EINGEGANGEN
-7. AUG. 2008
Erled. F-2008/20

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR
HOLZFORSCHUNG e.V.
Bayerstrasse 57-59 · D-80335 München
Telefon 089 / 51 61 70-0 · Fax 53 16 57

Teilprojekt 14

Hochwertige Bauprodukte aus Massivholz und Holzwerkstoffen aus starkem Stammholz

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Prof. Dr. Dr. habil. G. Wegener
Prof. Dr. Ing. P. Glos
Forstassessor M. Tratzmiller
Holzforschung München
TU München

1 Zusammenfassung **4**

2 Summary **12**

3 Einleitung und Zielsetzung **19**

4 Holzmarktlage und langfristige Trends für Innovationen **20**

4.1 Lage am Markt für Bauprodukte aus Massivholz und Holzwerkstoffen . **21**

4.1.1 Schnittholzmarkt 22
4.1.1.1 Nadelholz 23
4.1.1.2 Laubholz 25
4.1.2 Bauholz für Zimmerarbeiten 27
4.1.3 Konstruktionsvollholz und Balkenschichtholz 28
4.1.4 Brettschichtholz und Brettsperrholz 30
4.1.5 Fenster, Türblätter und Parkett 31
4.1.6 Holz und andere Baustoffe (Beton, Stahl, Ziegel, Kunststoffe) 31

4.2 Lage am Rohholzmarkt **32**

4.2.1 Stammholz 32
4.2.1.1 Schwachholz und Starkholz 33
4.2.1.2 Vergleich von Bayern mit Österreich 35
4.2.2 Industrieholz 36
4.2.3 Energieholz 37

5 Analyse der Anforderungen an Massivholz und Bezüge zum Starkholz **38**

5.1 Kanthölzer und Träger **39**

5.1.1 Bauholz für Zimmerarbeiten 39
5.1.2 Konstruktionsvollholz 39
5.1.3 Balkenschichtholz 43
5.1.4 Brettschichtholz 44

5.2 Bretter und Brettbauteile **45**

5.2.1 Bauholz für Zimmerarbeiten 45
5.2.1.1 Inländische Anforderungen 45
5.2.1.2 Anforderungen an nordische Ware 47
5.2.1.3 Europäische Anforderungen 49
5.2.2 Brettstapelelemente 51
5.2.3 Brettsperrholz- und Brettlagenholzelemente 54
5.2.3.1 Verklebte Elemente 54
5.2.3.2 Gedübelte und genagelte Brettsperrholzelemente 58

6 Eigenschaften von Kanthölzern und Brettern aus starkem Stammholz **58**

6.1 Eigenschaften vom Erdstück bis zum Zopf **58**

6.1.1 Astigkeit 59
6.1.2 Jahrringbreite und Rohdichte 62
6.1.3 Risse 64
6.1.4 Drehwuchs 65
6.1.5 Harzgallen 65
6.1.6 Druckholz 65
6.1.7 Verfärbungen 66
6.1.8 Rindeneinschlüsse 67

6.2 Eigenschaften vom Mark bis zur Baumkante **67**

6.2.1 Astigkeit 68
6.2.2 Rohdichte 71
6.2.3 Faserlänge 72
6.2.4 Risse und Drehwuchs 72

6.2.5 Steifigkeit ... 73
6.2.6 Festigkeit ... 73
6.3 Eigenschaften von Schnittholz mit verschiedener Herkunft ... 76
6.3.1 Einheimische Wuchsgebiete ... 77
6.3.2 Nordische Wuchsgebiete ... 78
6.3.3 Plantagen - Pflanzverband ... 80
6.4 Eigenschaften bei stehenden und liegenden Jahrringen ... 82
6.4.1 Ästigkeit ... 82
6.4.2 Rohdichte ... 83
6.4.3 Maßhaltigkeit und Formstabilität ... 84
6.4.4 Steifigkeit und Elastizitätsmodul ... 85
7 Zuordnung von Massivholz aus starkem Stammholz zur optimalen Verwendung ... 88
7.1 Kanthölzer und Träger ... 88
7.1.1 Kanthölzer mit geringer Tragfähigkeit ... 88
7.1.2 Kanthölzer mit mittlerer Tragfähigkeit ... 91
7.1.3 Kanthölzer mit hoher Tragfähigkeit ... 94
7.2 Bretter und Brettbauteile ... 100
7.2.1 Bretter mit geringer Tragfähigkeit ... 100
7.2.2 Bretter mit mittlerer Tragfähigkeit ... 104
7.2.3 Bretter mit hoher Tragfähigkeit ... 108
8 Entwicklung von Markt-Produkt-Strategien ... 114
8.1 Marktspezialisierung durch breite Produktpalette ... 116
8.1.1 Schnittholzproduktion und Handel mit weiteren Bauprodukten ... 117
8.1.2 Schnittholzproduktion und Weiterverarbeitung ... 117
8.2 Produktspezialisierung des Kostenführers und Nischenanbieters ... 117
8.2.1 Produktspezialisierung des Kostenführers ... 117
8.2.2 Produktspezialisierung des Nischenanbieters ... 118
8.3 Selektive Spezialisierung des Komplettanbieters ... 120
8.3.1 Standardisierte Häuser ... 120
8.3.2 Individuelle Objekte ... 120
9 Umsetzung der Ergebnisse in die Praxis ... 121
9.1 Workshops mit Vertretern von Unternehmen und von anderen Teilprojekten ... 121
9.2 Messeauftritte ... 121
9.3 Vortrag vor Zimmererinnungen aus dem Allgäu ... 122
9.4 Internetauftritt ... 122
10 Literatur ... 123
11 Anhang ... 135

Zusammenfassung

Zielsetzung

Ziel des Teilprojekts ist der Nachweis, dass aus starkem Stammholz durch innovative Verknüpfung der technischen Anforderungen an Holzprodukte mit dem Potential der technologischen Eigenschaften von Starkholz hochwertige und damit marktfähige Bauprodukte hergestellt werden können.

Holzmarkt

Am Holzmarkt müssen kurzfristige von langfristigen Trends getrennt werden, da Innovationen nur im Rahmen langfristiger Trends umsetzbar sind. Den Teilmarkt für Bauprodukte aus Massivholz und Holzwerkstoffen beeinflussen Trends des Gesamtbaumarktes wie die Entwicklung der Neubautätigkeit, des Bauens im Bestand und des Ausbaus auf der Nachfrageseite, aber auch Trends auf der Angebotsseite wie der Strukturwandel der Holzbranche und die Importe aus dem erweiterten europäischen Ausland.

Die Marktlage kann zusammenfassend so charakterisiert werden: Die Nachfrage nach Bauprodukten am deutschen Markt ist stagnierend bis rückläufig, während die Nachfrage am europäischen oder überseeischen Markt wächst. In Deutschland ist jedoch für die kommenden Jahre mit einem vermehrten Um- und Ausbau älterer Wohnungen zu rechnen. Dies wird vor allem Bauprodukte erfordern, die trocken verbaut werden können. Die Holzbe- und -verarbeiter haben darauf mit vermehrter Produktion und Export reagiert. Besonders einheitlich europäisch genormte Produkte wie Brettschichtholz oder Balkenschichtholz weisen starke Zuwächse auf. Günstig für die Entwicklung war auch die stabile bis rückläufige Tendenz bei den Rundholzpreisen. Besonders bei starkem Stammholz ist die verfügbare Menge auf Jahre hinaus hoch und die Preise sind leicht rückläufig. Bei Industrieholz ist der Trend bei den Preisen steigend und bei den Mengen eher rückläufig. Dies ist auf die vermehrte energetische Nutzung von Resthölzern aus dem Wald und aus den Sägewerken zurückzuführen. Damit werden die Preise für Holzwerkstoffe aus diesen Rohhölzern steigen, sofern keine Innovationen diese Steigerungen kompensieren. Wird zum Beispiel vermehrt entrindetes Starkholz gesägt, so können die Resthölzer für hochwertige Dämmmaterialien und Faserspäne verwendet werden.

Anforderungen an Kanthölzer und Träger

Die Anforderungen an Kanthölzer und Träger sind in verschiedenen Normen und Gebräuchen festgelegt. Die niedrigsten Anforderungen in der Normalklasse stellt die DIN 68365. Sie kann aus baurechtlichen Gründen nur noch sehr eingeschränkt angewendet werden. Bauholz für tragende Zwecke muss nach ***DIN 4074*** im frischen und trockenen Zustand sortiert werden. Die DIN 4074 bildet auch die Basis für die Bewertung von ***Konstruktionsvollholz***. In einer freiwilligen Überwachungsgemeinschaft haben Hersteller und Anwender von KVH weitergehende Anforderungen an das Bauprodukt definiert. Eine kurze Gegenüberstellung der Anforderungen nach DIN 68365 und KVH ist in Anhang A3 dargestellt. Besonders bei Maßhaltigkeit, Oberflächenqualität und Tragfähigkeit sind für KVH deutlich höhere Anforderungen an das Schnittholz gestellt als für Bauholz nach DIN 68365.

Konstruktionsvollholz der Festigkeitsklasse C16/C14 wäre für den Holzrahmen- und -tafelbau ein wirtschaftlich interessantes Bauprodukt. Leider ist der Einsatz aufgrund einer fehlenden bauaufsichtlichen Zulassung derzeit nicht möglich. Dieses KVH kann auch in den Export nach Übersee gehen. Die Kanthölzer hierfür könnten kleine Sägewerke aus starkem Stammholz herstellen.

Werden Kanthölzer und Bohlen (Tabelle 1 [DIN 4074]) miteinander hochkant oder flachkant verklebt, so entsteht ***Balkenschichtholz*** [DIBt Z-9.1-440]. Für die verwendeten Schnitthölzer gibt die DIN 4074 im wesentlichen die Anforderungen vor. Es dürfen aber nur Schnitthölzer der Güteklasse S10 und

besser verwendet werden (Anhang A3). Dies stellt besonders an hochkant eingesetzte Bohlen hohe Anforderungen bei der Ästigkeit. Der etwas höhere Elastizitätsmodul und damit verbundene Bemessungsvorteile gleichen die entstehenden Mehrkosten nicht aus. Auch hier wäre maschinell sortiertes Schnittholz der Festigkeitsklasse C16/C14 eine ausreichende und kostengünstige Alternative.

Da die Balkenschichthölzer ohnehin schon hohe Qualität haben, unterscheiden sich die Oberflächenqualitäten nur durch die unterschiedliche Bearbeitung. Balken, die nur egalisiert und gefast sind, werden nicht sichtbar verwendet, während die sichtbar verwendeten Balken gehobelt sein müssen. An Merkmale wie Harzgallen, Druckholzanteil oder Verfärbungen werden nur geringe Anforderungen gestellt.

Die Anforderungen an ***Brettschichtholz*** sind in Anhang A3 kurz zusammengefasst. Brettschichtholz, das bisher fast ausschließlich aus Nadelholz hergestellt wird, wird in vier Festigkeitsklassen GL24 bis GL36 und drei Oberflächenqualitäten eingeteilt. So genannte Stangenware hat vornehmlich die Festigkeitsklasse GL24. Die Oberfläche wird egalisiert (nicht sichtbar), gehobelt und auch geschliffen (sichtbar). Brettschichtholz mit höherer Tragfähigkeit wird meist in Trägern von weit gespannten Hallendächern eingesetzt.

Die Lamellen für Brettschichtholz werden gemäß DIN 4074 nach eigenen Sortierkriterien beurteilt. Besonders die Äste werden anders als bei Kantholz bewertet. In diesem sehr wichtigen Punkt werden an Bretter geringere Anforderungen als an Kanthölzer gestellt. Bei Brettern werden die kantenparallelen Astdurchmesser auf die Breitseite bezogen, während bei Kanthölzern der kleinste Astdurchmesser auf die Seite bezogen wird, auf der er in Erscheinung tritt. Dies bedeutet meist, dass Äste auf der Schmalseite sortier entscheidend sind.

Durch eine ***maschinelle Sortierung*** der Bretter wird aber nicht nur die Ästigkeit zur Sortierung herangezogen, sondern auch Eigenschaften wie die Rohdichte und der Elastizitätsmodul berücksichtigt. Dies ermöglicht erst die sichere Erkennung von Brettern mit höherer Tragfähigkeit (z. B. C35M und C40M). Durch die maschinelle Sortierung kann das Festigkeitspotential, das im Schnittholz steckt deutlich besser ausgenutzt werden als durch eine visuelle Sortierung.

