermische Nachbehandlung der Faserplatte erfolgt	
Einfluß: 1 – relativ gering 2 – deutlich 3 – dominierend	

Abb. 5-5 - Wirkung strukturbedingter Einflussfaktoren auf die Biegefestigkeit / E-Modul von Faserplatten

(Quelle: NIEMZ (1993): Seite 35)

Der Unterschied der Merkmale von Faserplatten im Vergleich zu denen von Spanplatten liegt im deutlich höheren Aufschlussgrad des Holzes und der damit verbundenen Aktivierung holzeigener Bindekräfte sowie in der weitgehenden Verfilzung der Fasern untereinander.

Einen nicht unerheblichen Einfluss übt außerdem die Aufnahme von Feuchtigkeit der Trägerplatten während des Verleimprozesses aus. Innerhalb des hygroskopischen Bereiches von Holz (Feuchtgehalt bis zum Fasersättigungspunkt von ca. 32%) bewirken Feuchteänderungen Quell- und Schwinderscheinungen. „Wird ein plattenförmiger Werkstoff einseitig derartigen Feuchteänderungen ausgesetzt, stellt sich ein Feuchtegefälle zwischen den Plattenseiten ein, das ein unterschiedliches Quellen der einzelnen Plattenschichten und eine Änderung der feuchteabhängigen Platteneigenschaften wie z. B. das Elastizitätsmodul bewirkt.“<sup>11</sup> Der Werkstoff verformt sich, da das Kräftegleichgewicht (aufgrund der Abhängigkeit von inneren Spannungen,

<sup>10</sup> Vgl. NIEMZ (1993)

<sup>11</sup> NIEMZ (1993)

dem E-Modul, der Biegefestigkeit und dem Feuchtegradienten) über den Querschnitt der Platte gestört ist.

Wird zudem ein Werkstoff asymmetrisch beschichtet (z. B. durch einseitige Beschichtung, unterschiedlich dickes Furnier, nicht gleich gerichtetes Furnier, andere Furnierarten auf der Ober- und Unterseite oder die Beschichtung mit Kunststoff) kann es in Abhängigkeit vom Klima, der Plattendicke und dem Grad der Asymmetrie zu erheblichen Veränderungen kommen.<sup>12</sup>

Große Dicken und Breiten des auf Biegung belasteten Werkstücks erhöhen die Biegesteifigkeit, weil sich die im Inneren des Bauteils wirkenden Querkräfte auf einen größeren Querschnitt verteilen können. Da plattenförmige Bauteile rechteckige Querschnitte aufweisen, wirkt sich die Erhöhung der Bauteildicke direkter auf die Biegesteifigkeit aus als die Erhöhung der Bauteilbreite. Erkennbar wird dies an der Gleichung für das Widerstandsmoment  $M = \frac{b \cdot h^2}{6}$  [5-1]. Die Bauteildicke  $h$  geht im Unterschied zur Breite  $b$  zum Quadrat in die Gleichung ein.

Die relative Luftfeuchte und der daran gekoppelte Gleichgewichts-Feuchtsatz haben ebenfalls Einfluss auf die Biegesteifigkeit von Holz und Holzwerkstoffen. Bei zunehmender Luftfeuchte im Konstantklima steigt die Kriechverformung generell an, bei Partikelwerkstoffen ist dies stärker ausgeprägt als bei Vollholz. Außerdem werden der E-Modul und der Schubmodul bei steigendem Feuchtsatz abgesenkt und somit auch die elastische Verformung der Werkstoffe verstärkt.

Bedingt durch thermische Expansion und verstärkte Molekularbewegung sinkt der Elastizitätsmodul bei Erwärmung. Somit führt die Erhöhung der Temperatur zur Minderung der Biegesteifigkeit von Bauteilen.