Bei den höheren Oberflächenqualitäten sind Harzgallen, Risse, Verfärbungen und der Astzustand näher definiert und begrenzt.

Die Maßhaltigkeit ist durch den Schichtaufbau und die Oberflächenbehandlung gewährleistet.

Anforderungen an Bretter und plattenförmige Brettbauteile

Bretter und plattenförmige Brettbauteile werden meist flachkant für nicht tragende, aber auch für tragende Zwecke eingesetzt. Die nicht tragenden Bretter dienen in der Regel der dekorativen Verschalung oder dem Witterungsschutz einer tragenden Grundkonstruktion. Die tragend eingesetzten Brettbauteile (z. B. Brettsperrholz) werden zunehmend auch für sichtbare Zwecke eingesetzt [Finnforest Merk 2006], [Binder 2007], [KLH 2006], [DIBt Z-9.1-482], [HMS 2006], [Lignotrend 2006], [DIBt Z-9.1-555], [Brettstapel 2006] [DIBt Z-9.1-574]. Die Anforderungen an die Oberflächenqualität für Massivholzplatten beinhaltet die [EN 13017].

Bretter und Lamellen für Brettbauteile werden deutlich differenzierter beurteilt als Kanthölzer. Dies bedeutet aber nicht gleichzeitig strenger. Für tragende Zwecke gilt in Europa die jeweilige nationale Norm. In Deutschland ist dies die DIN 4074. Für nicht tragende Bretter im sichtbaren Bereich werden in Deutschland drei Vorschriften angewandt. Es sind dies die DIN 68365, die Sortierung Nordisches Holz 1994 und die EN 1611.

Im sichtbaren Bereich werden 5 bis 6 Sortierklassen unterschieden, die im wesentlichen durch die Größe und die Art der Äste bestimmt werden. Oft sind auch die Verformung der Bretter und die Zahl der Harzgallen je lfm von entscheidender Bedeutung.

Die DIN 68365 legt zwar Wert auf kleine und auf fest verwachsene Äste, ist aber bezüglich der Verformung der Bretter indifferent. Hierfür setzen die Sortierung Nordisches Holz 1994, die DIN 4074 und die EN 1611 enge Grenzen. Die DIN 4074 beurteilt die Verdrehung am strengsten, während die Sortierung Nordisches Holz 1994 die Längskrümmung und die Schüsselung eng begrenzt. Diese Unterschiede sind verwendungsbedingt. Beispielsweise lässt sich ein Stapel aus verdrehten Brettschichtholzlamellen nur schwer aufbauen und gleichmäßig verpressen. Zudem haben verdrehte Lamellen einen schrägen Faserverlauf, der sich nachteilig auf deren Tragfähigkeit auswirkt.

Die DIN 4074 unterscheidet nicht zwischen fest verwachsenen und losen Ästen, schwächen beide Asttypen ja den Querschnitt gleichermaßen, während die anderen Sortiervorschriften die Durchmesser für lose Äste enger begrenzen. Die Durchmesser für fest verwachsene Äste werden von ihnen dagegen deutlich weiter gefasst. Fest verwachsene Äste bleiben auch nach dem Hobeln noch im Brett, während lose Äste leicht ausgeschlagen werden. Außerdem stören die dunklen losen Äste das Erscheinungsbild der Oberfläche.

In allen Sortiervorschriften ist mit zunehmender Brettbreite und -dicke ein zunehmend größerer Astdurchmesser zulässig, gleichgültig welchen Zustand der Ast hat. Besonders nach DIN 4074 und EN 1611 sind bei dickeren Hölzern größere Äste zulässig. Dies bedeutet für die Schnitthölzer aus starkem Stammholz mit größerem Querschnitt einen erheblichen Vorteil.

Brettstapelelemente

Brettstapelelemente sind massive flächige Bauteile, die aus hochkant nebeneinander angeordneten Lamellen mit mechanischen Verbindungsmitteln gebildet werden [Brettstapel 2006]. Eine bauaufsichtliche Zulassung für Brettstapelelemente und eine europäische technische Zulassung [ETA 2007] wird derzeit unter der Federführung des Lehrstuhls für Ingenieurholzbau der Universität Karlsruhe erarbeitet. Die Lamellen, aus Brettern, Bohlen und Kanthölzern müssen gemäß der freiwilligen Gütebestimmungen in [Brettstapel 2006] mindestens der Sortierklasse S10 und MS10 nach [DIN 4074] entsprechen. Ein Teil (10%) der Lamellen darf auch S7 oder MS7 sein.

Ein wichtiger Aspekt bei Brettstapelelementen ist die Fugenbildung. Sie hängt ab von der Verformung der Lamellen. Deshalb können Bretter mit größerer Verformung nicht verwendet werden. Stoßfugen werden durch keilgezinkte Lamellen weitgehend vermieden. Längskrümmungen können zwar ausgehobelt werden, bedeuten damit aber höheren Materialverbrauch.

Brettsperrholz- und Brettlagenholzelemente

Werden die Bretter oder Bohlen von mindestens drei Lagen kreuzweise (i. d. R. rechtwinklig) miteinander verklebt oder gedübelt, so entsteht Brettsperrholz [DIBt Z-9.1-482], [DIBt Z-9.1-574]. Häufig wird 3-, 5-, 6- oder 9-lagiges Brettsperrholz hergestellt. Die Lagen müssen aus Lamellen der Sortierklasse S10 nach [DIN 4074] aufgebaut werden (Anhang A3). Werden die Lagen nur gegeneinander versetzt in gleicher Richtung miteinander verbunden, so spricht man von Brettlagenholz (Abb. 14. 44, plattenförmige Belastung).

Es besteht ein entscheidender Unterschied in der Spannungsverteilung im Querschnitt zwischen den Brettsperrhölzern und den Brettlagenhölzern. Mit den quer verklebten Lagen ändert sich der Spannungsverlauf sprungartig. Die Querlagen nehmen in Längsrichtung kaum Spannungen auf, so dass der

Großteil der Längsspannungen von den Decklagen aufgenommen werden muss.

Je mehr gleichdicke Lagen zum Aufbau von Brettsperrholzelementen gleicher Gesamtdicke verwendet werden, desto dünner werden die Lamellen und damit auch die Außenlamelle. Dadurch nimmt der Elastizitätsmodul des ganzen Elements mit der Lagenzahl ab. Für Decklamellen mit 10.000 N/mm² hat die 3-lagige Platte einen Elastizitätsmodul von 9.500 N/mm² und die 9-lagige Platte nur noch 6.400 N/mm² (Abb. 14. 46). Hat die Decklamelle einen Elastizitätsmodul von 15.000 N/mm², so hat die 3-lagige Platte einen Elastizitätsmodul von 14.300 N/mm² und die 9-lagige Platte einen Elastizitätsmodul von 9.200 N/mm². Durch eine besonders hochwertige Decklamelle kann somit der Verlust an Elastizitätsmodul beim Übergang von der 3-lagigen zur 9-lagigen Platte ausgeglichen werden. Man kann auf diese Weise die höhere Dimensionsstabilität der 9-lagigen Platte mit dem hohen Elastizitätsmodul der 3-lagigen Platte kombinieren. Bisher sind Lamellen mit so hohem Elastizitätsmodul kaum verfügbar und werden deshalb auch nicht eingesetzt.

Die einzelnen Lagen von Brettsperrholz bestehen aus mehreren aneinander gefügten Lamellen. Mit zunehmender Plattenbreite, d. h. zunehmender Anzahl nebeneinander liegender Lamellen, erhöht sich die 5%-Fraktile der Festigkeit des Elementes. Die 5%-Fraktile von Brettsperrholz mit der Breite von einem Brett war 27,3 N/mm², bei solchem mit der Breite von zwei Brettern war sie 29,8 N/mm², bei solchem mit der Breite von vier Brettern war sie 31,3 N/mm² und bei solchem mit der Breite von 8 Brettern war sie 32,6 N/mm² [Schickhofer 2006].

Ein ähnlicher Vergütungseffekt wird sich auch bei Brettlagenholz (alle Lamellen in einer Richtung (Abb. 14. 44) zeigen, aber auf einem höheren Festigkeitsniveau als bei Brettsperrholz. Durch das Nebeneinanderlegen wird die freie Kantenlänge, die bei exzentrisch liegenden Holzfehlern (Kantseite) in der Regel festigkeitsbestimmend ist, verringert (Abb. 14. 47). Bei einem schmalen Bauteil mit nur einem Brett in der Decklage sind die beiden Kantseiten frei. Bei zwei Brettern sind von den vier Kantseiten nur zwei frei und bei drei Brettern sind von den 6 Kantseiten auch nur zwei frei. Damit nimmt die relative freie Kantenlänge mit der Zahl der Bretter in einer Lage ab. So wie die relative freie Kantenlänge abnimmt, nimmt die 5%-Fraktile der Festigkeit zu. Diese indirekte Proportionalität wird in Abb. 14. 48 durch die Differenz aus 1 abzüglich der relativen freien Kantenlänge dargestellt. - Zudem werden Schmalseiten- und Kantenäste, die bisher frei lagen durch eine gegenüberliegende mitunter fehlerfreie Kantseite überbrückt.

Anmerkung: Das Schmalseitenastkriterium nach Absatz 5.1.3.2 in [DIN 4074] sollte daher nicht auf Brettsperrholzlamellen angewandt werden. Damit wäre eine Gleichstellung mit den Brettschichtholzlamellen gegeben.

Eigenschaften von Kanthölzern und Brettern aus starkem Stammholz

Die Eigenschaften von Kanthölzern und Brettern aus starkem Stammholz ändern sich mit der Entnahmehöhe vom Erdstück bis zum Zopf des Baumes, mit dem Markabstand, mit der Herkunft der Stämme und mit dem Einschnitt.

Eigenschaften vom Erdstück bis zum Zopf

Die Durchmesser der Äste von starken Stämmen nehmen vom Stammfuß bis zum Zopf in etwa 20 m Höhe im Mittel um 200 % zu. Die ***Astigkeit*** nach DIN 4074 nimmt ebenfalls vom Erdstück bis zum Zopf für Kanthölzer um 160 % und für Bretter um 40 % zu. Die größten losen Äste finden sich in mittlerer Stammhöhe. Daher sind die Qualitäten für Schnittholz für sichtbare Verwendung in diesem Bereich am niedrigsten. Bretter oder Bohlen von moderater Astigkeit können aber noch in größerer Stammhöhe gewonnen werden.

Die ***Jahrringbreite*** und die ***Rohdichte*** sind zueinander indirekt proportional. Nimmt die Stammhöhe um 20 m zu, dann geht die Jahrringbreite um etwa

35 % zurück, während die Rohdichte um etwa 15 % zunimmt (Teischinger 2006). Diese Zunahme erscheint gering, ist aber für die Tragfähigkeit der Hölzer sehr wichtig.

In starkem Tannenstammholz sind an 1 % bis 2 % der Hölzer so genannte Schilferrisse in einer Stammhöhe von 5 m bis 10 m festgestellt worden. Diese marknahen ***Risse*** mindern die Festigkeit und Formstabilität erheblich.

Die Zahl der ***Harzgallen*** länger als 20 mm nimmt mit der Stammhöhe um 330 % zu. Deshalb können Bretter aus dem Zopfbereich nur eingeschränkt sichtbar verwendet werden (Abb. 14. 56).

Der ***Druckholzanteil*** nimmt mit der Stammhöhe (0-20 m) um etwa 100 % zu. Schnitthölzer mit einseitig angeordnetem Druckholz sind meist längs gekrümmt.

Der ***Drehwuchs*** verändert sich mit der Stammhöhe nicht.

Die Schnittholzqualität in Stammlängsrichtung nimmt aufgrund der drei Faktoren Ästigkeit, Druckholzanteil und Harzgallen mit der Höhe ab, während sie durch die steigende Rohdichte zunimmt. Der dritte und vierte Stammabschnitt liefert daher nur bei ***maschineller Sortierung*** Bretter von brauchbarer Tragfähigkeit, die nur bedingt im sichtbaren Bereich einsetzbar sind.

Die Schwankung der Holzqualität in Stammlängsrichtung erhöht die Streubreite des Ergebnisses wesentlich. Deshalb ist die maschinelle Sortierung eine wirtschaftlich interessante Methode um hochwertige Bauprodukte aus starkem Stammholz zu gewinnen.

Tab. 14. 1: Ausbeuten an Bohlen und Kanthölzern der Festigkeitsklassen C35M und C30 aus verschiedenen Stammhöhen

Stammabschnitt		0-5m	5-10m	10-15m
Ausbeute [%]	C35M	85	69	40
	C30	80	31	15

Eigenschaften vom Mark bis zur Baumkante

Der Durchmesser eines Astes nimmt mit dem Markabstand zu. Wird dieser einzelne Ast auf die Schmalseite des Kantholzes bezogen, so wird die ***Ästigkeit*** mit dem Markabstand größer. Dies gilt nur so lange wie man einzelne Äste betrachtet. Im statistischen Mittel wird aber nicht immer der größte Durchmesser eines Astes angeschnitten, so dass die Ästigkeit nach DIN 4074 für Kanthölzer nicht mit dem Markabstand ansteigt, sondern leicht abnimmt (Markabstand (25-175 mm) um 20 %).

Bei Brettern werden Äste in einem 150 mm langen Brettabschnitt aufsummiert und auf die Breitseite bezogen. Mit zunehmendem Markabstand nimmt die Wahrscheinlichkeit ab, dass mehrere Äste in diesem Brettabschnitt liegen. Daher nimmt die ***Ästigkeit nach DIN 4074*** für Bretter mit dem Markabstand (25-175 mm) um 50 % ab. Der Astflächenanteil nach ECE nimmt bei gleicher Abstandsänderung um 35% ab.

Nimmt der Markabstand um 150 mm zu, dann steigt die ***Rohdichte*** um knapp 10 %.

Die ***Faserlänge*** steigt um 100 %, wenn man sich vom Mark um 200 mm entfernt. Die erhöhte Faserlänge bedeutet eine stärkere Vernetzung der Fasern und damit eine höhere Reißfestigkeit. Rindenfreie Hackschnitzel aus Schwarten von starken Stämmen sind deshalb sehr gut für die Zellstoffgewinnung geeignet.

Steifigkeit und ***Festigkeit*** von Bauhölzern sind indirekt proportional zur Ästigkeit und direkt proportional zur Rohdichte und Faserlänge. Daher nehmen beide mit dem Markabstand zu.

Die höhere Steifigkeit kann zerstörungsfrei gemessen werden. Sie geht zusammen mit der Ästigkeit und Rohdichte in die **maschinelle Sortierung** nach der Tragfähigkeit ein. Durch die maschinelle Sortierung kann das Potential der markfern erzeugten Bretter und Kanthölzer sehr gut ausgeschöpft werden (Abb. 14. 1).

Die Schwankung der Holzqualität vom Mark zur Baumkante erhöht die Streubreite des Sortierergebnisses erheblich und damit auch die Breite der

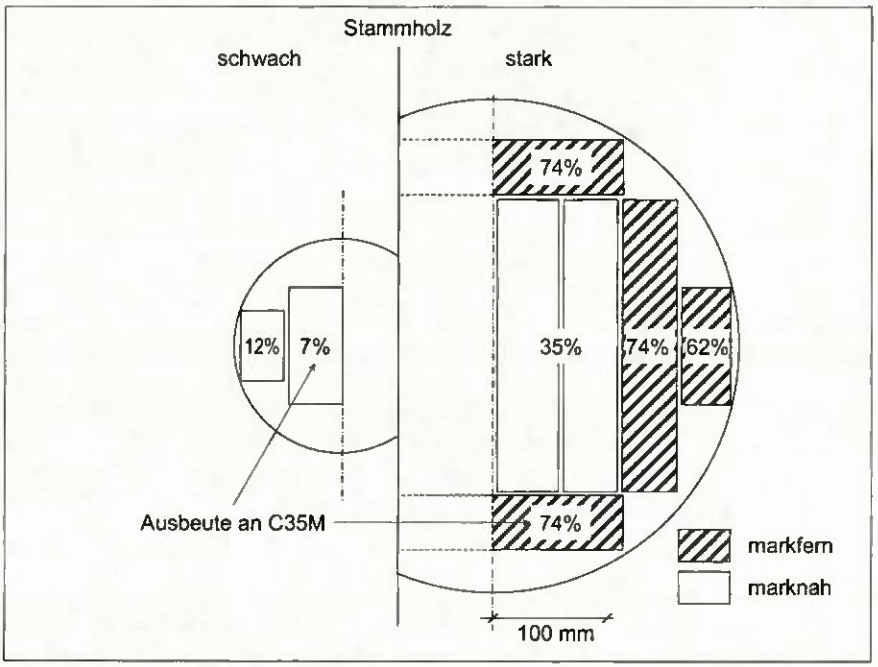


Abb. 14. 1: Ausbeute an Bohlen und Kanthölzer der Festigkeitsklasse C35 aus schwachem und starkem Stammholz durch maschinelle Sortierung

Produktpalette.

Eigenschaften von Schnittholz verschiedener Herkunft

In Bayerns Starkholzgebieten schwankt die Vegetationsdauer von 130 bis 150 Tage im Jahr. Es ist bekannt, dass mit der Vegetationsdauer die Rohdichte im Schnittholz zunimmt. Da Rohdichte und **Elastizitätsmodul** direkt proportional sind, nimmt auch der Elastizitätsmodul mit der Vegetationsdauer zu. Von den Molasse-Vorbergen zum tertiären Hügelland steigt der Elastizitätsmodul um 20 %.

Diese Unterschiede im Elastizitätsmodul können durch eine maschinelle Sortierung ausgenutzt werden.

Eigenschaften bei stehenden und liegenden Jahrringen

Schnitthölzer mit stehenden Jahrringen, so genannte Rifts, haben nicht nur größere Formstabilität beim Trocknen, sie haben auch ein deutlich günstigeres Verhältnis von Rohdichte zu Elastizitätsmodul (Abb. 14. 2). Durch eine maschinelle Sortierung kann dieses Potential des starken Stammholzes genutzt werden. Diese Unterschiede im Verhältnis von Elastizitätsmodul und Rohdichte erhöhen die Streubreite des Ergebnisses bei der maschinellen Sortierung.

Obwohl beim Riftschnitt im Mittel kleinere Schnittholzquerschnitte erzeugt werden, die bei gleichen Astdurchmessern im Rundholz eine höhere Ästigkeit nach DIN 4074 als die größeren Schnittholzquerschnitte aus Fladerschnitt haben, ist ihre Steifigkeit bei gleicher Rohdichte höher.

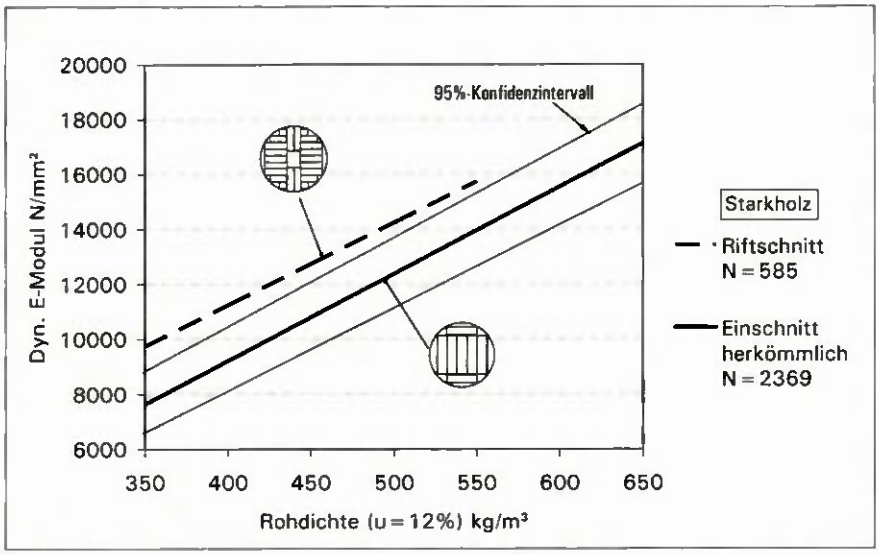


Abb. 14. 2: Verhältnis von Rohdichte und Elastizitätsmodul bei Riftschnitt und bei herkömmlichem Fladerschnitt

Zuordnung von Massivholz aus starkem Stammholz zur optimalen Verwendung

Einer gestiegenen Vielfalt an Anforderungen auf nationaler und internationaler Ebene steht durch die maschinelle Sortierung von Schnittholz aus Starkholz

Tab. 14. 2: Standardbauprodukte und hochwertige Bauprodukte aus Starkholz

Tragfähigkeit		gering		mittel			hoch	
Oberflächenqualität		verdeckt	sichtbar	verdeckt	sichtbar	erlesen	verdeckt	sichtbar
Produkt-gruppen	Aus-führung							
Kantholz/ Träger	Standard Schwachholz	fehlt	fehlt	S10	KVH BaSH	BS11 +	fehlt	fehlt
	Neu Starkholz	**KVH: C16M + G4-4**	**KVH: C16M + G4-2**	**BaSH: C24M + G4-4**	**BaSH: C24M + G4-2**	**BS11: C24M + Rifts**	**BS18: C40M + G4-4**	**BS16: C35M + Rifts**
Brett/ Platte	Standard Schwachholz	fehlt	fehlt	S10	BSP	BSP + VHP	fehlt	fehlt
	Neu Starkholz	**BST: C16M + G2-4**	**BST: C16M + LH-Diele**	**BSP: C24M + G2-4**	**BSP: C24M + G2-2**	**BSS: C24M + Rifts**	**BSP: C40M; D60 + G2-4**	**BSS: C35M + Rifts E > 14.000**
Starkholzqualität EN 1927		D	C	C	B	B	C	B
Baumhöhe [Abschnitte]		≥ 3	≥ 3	2;3	2;3	1;2	2;3	1;2
Markabstand		marknah	markfrei	marknah	markfrei	markfrei	markfern	markfern

eine ähnliche Breite der technologischen Eigenschaften gegenüber. Durch die Zuordnung der möglichen Bauprodukte aus Massivholz aus Starkholz zu den neuen Anforderungen ergibt sich gegenüber dem bisherigen Standard aus Schwachholz die folgende Liste **innovativer Bauprodukte** in Tab. 14. 2.

Sowohl im Bereich höherer als auch geringer Tragfähigkeit ergeben sich neue wirtschaftlich interessante Bauprodukte, die bisher nur in Ausnahmen oder noch gar nicht hergestellt wurden.

Konstruktionsvollholz KVH mit geringer Tragfähigkeit könnte sowohl sichtbar als auch verdeckt im Bereich des industriellen Fertigbaus eingesetzt werden. ***Brettschichtholz BSH*** mit hoher Tragfähigkeit aus maschinell sortierten Lamellen, die nach EN 1611 aufgrund loser Äste nur G4-4 erfüllen, können in weit gespannten Hallenkonstruktionen eingesetzt werden, da die Äste auf die erhebliche Entfernung nicht nachteilig wirken. Wählt man zur Herstellung des Brettschichtholzes Rifts, so können die "BS11- und BS16-Stangen" im sichtbaren Bereich eingesetzt werden. ***Balkenschichtholz BaSH*** mit mittlerer Tragfähigkeit aus Starkholz kann weiter im sichtbaren und verdeckten Bereich eingesetzt werden. Durch die maschinelle Sortierung wären in den Lamellen größere Äste zulässig, ohne dass die Tragfähigkeit der Balken eingeschränkt wäre.

Bretter von geringer Tragfähigkeit könnten zu ***Brettstapelelementen BST*** verarbeitet und im verdeckten Bereich eingesetzt werden. Werden die Brettstapelelemente mit so genannten Landhausdielen abgedeckt, so ist diese Kombination im sichtbaren Bereich einsetzbar. Im Bereich mittlerer Tragfähigkeit kommt wie bisher ***Brettsperrholz BSP*** für sichtbare und verdeckte Oberflächen in Frage. Werden in den Decklagen der ***Brettstabplatten BSS*** Rifts verwendet, so können die Platten im Bereich mit hohen Ansprüchen an die Oberflächen eingesetzt werden. Verwendet man in den Brettsperrholz- und Brettstabplatten maschinell sortierte Decklamellen aus Nadelholz mit hohem Elastizitätsmodul und Querlagen aus Laubholz, so können diese hochtragfähigen Platten im sichtbaren oder verdeckten Bereich eingesetzt werden.

Entwicklung von Markt-Produkt-Strategien

Damit die neuen Produkte auch zu den richtigen Marktpartnern kommen und marktfähig werden, müssen die Marktpartner entsprechende Markt-Produkt-Strategien entwickeln (Abb. 14. 3).