## **5.2 Auswirkungen der Furniere**

„Aus mechanischer Sicht wird Holz [und somit auch Furniere; Anm. d. Autors] als poröses Material aus Einzelfasern (bzw. Früh- und Spätholz) und Holzstrahlen als Matrix und Lignin und Hemicellulose als Bindemittel betrachtet.“<sup>13</sup> Selbst innerhalb

---

<sup>12</sup> Vgl. NIEMZ (1993)

<sup>13</sup> NIEMZ (1993)

einer Holzart kommt es zu Dichtestreuungen und damit auch zu unterschiedlichen Elastizitäts- sowie Festigkeitseigenschaften. Ferner bestehen auch innerhalb eines Holzbestandes Unterschiede der Bäume bezüglich ihres Durchmessers, der Höhe und der Schaftform. „Die Rohdichte nimmt dabei von den vorherrschenden zu unterdrückten Bäumen hin zu.“<sup>14</sup> Des Weiteren beeinflusst auch die Jahrringbreite die Dichte. Mit einer Verbreiterung der Jahrringe nimmt der Spätholzanteil zu, gleichzeitig steigt auch die Dichte. Eine Ausnahme bilden hier ringporige Laubhölzer. Darüber hinaus hat auch das gewählte Bindemittel Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften, „... vom Klebstoff wird vor allem die Klimabeständigkeit ... bestimmt“<sup>15</sup>, hydrophobe Zusätze im Klebstoff (z. B. Paraffine) vermindern ein Quellen und Schwinden.

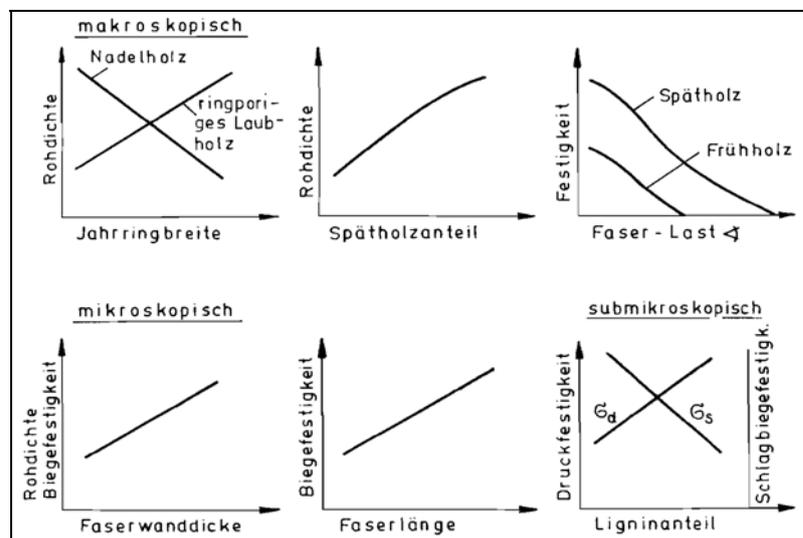


Abb. 5-6 - Einflüsse der Strukturparameter von Holz  
(Quelle: NIEMZ (1993): Seite 31)

Abb. 5-6 zeigt weitere Einflussfaktoren auf die Eigenschaften von Holz. Wird Furnier auf einen Trägerwerkstoff aufgeklebt, wirken in den Furnierschichten hauptsächlich Druck- und Zugkräfte, deshalb ist die Dichte ein wichtiges Kriterium für die mathematische Betrachtung des so entstandenen Systems. Mit der Dichte steigen generell die Festigkeit und somit auch die Druck- und Zugfestigkeit an. Die Dichte wiederum steigt und sinkt mit dem Spätholzanteil, der Faserlänge und der Faserwanddicke. Auch die Breite der Jahresringe spielt eine Rolle, hier muss allerdings zwischen Na-

<sup>14</sup> NIEMZ (1993)

<sup>15</sup> KALLWEIT (1990)

delholz und ringporigem Laubholz differenziert werden. Abb. 5-7 fasst alle Einfluss nehmenden Strukturparameter und ihre jeweilige Dominanz zusammen.