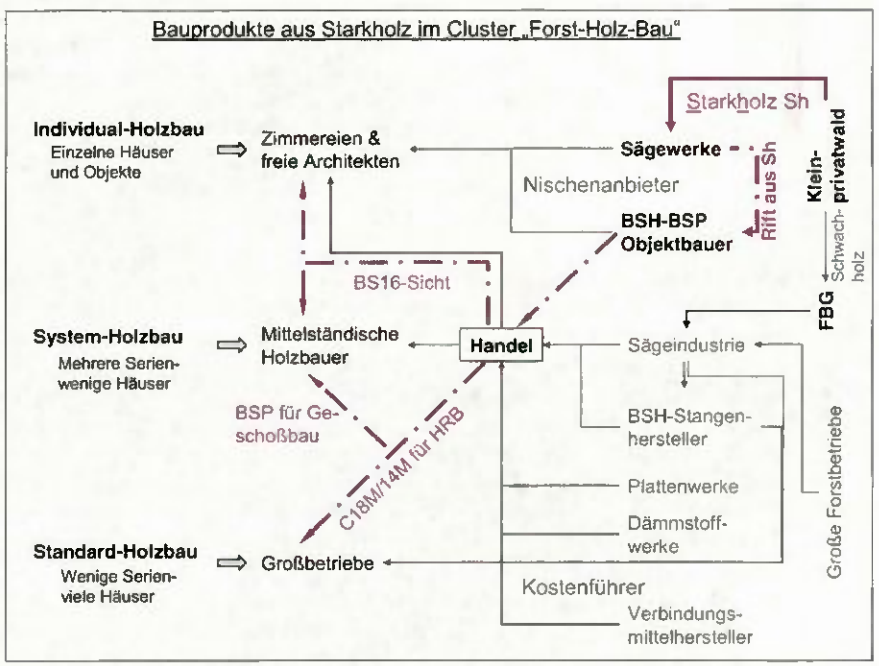


Abb. 14. 3: Herstellung und Vermarktung von Bauprodukten aus Starkholz im Cluster "Forst-Holz-Bau"

Die Nachfrageseite des Marktes für die neuen Bauprodukte aus Starkholz setzt sich aus Individual-Holzbauern, System-Holzbauern und Standard-Holzbauern zusammen. Sie stellen Nischenanbieter, selektive Spezialisten oder Kostenführer dar. Die Nischenanbieter sind in der Regel Zimmereien und freie Architekten die einzelne Häuser und hochwertige Objekte erstellen und dort hochwertiges Brettschichtholz (BS16-sicht) verwenden, das sie in der Regel vom Handel beziehen. Die mittelständischen Holzbauer verwenden für

ihre hochwertigen Kleinserien oft Brettsperrholz oder Brettschichtholz, das sie selbst herstellen oder über den Handel beziehen. Der Handel versorgt sich bisher über die Kostenführer der Sägeindustrie, die BSH-Stangenhersteller, die Platten- und Dämmstoffwerke.

Das Starkholz, welches in ausreichenden Mengen aus dem kleinen Privatwald kommt, wird in der Regel nur von kleinen Sägewerken verarbeitet. Diese könnten das Schnittholz an die BSH- und BSP-Objektbauer liefern, die daraus die neuen Produkte herstellen (Beispiele Stora Enso Timber Pfarrkirchen oder Finnforest Merk Aichach). Die neuen Produkte sollten dann über den Handel an den Markt gebracht werden. Dabei kann auch die Handelskompetenz der Sägewerke genutzt werden. Sie würden auf diese Weise ihre Produktpalette mit Bauprodukten erweitern, deren Vorprodukte sie selbst hergestellt haben.

Um diesen Prozess in Gang zu bringen, wurden die Ergebnisse durch Workshops mit Vertretern von Unternehmen und von anderen Teilprojekten diskutiert, auf Messen durch umfangreiche Standbetreuung vorgestellt und in Vorträgen vor Fachleuten vermittelt. Daneben wurde ein Internetauftritt durch das Gesamtprojekt mit den Ergebnissen versorgt. Eine erste konkrete Umsetzung könnte im Bereich des Allgäuer Holzforums stattfinden. Weitere lokale Cluster "Forst-Holz-Bau" in anderen Regionen Bayerns sind im Entstehen.

2 Summary

Objective

The project will show, that large dimension timber (LDT) can be transformed into value added products for the market of construction timber, if the full potential of the technical properties of LDT is used to meet the technical requests set by the market.

Market of construction timber

There are short term and long term trends on the market of construction timber. Technical innovations can only be implemented in the course of long term trends. The market of construction timber is influenced by trends of the entire construction market including for example the development of the new buildings market, the reconstruction market and the house extension market on the demand side, and on the supply side, structural changes of the wood industry sector and import from European countries.

In summary, the market situation can be characterized as follows: The demand for construction products on the German market is stable to declining, while the demand for construction products on the European and overseas market is growing. In Germany, older housings will be converted and extended within the next years. Thus, the demand for construction products that can be used in dry shape will increase. Accordingly, the industry has increased their production and their export. Especially products based on European standards like gluelam beams show a considerable increase. Favourable to this development are the stable to falling prices of round wood. Especially LDT will be available in high quantities in the long term and the prices are falling. Industrial round wood prices are rising and the quantity is falling. This can be ascribed to the higher demand for residues from sawmills and from the forest causing price increases, if there are no technical innovations that compensate these increases. Debarked LDT used in saw mills, for example, could deliver residues for the production of value added insulating materials or long fibres for pulp and paper.

Requirements for squared timber and beams

The requirements for squared timber and beams are given in several technical standards and trading rules. DIN 68365 gives the lowest requirements for regular timber. The use of this older standard for constructions is restricted by construction rules established by the German building authorities. Dry or

moist timber for load bearing constructions must be graded according to DIN 4074. DIN 4074 is also the basic grading rule for KVH (finger jointed construction timber). KVH is graded according to a voluntary quality standard set by producers and users of this material. A brief overview of the requirements according to these two standards is shown in appendix A3. Especially the requirements for dimensional stability, surface quality and load bearing capacity are higher for KVH than for construction timber according to DIN 68365.

KVH of strength class C16/C14 would be an economically interesting product for wood frame and panel construction. Unfortunately, there is no tradition to use this product. This product, produced by small saw mills, may also be exported to overseas markets.

If squared timber and planks (Table 1 DIN 4074) are glued edgewise or flatwise, the resulting product is called "Balkenschichtholz" (glued laminated construction timber) [DIBt Z-9.1-440]. In this case, squared timber and planks must be graded according to DIN 4074. The minimum grade is "S10" (Appendix A3). According to this, planks used on edge must have a low knot ratio. The slightly higher modulus of elasticity and the dimensioning advantages however do not compensate for the higher costs. In this case, machine graded timber in strength class C16/C14 would be an economically interesting product.

Since the lamellas of "Balkenschichtholz" have already reached a high quality level, surface qualities only differ with regard to the processing methods. Beams that are only flushed and chamfered are used in non visible constructions, whereas planed beams can be used in visible constructions. Pitch pockets, compression wood or discoloration are tolerated.

The requirements for glued laminated timber GLT (DIN 1052) are summarized in appendix A3. GLT, which is up to now nearly exclusively produced from softwood, is graded into four strength classes (GL24 to GL36) and three surface quality classes. The straight beams with standard dimensions are regularly graded into strength class GL24. The surface quality is flushed or planed. GLT with a higher bearing capacity is used in wide spanned roof constructions.

The lamellas of GLT are graded according to DIN 4074 with special criterions. Knots in particular are rated different in comparison to squared timber. For this important criterion the requirements for lamellas are lower than for squared timber. Knot diameters in lamellas are related to the flat side, while the smallest knot diameter in squared timber is related to that side where the knot is visible. This means that most of the times narrow-face knots are decisive for the grading.

For the machine-grading of boards, not only the knot diameter is used as an indicating parameter, but also the density and the modulus of elasticity are important criterions. This more complex grading method allows for detection of boards with a higher load-bearing capacity (C35M, C40M). Therefore, the strength potential in boards can be detected more efficiently by machine grading than by visual grading.

For higher surface grades, pitch pockets, cracks, discoloration and the shape of knots are more precisely defined and limited.

Dimensional stability is ensured by the laminated structure of the beams and the surface treatment.

Requirements for boards and structural board elements

Boards and structural board elements are used in supporting and non supporting constructions. The non supporting boards are used for decorative

sheathing or weather protection. The load bearing structural board elements like board plywood are also used as decorative elements in visual constructions [Finnforest Merk 2006], [Binder 2007], [KLH 2006], [DIBt Z-9.1-482], [HMS 2006], [Lingnotrend 2006], [DIBt Z-9.1-574], [DIBt Z-9.1-555], [Brettstapel 2006]. The requirements for surface quality of "Massivholzplatten" (solid wood panels) are given in EN 13017.

Boards and lamellas for structural elements are graded more precisely than squared timber in bearing constructions. However, the requirements are not higher. In Europe, for load bearing constructions the national grading rules are in effect. In Germany, DIN 4074 is also in effect for boards. For non supporting elements with visible surfaces, three grading and trading rules are in effect in Germany (DIN 68365, "Nordisches Holz 1994" and EN 1611). There are five to six grades, which are mainly defined by knot ratio and knot shape. The warp and the pitch pockets are often determining factors.

DIN 68365 requires sound and small knots, but it is indifferent with regard to warp of the boards. However, "Nordisches Holz 1994", EN 1611 and DIN 4074 have high requirements for this criterion. DIN 4074 evaluates twist very strong, while the trading rule "Nordisches Holz 1994" evaluates bow and cup stronger. These different evaluations are determined by the application of the boards. For example, it is difficult to build a stack of boards from a gluelam beam with twisted boards. Besides, twisted boards have a lower bearing capacity.

DIN 4074 does not divide into sound and lose knots, because both types of knots reduce the bearing capacity in the same way. The other grading rules have higher requirements for lose knots than for sound knots. Sound knots remain in the boards after drying and planing while lose knots fall out. Subsequently, a lot of holes remain in the boards. Furthermore, the dark colour of the lose knots is not decorative.

All grading rules allow for bigger knot diameters with bigger board dimensions regardless of the shape of the knot. Especially, DIN 4074 and EN 1611 allow for bigger knots in thicker boards. This means that large boards from LDT are better rated than small boards from medium dimension timber.

Board stack elements

Board stack elements are massive structural floor or wall elements made by upright arranged lamellas (boards, planks or squared timber), connected by mechanical fasteners [Brettstapel 2006]. An approval by the building authorities for board stack elements in Germany and Europe is going to be prepared under the leadership of the Chair for engineered wood construction at the University of Karlsruhe. According to the voluntary quality standard set by producers and users of this material, the minimum grade for lamellas from boards, planks and squared timber, needs to be at least "S10" (DIN 4074). Only 10% of the boards are allowed to have the lower grade "S7".

The joints between the boards are an important aspect for board stack elements. The joints depend on the warp of the lamellas. Therefore, the warp of the lamellas is limited. Gaps at the end of the boards are avoided by finger joints. Bow can be avoided by planning, but this causes material losses.

Cross laminated timber CLT and parallel laminated timber

Boards laminated crosswise (normal case is right angle) in three and more layers joined by glueing or by pegs are called CLT [DIBt Z-9.1-482], [DIBt Z-9.1-574]. Frequently used numbers of layers are 3, 5, 6 or 9. The minimum grade of the boards has to be "S10" [DIN 4074]. Is the angle between the lamellas zero, the panels look like flat glued laminated beams. These panels are called parallel laminated timber PLT.

There is a fundamental difference in the stress distribution over the cross section between cross laminated timber and parallel laminated timber. The cross glued lamellas change the stress progress intermittent. The cross layers do not absorb stress in the longitudinal direction. Therefore, the top layers have to absorb most of the stress in the longitudinal direction.

The more layers of equal thickness are used in preparing cross laminated timber with the same thickness, the thinner are the layers and with it the top layers as well. Therefore, the modulus of elasticity of the whole element is decreasing with increasing number of layers. If the top layers have a modulus of elasticity of 10,000 N/mm², the 3-layer-panel has a modulus of elasticity of 9,500 N/mm² and the 9-layer-panel has a modulus of elasticity of 6,400 N/mm² (Fig. 14.46). If the modulus of elasticity of the top layer is 15,000 N/mm², the modulus of elasticity of the whole 3-layer-panel is 14,300 N/mm² and of the whole 9-layer-panel it is 9,200 N/mm². By using a top layer with higher stiffness the loss of stiffness can be balanced. That way it is possible to combine the high dimensional stability of a 9-layer-panel with the high modulus of elasticity of a 3-layer-panel. Lamellas with a high modulus of elasticity are hardly available, so they are not yet used.