Strukturparameter	Rohdichte	Biegefestigkeit
Schnitttrichtung	1	2
Faser-Last-Winkel	1	3
Kern-/Splintholz Reifholz/Kernreifholz	2	2
Jahrringbreite	2	2
Reaktionsholz	2	2
Faserlänge	1	2
Lignifizierung der Zellwandschichten	2	2
Mikrofibrillenwinkel in S <sub>2</sub> -Schicht	1	2
Einfluß: 1 – relativ gering 2 – deutlich 3 – dominierend		

Abb. 5-7 - Wirkung ausgewählter Strukturparameter auf die Eigenschaften von Holz  
(Quelle: NIEMZ (1993): Seite 32)

Wird auf einen beliebigen Trägerwerkstoff ein Furnier aufgeleimt, verändert sich der Spannungsverlauf innerhalb der Platte. Da auf einer Seite zusätzliches Material aufgebracht wird, entsteht ein Ungleichgewicht (siehe Abb. 5-8). In der rechten Abbildung wird deutlich, dass auf der Seite der Beschichtung eine größere Spannung entsteht (roter Spannungspfeil), die auf der Unterseite nicht ausgeglichen wird. Infolge dessen zieht sich der Werkstoff auf der furnierten Seite zusammen bzw. wird hohl, bis mit den plattenspezifischen Spannungswerten wieder ein Gleichgewicht hergestellt ist.

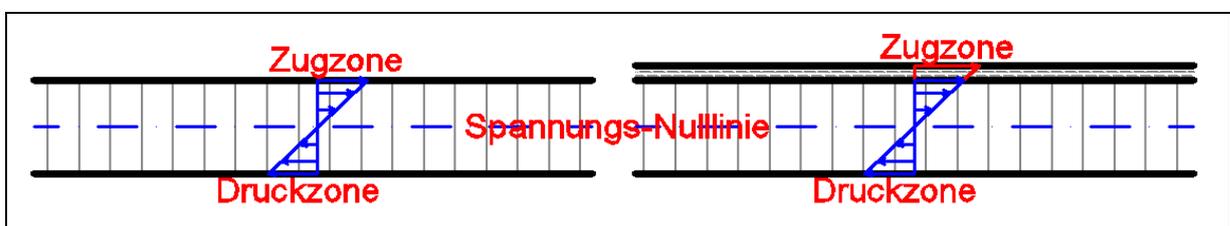


Abb. 5-8 - Spannungsverläufe: links unbeschichtete Platte; rechts einseitig furnierte Platte

Jede Holzart hat ein unterschiedliches Vermögen, Druck- bzw. Zugspannungen aufzunehmen. Diese Eigenschaft ist wiederum von der Betrachtungsrichtung (längs oder quer zur Faser) abhängig. In Anlage 1 sind einige typische Holzarten mit ihren

Zugfestigkeitswerten längs und quer zur Faserrichtung aufgeführt. Rechtwinklig zur Faser haben alle Hölzer deutlich geringere Werte. Ein Gegenfurnier, das in einer anderen Richtung als das Hauptdeckfurnier aufgelegt wird, ist demnach nicht in der Lage, den Unterschied im Druck- und Zugspannungsverlauf der Platte aufzunehmen. Auf der anderen Seite besteht dann eine große Differenz in den Zugfestigkeiten, wenn man die Längsrichtung des Gegenfurniers betrachtet. Hier kann das Deckfurnier, das nun quer liegt, die Spannungen nicht ausgleichen. Eine Platte sollte also, sofern es möglich ist, immer mit gleich gerichteten Deckfurnieren beleimt werden, da in den Randzonen eines Werkstoffverbundes die Druck- und Zugspannungen vorherrschen. Besteht hier eine zu große Differenz zwischen der Ober- und Unterseite, biegt sich die Platte durch. Es ist davon auszugehen, dass die Größe der Differenz der Zugfestigkeiten ein Maß für die eventuelle Durchbiegung ist, aber auch die Dicken der einzelnen Materialschichten müssen in diese Rechnung einfließen.

Im Prozess des Verleimens wird das Furnier durch den aufgetragenen Klebstoff Wasser ausgesetzt. Das Wasser dringt schnell in die dünne Holzschicht ein und bewirkt dessen Quellung. Je mehr Zeit zwischen dem Auftragen und dem Verpressen unter Druck und Hitze liegt (denn erst dann verdampft das Wasser aus dem Furnier), desto länger kann das Holz quellen. Nach dem Verpressen der Platte ist das eingedrungene Wasser verdampft, das Furnier „will“ nun wieder seine Ausgleichsfeuchte, die abhängig vom umgebenden Raumklima ist, einnehmen. Die aufgeleimte Holzschicht schwindet und bringt aufgrund der Verklebung Spannung in den Materialmix. Diese Seite neigt zum Hohlwerden. Ein Gegenfurnier auf der Unterseite kann diese Spannungen ausgleichen, jedoch sollte hier beachtet werden, dass die Schwindmaße der Furniere nicht zu weit auseinander liegen. Anlage 1 enthält die Schwindrichtungen ausgesuchter Holzarten in axialer, radialer und tangentialer Richtung. Es ist ein deutlicher Unterschied zwischen den einzelnen Richtungen zu erkennen. Axial sind die Werte vernachlässigbar klein, der radiale und tangentiale Schwundsatz (der bei Furnierschichten nicht klar zu trennen ist, der reale Satz bewegt sich wohl dazwischen) sind dagegen deutlich höher. Die Differenz der Schwundwerte spielt ebenso eine Rolle bei der Durchbiegung.

### **5.3 Finite - Elemente - Methode**

Die Spannungen und Verformungen lassen sich genauer mithilfe der Finite - Elemente - Methode (FEM) berechnen. Ziel der Methode der finiten Elemente ist die Auf-

teilung von komplexen Gebilden in viele genau definierte Kleinstbausteine, um genaue Berechnungen des statischen Verhaltens oder anderen physikalischen Zusammenhängen zu ermöglichen. Dazu ist es notwendig, das Untersuchungsobjekt in sinnvolle Einzelbausteine zu zerlegen und jedem einzelnen Baustein eine Vielzahl von Kennzahlen zuzuweisen. Die Art der Zerlegung richtet sich nach dem Berechnungsziel und dem Materialaufbau. Zur Durchführung dieser Berechnungen werden kostenintensive Softwareprodukte und umfangreiche Erfahrungen in ihrer Nutzung benötigt. Dieses Verfahren ist außerdem sehr zeitintensiv, der Einsatz muss deshalb genau überlegt sein und sollte in günstiger Relation zum erhofften Ergebnis stehen. Interessant ist diese Methode jedoch, wenn genaue Berechnungen von Durchbiegung und anderen Verformungen erforderlich sind, da entsprechend der Modellgenauigkeit die Gesamtheit der Einflüsse berücksichtigt werden kann. Auch die Berechnung von Verbundwerkstoffen ist mit diesem Verfahren möglich, wenn alle erforderlichen Materialkennzahlen bekannt sind.

## 6 Resümee und Ansatzpunkte für weitere Untersuchungen

Holz beschreibt sich aus mechanischer Sicht als inhomogener, anisotroper und poriger Festkörper. Seine Eigenschaften werden insbesondere durch Feuchtigkeit und Temperatur beeinflusst. Die Poren kann man als ein System innerer Kerben sehen, die sich gegenseitig beeinflussen und auch Mikrobrüche (in gewissen Bereichen aber auch eine innere Entlastung) hervorrufen können. Die mechanische Vorgeschichte aller miteinander verbundenen Materialien (z. B. Zonen teilweiser Überbeanspruchung sowie strukturell bedingte fehlerhafte Stellen im Werkstoff) machen eine genaue Bestimmung der mechanischen Eigenschaften unmöglich. Auch das Klima, und die damit zusammenhängende sich ständig verändernde Holzfeuchte, tragen zu dieser Unschärfe bei.