The layers of cross laminated timber are made of multiple boards joined together. By increasing the width of the panel, the number of joined boards is also increasing and the 5%-fractile is increasing. The 5%-fractile of CLT with a width of one lamella was 27.3 N/mm², with a width of two lamellas it was 29.8 N/mm², with a width of four lamellas it was 31.3 N/mm² and with a width of eight lamellas it was 32.6 N/mm² [Schickhofer 2006].

A similar improvement of the quality can also be achieved for parallel laminated timber (Fig. 14.44), but on a higher level of strength. By joining lamellas, the free length of the edge, which determines the strength by eccentrically located wood defects, is decreasing (Fig. 14.47). Using a slim element with a width of only one board in the top layer, **both** edges of the board are free. When there are two boards in the top layer, only two of four edges are free. When there are three boards in the top layer again, only two edges are free. For this reason the relative free length of the edge decreases with increasing width of the parallel laminated timber. As the relative free length is decreasing, the 5%-fractile of strength is increasing. This indirect proportionality is shown in Fig. 14.48 by the difference of 1 minus the relative free length of the edge. – Besides, knots on the edges, which are determining the strength, are now balanced by the knot free edge of the ad jointing board.

Comment: The "criterion of narrow-face knots" according to paragraph 5.1.3.2 in [DIN 4074] should be used for lamellas of cross laminated timber too. Hence the lamellas of CLT would be treated like lamellas of glued laminated timber GLT.

Properties of squared timber and boards made of large dimension timber (LDT)

The properties of squared timber and boards made of LDT change according to the sampling height, from butt log to top log of the trees, the pith distance, the origin of the tree and the sawing pattern.

Properties from the butt log to the top log

The diameter of knots of LDT logs increase by about 200 % from the butt log to the top log in 20 m height. The knot ratio according to DIN 4074 increases also from the butt log to the top log by about 160 % for squared timber and by about 40 % for boards. The biggest lose knots are found in the middle log. Hence from this log the quality of timber for visual use is lowest. Boards and planks with moderate sound knots can also be gained in greater tree height.

Annual ring width and density of wood are closely related. With increasing tree height up to 20 m the annual ring width decreases by about 35 %, while the density increases by about 15 % [Teischinger 2006]. This increase seems to be small, but it is important for the strength of the boards.

In LDT from fir, 1 % to 2 % of the boards were down graded due to "Schilferrisse", a special kind of fissures. These "Schilferrisse" were found in 5 m to 10 m tree height and close to the pith, where they determine the strength.

The number of pitch pockets longer than 20 mm increases from the butt log to the top log by about 330 %. Hence boards from top logs cannot be used for visible surfaces.

Compression wood in softwood LDT increases from butt log to top log by about 100 %. Boards with eccentrically located compression wood are crooked and curved alongside.

The spiral grain doesn't change with the tree height.

The quality of sawn wood decreases with increasing tree height according to the knots, the pitch pockets and the compression wood while the quality increases with increasing density. Top logs deliver boards with sufficient strength, if the boards are machine graded. The quality of their surface is low.

The variation of the wood quality from butt log to top log increases the variability of the sawn timber. Grading is an economically interesting method to yield value added products from LDT.

Properties from the pith to the bark

The diameter of knots increases with the distance from the pith. If this single knot diameter is related to the small side of a squared timber, the resulting **knot ratio** is increasing with the distance from the pith. This is valid for single abstract knots. In practice, the maximal knot diameter is not always related to the small side but also to the broad side. This statistical effect is increasing with the distance from the pith. Hence the knot ratio according to DIN 4074 for squared timber is decreasing with the distance from the pith by about 20 %.

The knot ratio of boards results from the sum of the knot diameters on the surface parallel to the edge in a 150 mm long section of the board related to the width of the broad side of the board. With increasing distance from the pith (150 mm), the probability decreases, that multiple knots appear in a 150 mm long section of the board. Hence the knot ratio is decreasing with the distance from the pith by about 50 %. The **knot area ratio** according to the ECE standard decreases by about 35 %.

The **density of the sawn wood** is increasing by about 10 % while the distance from the pith is increasing by about 150 mm.

The **fibre length** increases by about 100 %, while the distance from the pith is increasing by about 200 mm. The increasing fibre length enables a strong cross-linkage of the fibres. Thus the tear strength is growing. High tear strength also means a higher tensile strength of boards. Bark free chips close to the bark of LDT yields high quality of the pulp or paper.

Stiffness and **strength** of construction timber are related to the knot ratio, the density and the fibre length. Therefore, both properties are increasing with the distance from the pith.

The stiffness is measured by non-destructive testing. Together with knot ratio and density the stiffness of the boards determines the machine grade of

boards. For example, the ratio of boards of grade C35M according to DIN 4074 from LDT is about 60 % and from small diameter timber about 10 %.

Properties of sawn wood with different origin

In Bavarian growth areas of LDT the vegetation period lasts for 130 to 150 days per year. It is shown that wood from growth areas with long vegetation periods have a higher density than wood from growth areas with short vegetation periods. Hence the density and the modulus of elasticity are directly related; the modulus of elasticity of wood from growth areas with long vegetation periods like "Tertiäres Hügelland" is about 20% higher than the modulus of elasticity of wood from the "Molasse-Vorberge".

These differences in the MOE can be utilised by machine grading.

Properties of sawn wood with different sawing patterns

Sawn wood with upright annual rings, have a good dimensional stability and a high ratio between density and modulus of elasticity (Fig. 14.2). Machine grading detects these properties, and the boards and squared timbers are upgraded.

Allocation of wood from LDT to the optimal application

Increasing diversity of requirements on national and international level faces a similar diversity of technological properties of machine graded timber from LDT. When allocating the possible products from LDT to the new requirements of the market the following list of innovative products (Tab. 14. 2) is obtained. Both for high and low load bearing products new economically interesting products for construction arise, which up to now have very rarely or not at all been manufactured.

Construction timber KVH with low bearing capacity can be used for visible or non-visible surfaces for wood frame house construction.

Glued laminated timber BSH with high bearing capacity and machine graded lamellas, having loose knots and a grade G4-4 according to EN 1611, may be used in wide spanned roof constructions. The distance between the visitor and the beams is big, so loose knots won't be recognized. In case boards with upright annual rings are used, the straight standard beams with grade GL24 can be used for visible purposes.

Glued laminated construction timber BaSH with a medium bearing capacity can be further used for visible or non-visible applications. Machine graded squared timber may have bigger sound knots but will have the required strength.

Boards with lower bearing capacity could be used in **board stack elements BST** for visible and non-visible applications. If the board stack elements are combined with planks with big sound knots (cottage plank) these elements may be used for visible applications. In the section medium bearing capacity **cross laminated timber CLT** is used as usual for visible or non-visible applications. If the top layers of the **block boards BSS** are made of sawn wood with upright annual rings, the panels may be used for building sections with high requirements for visible applications. If these top lamellas of the CLT or BSS panels are machine graded and the cross layers are made of hard wood these panels with high bearing capacity can be used for visible applications.

Development of market strategies for the new products

A good product is not enough. It needs an efficient market strategy to find the right customer (Fig. 14.3).

The demand side of the market of new construction products is composed of individual, system and standard manufacturers. They are niche manufacturers, specialists or low-cost leaders. The niche manufacturers are carpenters or free architects which build individual houses or other value added buildings, using glued laminated timber for visible surfaces from the traders. The system manufacturers are medium-sized enterprises. They produce small series of valuable buildings from self-made cross laminated CLT or glued laminated timber GLT from traders. Traders obtain their products from low-cost leaders in the saw mill industry, the GLT-industry or the wood composite industry.

Large dimension timber LDT from small private forests is usually sawn by small saw mills. These small saw mills are able to support the individual GLT and CLT manufacturers with high quality timber. These manufacturers produce innovative products and sell it via traders to the carpenters and industrial customers. It is possible to use the trading competence of the medium-sized saw mills. In that way, they could expand their product range with products where they have produced the primary product themselves.

To start this process, the results of this project were discussed with representatives of all the companies named above in dialogs at the mills or at trade fair centres or in presentations at sessions of guilds. Furthermore, an internet page with the results is provided. A first step in this process could be achieved at the "Holzforum Allgäu" a cluster of stack holders from the forest, timber and construction sector. Other clusters "Forst-Holz-Bau" will be developed in Bavaria.

3 Einleitung und Zielsetzung

Bauprodukte aus Holz werden zusammen mit Bauprodukten aus anderen Stoffen wie Ziegel, Beton, Stahl oder Kunststoff verwendet, stehen aber auch in engem Wettbewerb zu ihnen. Beides führt zu steigenden Anforderungen an die Bauprodukte aus Holz und zwingt die Bauplaner zu deren möglichst wirtschaftlicher Verwendung. Das bedeutet den Einsatz von Bauprodukten aus Holz mit den für die Anwendung optimalen und nicht mit den allgemeinen Eigenschaften. Um diesen Ansprüchen gerecht zu werden, ist eine möglichst frühe und scharf getrennte Auswahl der Vorprodukte aus starkem Stammholz nach deren Qualität erforderlich (Fig. 14.4).

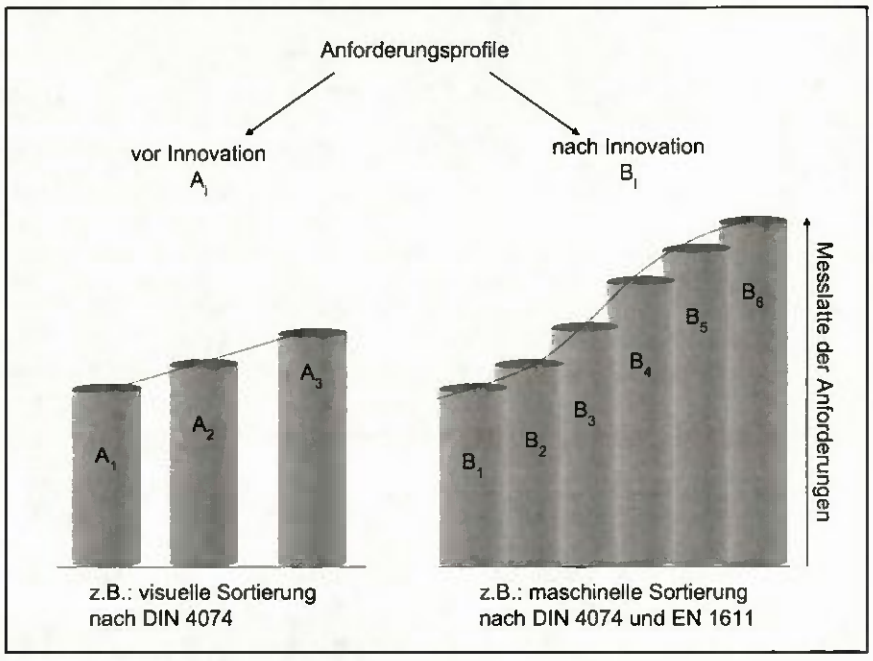


Abb. 14. 4: Messlatte der Anforderungen vor und nach der Innovation

Diese Auswahl wird bisher nur in Ansätzen durchgeführt, da die traditionellen Verwender von Schnittholz das Potential des Starkholzes kaum kennen und daher wesentliche planerische Möglichkeiten ungenutzt lassen.

Ziel des Teilprojekts ist der Nachweis, dass aus starkem Stammholz durch innovative Verknüpfung der technischen Anforderungen an Holzprodukte mit dem Potential der technologischen Eigenschaften von Starkholz hochwertige und damit marktfähige Bauprodukte hergestellt werden können (Abb. 14. 5).

Anhand von Beispielen, die zusammen mit Bauplanern aus der Praxis (Anhang A2) ausgewählt wurden, zeigt diese Arbeit systematisch die Möglichkeiten einer einfallsreichen und wirtschaftlichen Verbesserung von Bauprodukten aus Starkholz auf.