„Dominierende Einflussfaktoren [auf die Materialkennzahlen; Anm. d. Autors] sind im Allgemeinen:

- Die Struktur des Holzes (Rohdichte, Schnittrichtung, Faser-Last-Winkel),
- Der Feuchtegehalt des Holzes und
- Die Vorgeschichte des Holzes (z. B. Alterung von Holzwerkstoffen durch Hydrolyse der Klebfugen oder Reißbildung durch Quell- und Schwindverhalten).

...

Wesentliche Strukturmerkmale sind im makroskopischen Bereich:

- Die Schnittrichtung,
- Der Faser-Last-Winkel,
- Kern-/Splintholz bzw. Reifholz, Kernreifholz,
- Die Jahrringbreite und der Spätholzanteil,
- Das Vorhandensein von Reaktionsholz.<sup>16</sup>

Aufgrund der Vielfalt möglicher Einflussfaktoren und der Inhomogenität des Holzes ist es schwierig, die Zusammenhänge zwischen Struktur und Eigenschaften von Holz und Holzwerkstoffen mathematisch zu erfassen und somit praktikable Modellansätze für die Vorausberechnung von Eigenschaften zu finden.

Um an diesem Werkstoffverbund aus Trägerwerkstoff und aufgebrachtem Furnier genaue Berechnungen durchzuführen, kann die Güte mathematischer Be-

---

<sup>16</sup> NIEMZ (1993)

schreibungen von Struktur-Eigenschafts-Beziehungen demzufolge nur im Hinblick auf die naturgegebenen Streuungen der Werkstoffeigenschaften beurteilt werden.

Bei den Holzwerkstoffen kommen weitere Faktoren hinzu:

- Der Einsatz weiterer Stoffkomponenten (Kleb- und Zusatzstoffe) in die Plattenstruktur sowie die
- Produzentenabhängige Spezifik im Herstellungsverfahren (z. B. die Oberflächenrauigkeit der Späne, lokale Rohdichtemaxima).

Es ergeben sich sehr komplizierte Mikromechanismen der Bruch- und Verformungsvorgänge.<sup>17</sup>

---

<sup>17</sup> Vgl. NIEMZ (1993)

## Literatur- und Quellenverzeichnis

HEYN, Th. u. a. (1997): Holz – Fachtechnologie. Neusäß. Kieser Verlag, 1997

KOLLMANN, F. (1967): VDI-Forschungsheft 520 – Verformung und Bruchgeschehen bei Holz als einem anisotropen, inhomogenen, porigen Festkörper. München: VDI-Verlag, 1967.

KALLWEIT, L. (1990): Werkstoffe in der Holzindustrie. Leipzig: Fachbuchverlag Leipzig, 1990

MOMBÄCHER, R. u. a. (1988): Holz-Lexikon; Band 1 A-M. 3.Auflage. Stuttgart: DRW-Verlag, 1988

MOMBÄCHER, R. u. a. (1988): Holz-Lexikon; Band 2 N-Z. 3.Auflage. Stuttgart: DRW-Verlag, 1988

NIEMZ, P. (1993): Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe. Leinfelden: DRW-Verlag, 1993

WAGENFÜHR, R.; SCHEIBER, Chr. (1989): Holzatlas; 3. Auflage. Leipzig: VEB Fachbuchverlag, 1989

WÖHRLIN, Tr. (2003): Kleine Kunstgeschichte für Schreiner. München: Deutsche Verlags-Anstalt, 2003