Ein mögliches Maß für die Ausnutzung des Eigenschaftspotentials ist der multiple Regressionskoeffizient R. Er ist ein statistisches Maß für den Zusammenhang von einer Zielgröße (z. B. Festigkeit, Steifigkeit, Maßhaltigkeit) mit einer oder mehreren Holzmerkmalen (z. B. Holzfeuchte, Jahrringlage, Rohdichte, Astigkeit). Durch Einbeziehen mehrerer Holzmerkmale kann der Regressionskoeffizient signifikant gesteigert werden. Dies steigert die Ausnutzung des Eigenschaftspotentials des Rohstoffs deutlich.

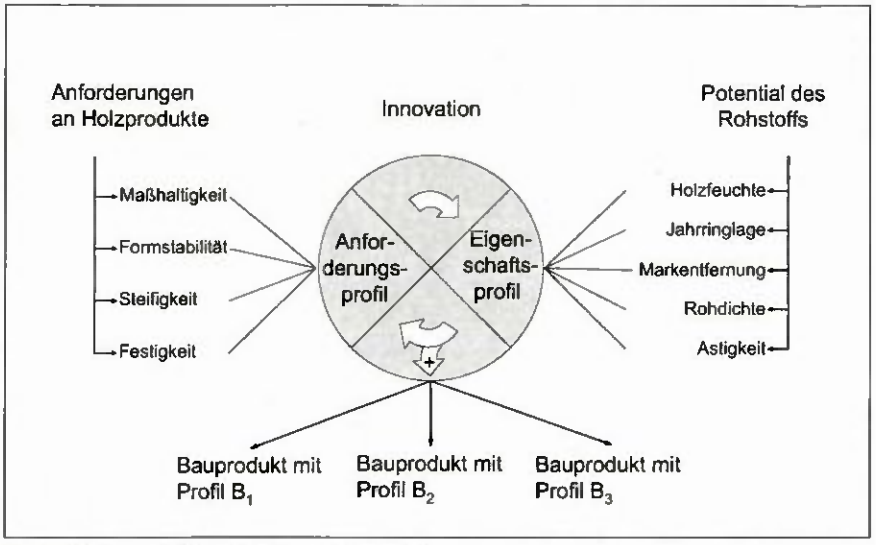


Abb. 14. 5: Allgemeine Vorgehensweise

Die Innovation läuft als zyklischer Prozess ab, der mehrfach durchlaufen wird, bis ein Optimum an neuen Bauprodukten erzeugt wird. Dieses Teilprojekt kann sich diesem Optimum nur annähern, aber nicht endgültig erreichen. Die Länge der Innovationszyklen ist deutlich länger als die Laufzeit dieses Vorhabens und die ständige technische Entwicklung macht immer neue Zyklen zur Optimierung erforderlich. Außerdem kann nur eine Auswahl an Bauprodukten und nicht die ganze Vielfalt in den Prozess einbezogen werden.

Das Teilprojekt untersucht daher Bretter, Bohlen und Balken, sowie die daraus durch schichtweises und kreuzweises Verkleben hergestellten Produkte (Abb. 14. 6). Furniere wurden nur am Rande betrachtet, da diese in einem parallel laufenden BMBF-Projekt am WKI in Braunschweig untersucht werden, an dem die Bearbeiter dieses Vorhabens beratend mitwirken.

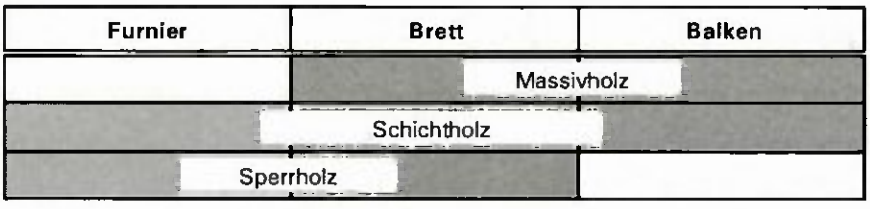


Abb. 14. 6: Untersuchte Produktgruppen

4 Holzmarktlage und langfristige Trends für Innovationen

Wichtig für die Auswahl der Produktgruppen in Abb. 14. 6 ist die Holzmarktlage. Hier zeigen sich langfristige Trends, die für Innovationen bei den Bauprodukten aus Holz richtungweisend sind und deren Verhältnis zu Bauprodukten aus anderen Stoffen prägen.

Die Beschränkung auf den bayerischen Markt für Bauprodukte aus Holz, die mittlerweile weltweit in großen Mengen gehandelt werden, ist nicht sinnvoll. Dies wird in diesem Kapitel gezeigt und muss unbedingt bei der Wahl der Innovationsrichtung berücksichtigt werden.

Es werden zwei Teilmärkte unterschieden. Der Teilmarkt für Bauprodukte aus Massivholz und Holzwerkstoffen steht in engem Zusammenhang mit dem Teilmarkt für Rohholz. Veränderungen am Rohholzmarkt, wie steigende oder fallende Preise für einzelne Rohholzsorten, haben unmittelbare Folgen für den Markt für Bauprodukte aus Holz und damit für die Innovationsrichtung.

Fazit

Am Holzmarkt müssen kurzfristige von langfristigen Trends getrennt werden, da Innovationen nur für langfristige Trends umsetzbar sind. Den Teilmarkt für Bauprodukte aus Massivholz und Holzwerkstoffen beeinflussen Trends des Gesamtbaumarktes wie die Entwicklung von Neubauten, Renovierungen und Ausbauten auf der Nachfrageseite, aber auch Trends auf der Angebotsseite wie der Strukturwandel der Holzbranche und die Importe aus dem erweiterten europäischen Ausland.

4.1 Lage am Markt für Bauprodukte aus Massivholz und Holzwerkstoffen

Die Nachfrage am Markt für Bauprodukte aus Holz ist für Deutschland seit Mitte der 90er Jahre rückläufig. In den letzten Jahren hat sich die Fertigstellung von neuen Wohnungen auf niedrigem Niveau stabilisiert (Abb. 14. 7). Oft wird daraus und aufgrund der Bevölkerungsentwicklung in Deutschland geschlossen, dass keine entscheidende Trendumkehr zu erwarten sei.

Diesem Trend bei den Baufertigstellungen steht der kontinuierliche Aufwärtstrend bei den Baudarlehen gegenüber (Abb. 14. 8). Die steigende Menge an Darlehen wird nun nicht in den Bau von neuen Wohnungen, sondern in den Kauf von bestehenden Wohnungen investiert. Der Mieter wird zum Eigentümer [Gewos 2005]. Eine Ursache für diese Entwicklung sind die niedrigen Zinsen für die Baudarlehen und die günstigen Kaufpreise. Viele institutionelle Wohnungseigentümer (Versicherungen, Investmentfonds u. ä.) veräußern ihre abgeschriebenen Wohnanlagen, um die stillen Reserven zu heben und damit die Rendite ihrer Wertpapiere zu halten.

Im Umkehrschluss lässt sich sagen, dass mehr neu gebaut würde, wenn die Preise für die Neubauten wettbewerbsfähiger wären zu denen der bestehenden Wohnbauten. Hier kann die Entwicklung neuer Bauprodukte einen Beitrag leisten. Die gleiche Wirkung hätten wieder steigende Preise für bestehende Wohnungen.

Insgesamt betrachtet nimmt das Durchschnittsalter des Bautenbestandes damit ständig zu. Dies macht vermehrt Renovierungsarbeiten und Ausbauten interessant [HAF 2004]. Deshalb wird die Nachfrage nach Bauprodukten aus diesem Bereich ansteigen.

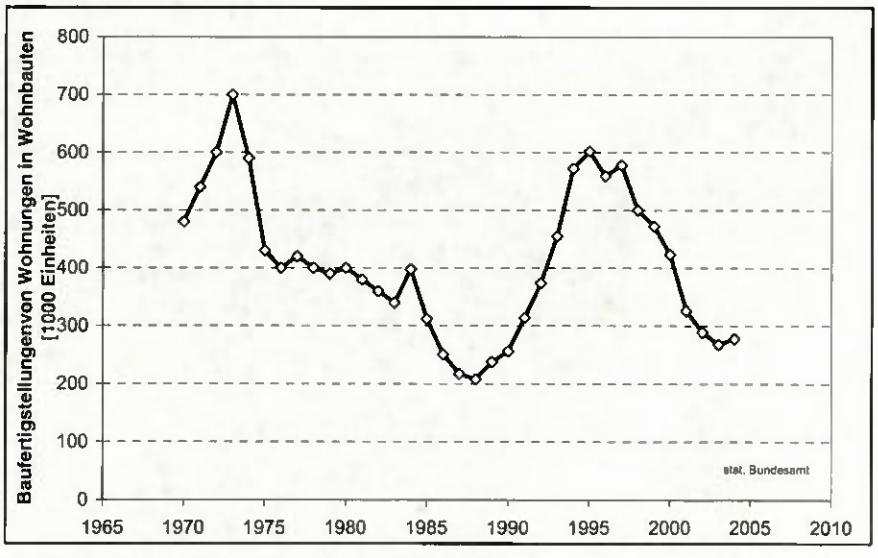


Abb. 14. 7: Baufertigstellungen von Wohnungen in Wohnbauten in Deutschland von 1970 bis 2005 [Stat. Bundesamt 2006]

In einem rückläufigen Markt sind die verbleibenden Bauobjekte sehr umworben. Aufträge werden nur diejenigen bekommen, deren Angebot ein sehr gutes Preis-Leistungsverhältnis aufweist. Das Preis-Leistungsverhältnis ist

umso höher, je mehr Innovation in den angebotenen Produkten steckt. Dies bestätigt die eingangs gemachte Forderung nach einer optimalen Ausnutzung des Potentials des Rohstoffs.

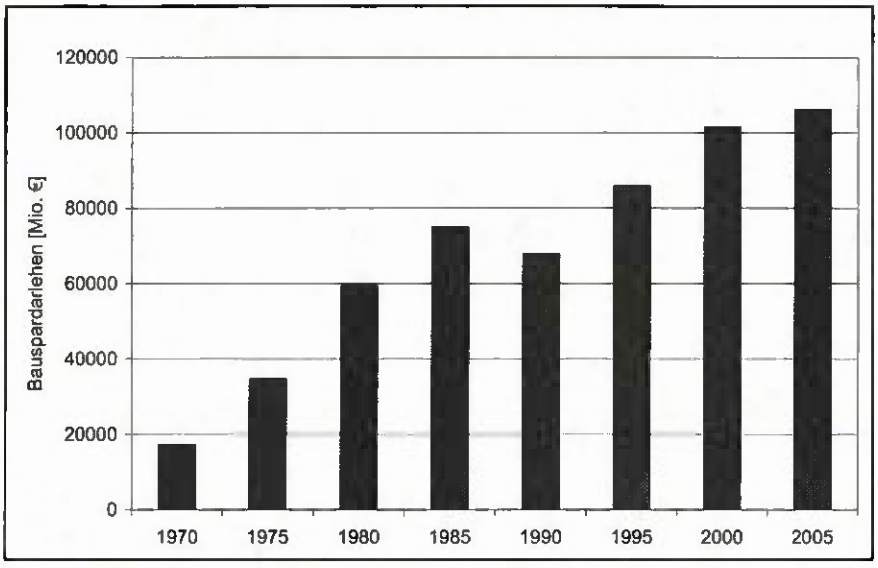


Abb. 14. 8: Bauspardarlehen in Deutschland von 1970 bis 2005 [Immobilienwirtschaft 2006]

Ganz anders ist die Lage im europäischen Ausland. Der Produktionsindex ist in den Ländern Italien, Frankreich, Großbritannien und Spanien in den Jahren 2002 bis 2004 durchweg positiv gewesen, während er für Deutschland stark negative Werte aufwies (Abb. 14. 9).

Fazit

Die Nachfrage nach Bauprodukten wird in Zukunft verstärkt aus dem europäischen und überseeischen Ausland kommen. Unterstützt wird diese Tendenz durch die fortschreitende europäische Harmonisierung der Bauproduktnormen. Dieser Trend zeigt sich schon deutlich auf dem Markt für Schnittholz. Dabei ist zu beachten, dass mehr als 80 % des Schnittholzes auf den Markt für Bauprodukte gehen [Mantau 2005], [ZUFO 2006].