O. V.: <http://de.wikipedia.org/wiki/Poissonzahl> (25.März 2006)(online)

O. V.: <http://www.furnier.de> (21.Februar 2006)(online)

DIN 68330 - Furniere; Begriffe

DIN 68705 - Sperrholz; Teil 2: Stab- und Stäbchensperrholz für allgemeine Zwecke

DIN EN 635 - Sperrholz; Klassifizierung nach dem Aussehen der Oberfläche

## Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

Abb. 2-1 - Einteilung des Rundholzes in Furnierblöcke .....	6
Abb. 2-2 - Verleimreihenfolge von Deck-, Unter- und Absperrfurnier .....	6
Abb. 2-3 - Stay-Log-Schälen (links: Detail Einspannung).....	8
Abb. 2-4 - V. I. n. r.: Flach-, Echtquartier-, Flachquartier-, Fauxquartiermessern .....	9
Abb. 4-1 - Biegespannung: a) unterhalb, b) oberhalb der Proportionalitätszone .....	13
Abb. 4-2 - Elastizitätsverlauf in Abhängigkeit von der Höhe der Spannung .....	14
Abb. 4-3 - Polardiagramm: Abhängigkeit des E-Moduls von der Faserrichtung .....	15
Abb. 4-4 - Abhängigkeit der Poissonzahl .....	17
Abb. 5-1 - Einflussfaktoren auf den E-Modul von Verbundplatten .....	19
Abb. 5-2 - Wirkung strukturbedingter Einflussfaktoren auf die Biegefestigkeit/ E-Modul von Verbundplatten.....	19
Abb. 5-3 - Wirkung strukturbedingter Einflussfaktoren auf die Biegefestigkeit / E-Modul von Spanplatten.....	20
Abb. 5-4 - Einflussfaktoren auf den E-Modul von Spanplatten .....	20
Abb. 5-5 - Wirkung strukturbedingter Einflussfaktoren auf die Biegefestigkeit / E-Modul von Faserplatten .....	21
Abb. 5-6 - Einflüsse der Strukturparameter von Holz .....	23
Abb. 5-7 - Wirkung ausgewählter Strukturparameter auf die Eigenschaften von Holz .....	24
Abb. 5-8 - Spannungsverläufe: links unbeschichtete Platte; rechts einseitig furnierte Platte .....	24
Tabelle 5-1 - Gegenüberstellung spezifischer Materialkennwerte von Plattenmaterialien.....	18

## **Anlagenverzeichnis**

Anlage 1 Kennwerte ausgesuchter Holzarten

Seite 24

**Kennwerte ausgesuchter Holzarten**

[In Anlehnung an WAGENFÜHR, SCHEIBER (1989)]

	Zugfestigkeit in N/mm <sup>2</sup>		Schwindrichtung in %		
	längs	Quer	axial	radial	tangential
Abachi	49	1,3	0,2	3,3	5,6
Abura	-	2,5	-	4,2	8,3
Ahorn	82	-	0,5	3,0	8,0
Balsa	7,5	1,0	0,6	2,4	4,7
Birke	137,0	7,0	0,6	5,3	7,8
Birnbaum		5,3	0,4	4,6	9,1
Dark red meranti	146,0	2,7	0,3	4,1	9,7
Eiche	90,0	4,0	0,4	4,1	8,9
Erle	94,0	7,3	0,5	4,4	9,3
Esche	165,0	9,5	0,2	4,8	8,2
Kastanie	81,0	-	0,9	3,3	6,8
Kirschbaum	-	-	-	5,0	8,7
Koto	85,0	-	0,15	4,0	7,7
Limba	105,0	2,2	0,2	4,7	5,5
Linde	85,0	5,8	0,3	5,5	9,1
Platane	-	5,3	0,5	4,5	8,7
Red cedar	58,0,	1,3	0,3	5,1	8,8
Rotbuche	135,0	10,7	0,3	5,8	11,8
Rüster	80,0	4,0	0,3	4,7	7,5
Teak	120,0	3,7	0,5	2,6	5,0
Wengé	-	2,6	-	5,0	9,0
Zebrano	-	3,5	-	5,1	8,2
Douglasie	105,0	2,4	0,3	4,5	7,2
Eibe	-	-	-	3,7	5,3
Fichte	90,0	2,7	0,3	3,6	7,9
Kiefer	104,0	3,0	0,4	3,6	7,8
Lärche	107,0	2,3	0,3	3,8	9,1
Tanne	84,0	2,3	0,1	3,4	7,4