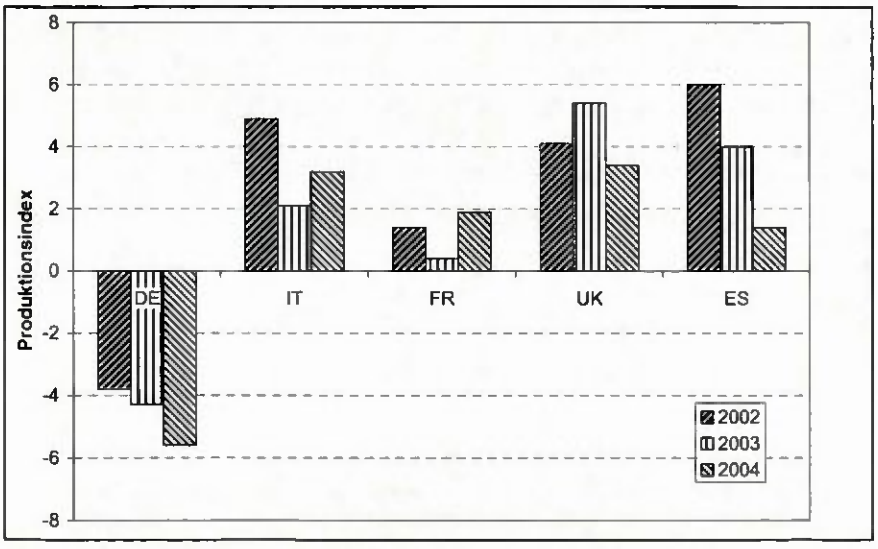


Abb. 14. 9: Produktionsindex Baugewerbe Europa (Eurostat)

4.1.1 Schnittholzmarkt

Deutschland galt als traditionelles Importland für Schnittholz. Seit 2005 ist es Nettoexporteur von Schnittholz (Abb. 14. 10).

Die Entwicklung zeigt deutliche konjunkturbedingte Hochs und Tiefs im zehnjährigen Rhythmus. Der langfristige Trend ist jedoch steigend. Besonders die Erzeugung und die Ausfuhr wachsen exponentiell. Es stellt sich die Frage, welche Produkte werden exportiert und können diese Produkte auch aus Starkholz hergestellt werden.

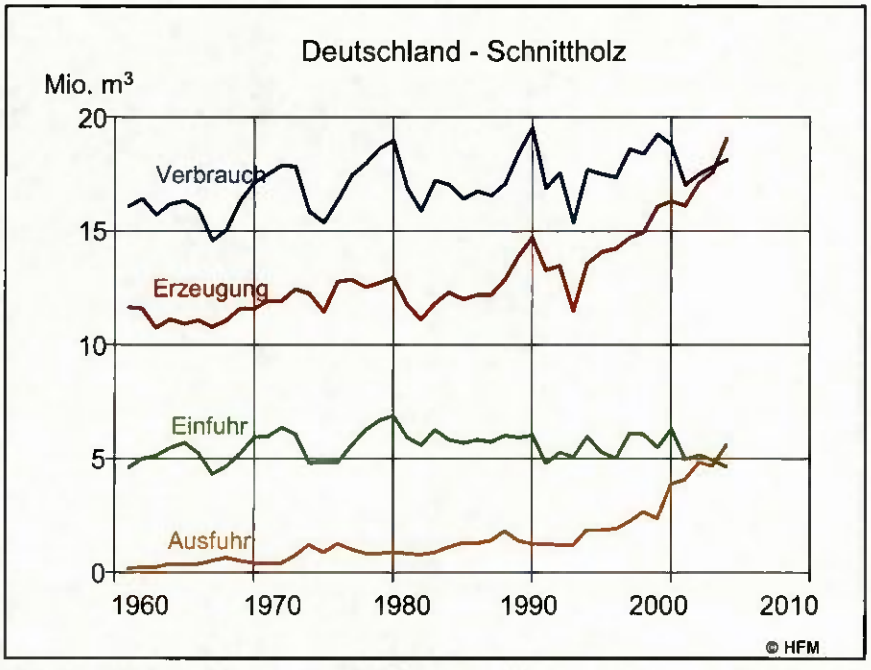


Abb. 14. 10: Entwicklung von Verbrauch, Erzeugung, Einfuhr und Ausfuhr von Schnittholz für Deutschland (stat. Bundesamt)

4.1.1.1 Nadelholz

Der Markt für Nadelschnittholz nimmt mit mehr als 90 % einen Großteil des Gesamtschnittholzmarktes ein. Er zeigt daher eine ähnliche Entwicklung wie der Gesamtmarkt (Abb. 14. 11). Das Wachstum der Erzeugung und der Ausfuhr in den letzten Jahren ist jedoch deutlich höher.

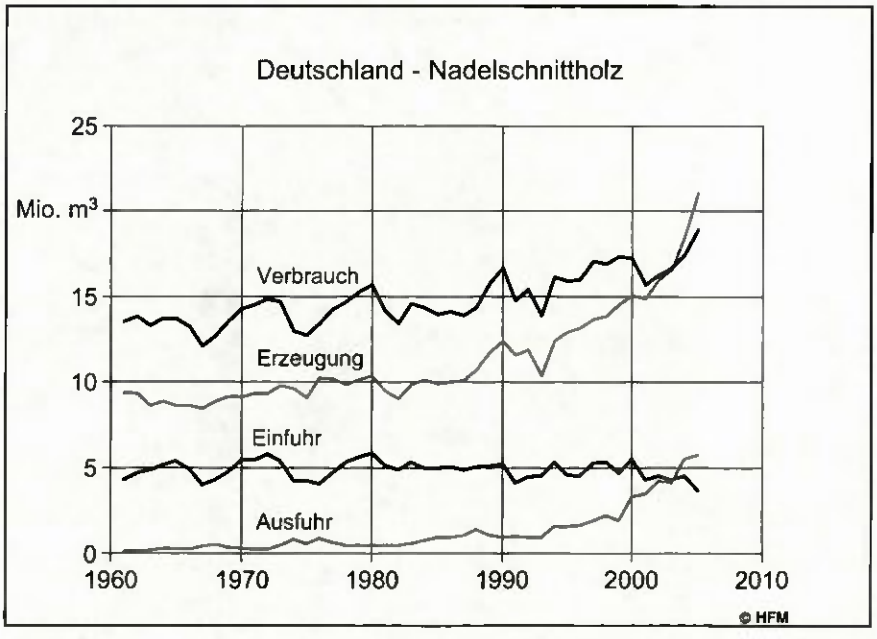


Abb. 14. 11: Entwicklung von Verbrauch, Erzeugung, Einfuhr und Ausfuhr von Nadelschnittholz für Deutschland (stat. Bundesamt)

Der deutsche Markt ist eng mit dem europäischen Markt verflochten. In den EU-Staaten ist der Markt für Nadelschnittholz ebenfalls erheblich gewachsen.

Anders als in Deutschland ist der Verbrauch deutlich mehr gestiegen (Abb. 14. 12). Dies ist mit ein Grund für den starken Anstieg der deutschen Ausfuhr.

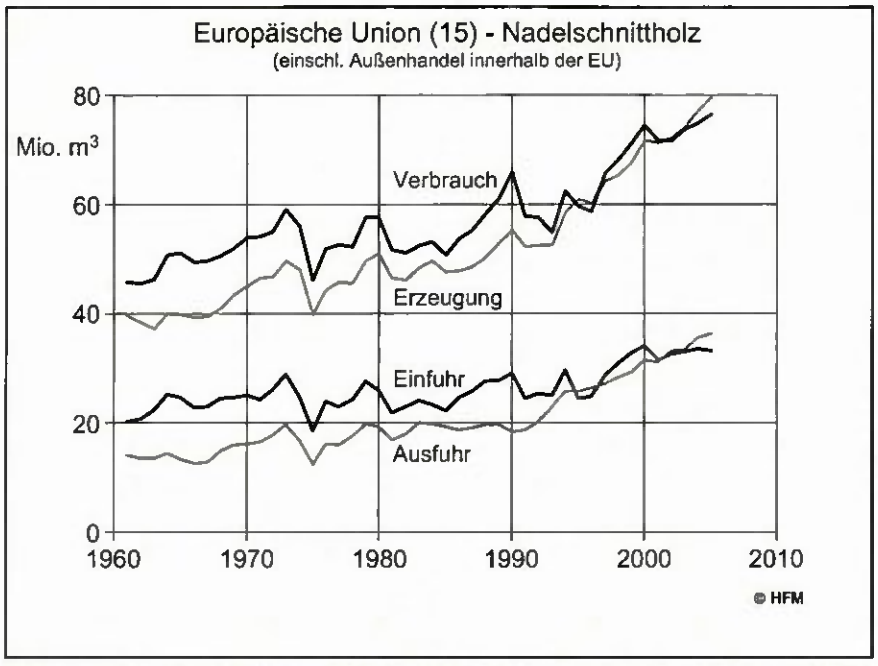


Abb. 14. 12: Entwicklung von Verbrauch, Erzeugung, Einfuhr und Ausfuhr von Nadelschnittholz für die EU der 15 Mitgliedstaaten (Eurostat)

Die Einfuhr und die Ausfuhr am EU-Markt halten sich noch die Waage. Das Außenhandelsvolumen ist in den letzten Jahren erheblich gestiegen und nimmt etwa 45 % des Gesamtmarktes ein.

Auf den ersten Blick scheint es für Nadelholz keine Absatzprobleme zu geben. Betrachtet man die Lage genauer, so wird deutlich, dass hauptsächlich die hochleistungsfähigen Sägewerke den wachsenden Markt bedienen, während die Sägewerke mit geringer Kapazität immer weniger werden (Abb. 14. 13). Aber gerade diese kleineren Sägewerke haben starkes Nadelstammholz verarbeitet, während die großen modernen Sägewerke hauptsächlich schwächeres Stammholz verarbeiten. Es wird deutlich, wie neue Märkte und technischer Fortschritt eine Branche grundlegend verändern können.

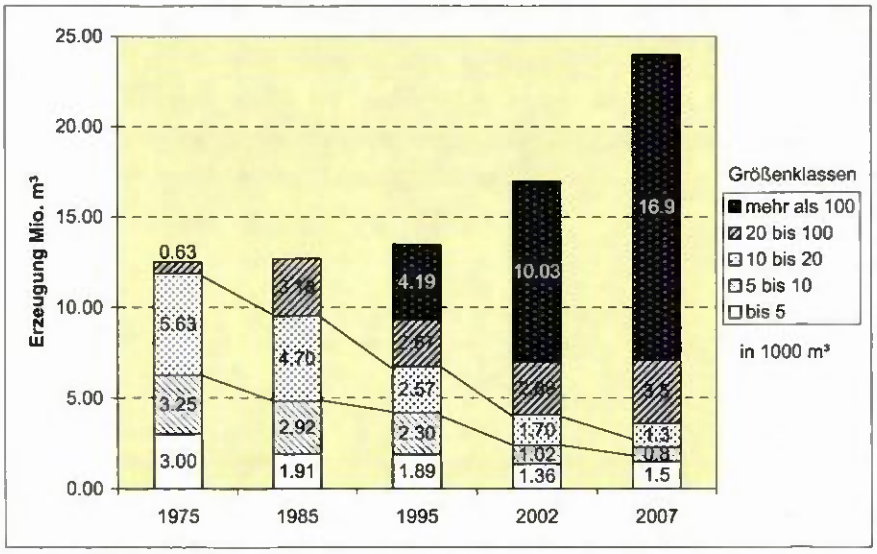


Abb. 14. 13: Erzeugung von Schnittholz nach Betriebsgrößenklassen von 1975 bis 2007 [Mantau 2002] und eigene Erhebungen 2007

Die kleinen und mittleren Sägewerke (Einschnitt < 20.000 m³/Jahr) haben 1975 noch knapp 12 Mio. m³ Schnittholz produziert. Heute produzieren sie noch 2,8 Mio. m³ Schnittholz pro Jahr. Dies bedeutet einen starken Rückgang der Nachfrage nach starkem Stammholz. Damit wird der Zuwachs an starkem Stammholz nicht mehr genutzt und verbleibt im Walde (Bundeswaldinventur II).

Fazit

Starkes Nadelstammholz stellt angesichts der hohen Nachfrage und der geringer werdenden Potentiale beim schwachen Nadelstammholz eine Alternative bei der Versorgung der exportorientierten Sägwerke dar. Dieses Potential gilt es durch innovative Produktentwicklung nutzbar zu machen. Es genügt nicht einfach die gleichen Produkte wie aus Schwachholz zu erzeugen, da diese nicht genügend Wertschöpfung liefern, um die Starkholzvorräte zu mobilisieren. Der Markt und die verfügbare Menge an starkem Stammholz werden in Abs. 2.2 näher betrachtet.

4.1.1.2 Laubholz

Seit 1980 ist der Laubschnittholzmarkt rückläufig. Er beträgt zur Zeit nur noch ein drittel von damals (Abb. 14. 14). Ähnliches gilt auch für den europäischen Markt für Laubschnittholz. Dort ist der Rückgang des Verbrauchs jedoch deutlich geringer als in Deutschland (Abb. 14. 15). Die EU führt zunehmende Mengen an günstigem Laubholz ein, während die Erzeugung erheblich abgenommen hat.

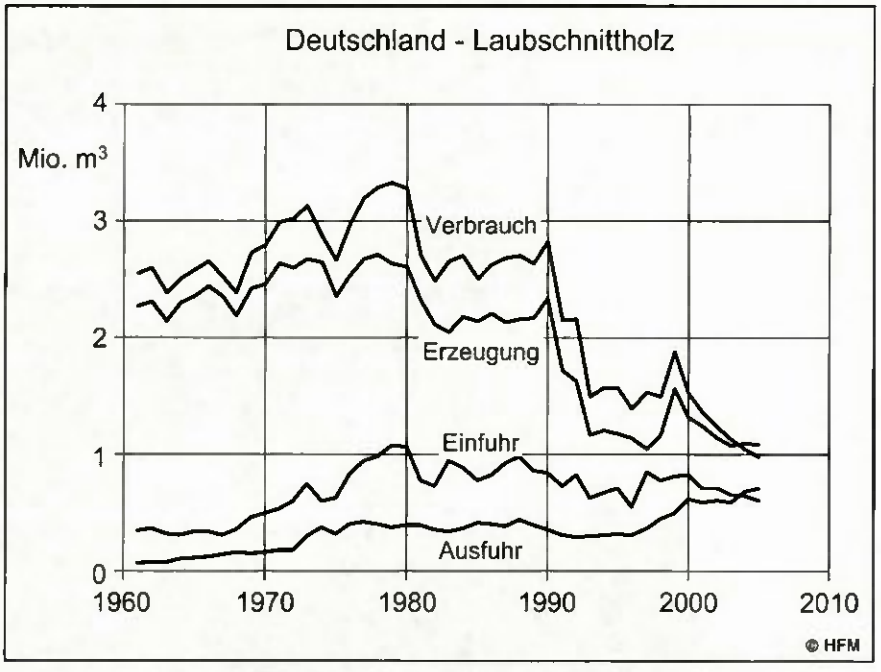


Abb. 14. 14: Entwicklung von Verbrauch, Erzeugung, Einfuhr und Ausfuhr von Laubschnittholz für Deutschland (stat. Bundesamt)

Das Laubholz wurde traditionell zur Möbelherstellung genutzt. Die Möbelherstellung ist jedoch eine sehr arbeitsintensive Branche gewesen. Dies führte in den europäischen Hochlohnländern zu einer verstärkten Mechanisierung und Automatisierung der Produktion. Die automatisierte Produktion benötigt jedoch Rohstoffe mit hoher Maßhaltigkeit und Formstabilität.

Diese Anforderungen sind mit Holzwerkstoffen leichter zu erreichen als mit Laubschnittholz. Das Laubschnittholz muss oft vorbehandelt werden, damit es seine Form hält. Dies gilt vor allem für das häufige Buchenholz. Die Vorbehandlung macht das Laubschnittholz gegenüber den Holzwerkstoffen

teurer, so dass die Möbelhersteller auf den Einsatz von Holzwerkstoffen übergegangen sind.

Deutlich wird diese Entwicklung im gestiegenen Markt für Holzwerkstoffe in Deutschland (Abb. 14. 16) und in Europa (Abb. 14. 17). Deutschland ist jedoch auch bei den Holzwerkstoffen mittlerweile ein Nettoexporteur. Hierin gleichen sich Holzwerkstoffmarkt und Nadelschnittholzmarkt.

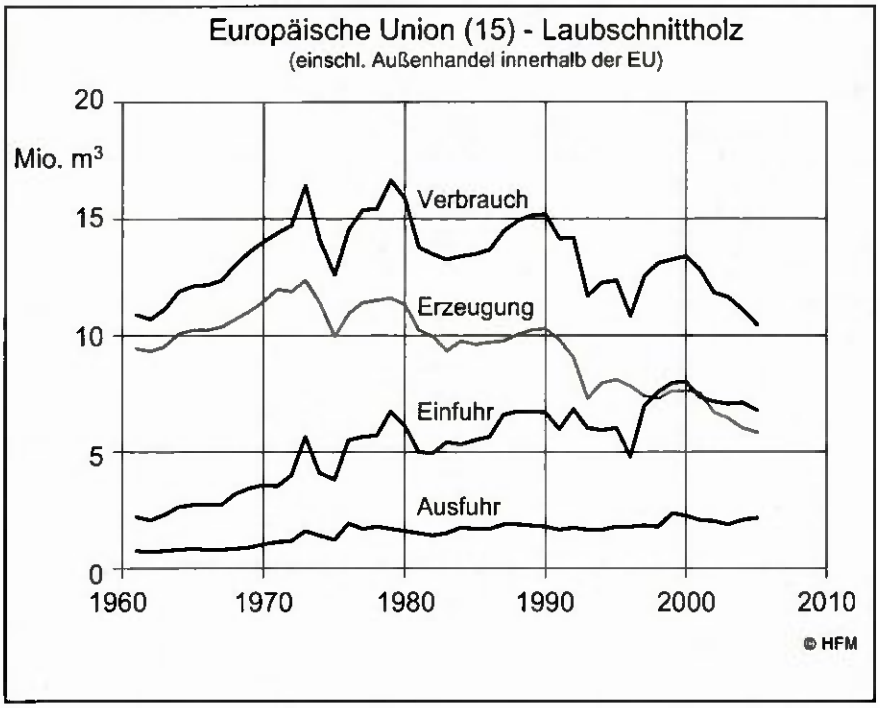


Abb. 14. 15: Entwicklung von Verbrauch, Erzeugung, Einfuhr und Ausfuhr von Laubschnittholz für die EU der 15 Mitgliedstaaten (Eurostat)

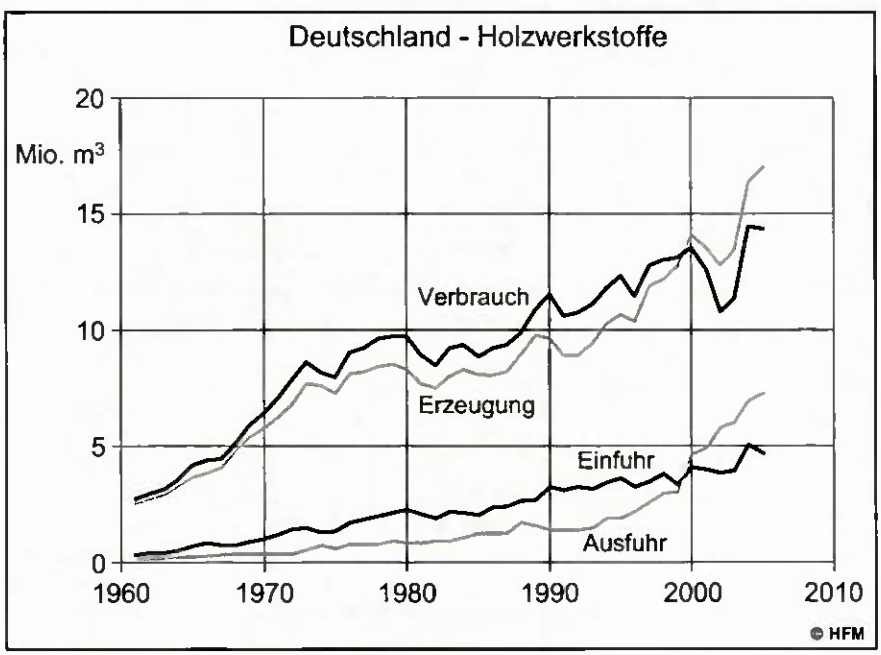


Abb. 14. 16: Entwicklung von Verbrauch, Erzeugung, Einfuhr und Ausfuhr von Holzwerkstoffen für Deutschland (stat. Bundesamt)

Fazit

Durch die Entwicklung am Schnittholzmarkt wird weniger Rohholz nachgefragt, so dass der Zuwachs in den Wäldern nicht genutzt werden kann. Allenfalls die hochwertigen Sortimente werden exportiert. Die verbleibenden Hölzer stellen ein günstiges Rohstoffpotential für den Markt für Bauprodukte dar.

Nadel- und Laubholz können zu verschiedenen Produktgruppen weiterverarbeitet werden und gelangen so auf entsprechende Teilmärkte für Bauholz für Zimmerarbeiten, Konstruktionsvollholz und Balkenschichtholz, Brettschichtholz, Fenster, Türblätter und Parkett.

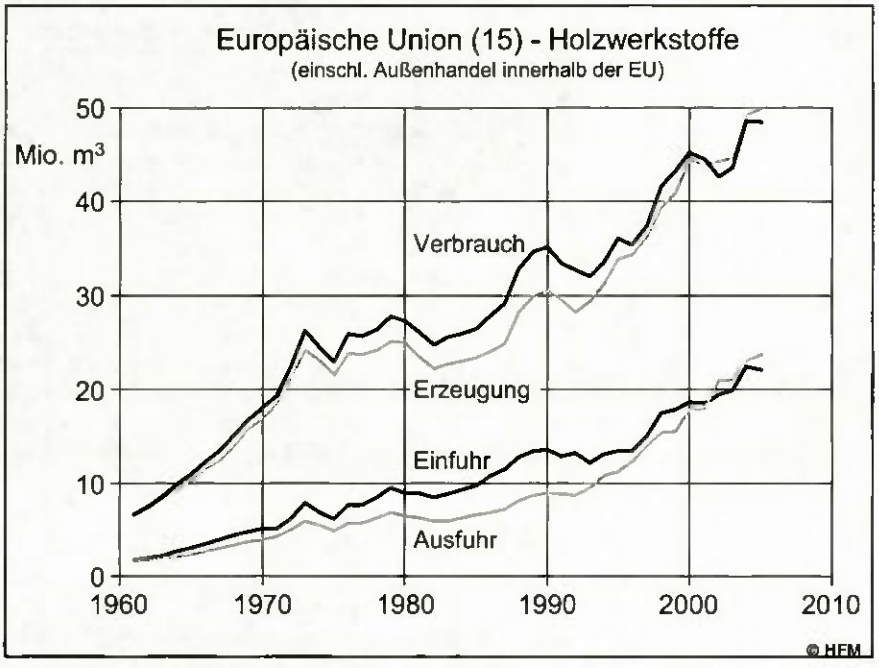


Abb. 14. 17: Entwicklung von Verbrauch, Erzeugung, Einfuhr und Ausfuhr von Holzwerkstoffen für die EU der 15 Mitgliedstaaten (Eurostat)

4.1.2 Bauholz für Zimmerarbeiten

Bauholz für Zimmerarbeiten sind Schnitthölzer von der Latte bis zum Pfettenbalken, die nach Bestellliste vom Säger gefertigt werden. Der Teilmarkt ist durch seine Nachfrager die Zimmerleute charakterisiert. Die Zimmerleute sind traditionell im Wohnhausbau tätig. Nach dem letzten Krieg haben sich die Brandschutzvorschriften für den mehrgeschossigen Wohnhausbau so verändert, dass die Zimmerer auf die Erstellung von Dachstühlen beschränkt wurden. Aber auch die Dachstühle werden in neuerer Zeit durch billigere Flachdächer ersetzt. Nur im Ein- und Zweifamilienhausbau werden noch ganze Häuser aus Holz in größerer Zahl errichtet. Hier konnten die Zimmerer sogar Marktanteile gewinnen.

Zimmereien sind durch kleine Betriebsgrößen hinab bis zum Ein-Mann-Betrieb gekennzeichnet. Im Jahr 2006 waren in 8899 Betrieben 32162 Personen beschäftigt. Das entspricht 3,5 Beschäftigten pro Betrieb. Die Zahl ist weiter rückläufig. Die Zahl der Betriebe steigt, während die Zahl der Mitarbeiter abnimmt. Beachtlich sind die 1.642 Betriebe mit mehr als 10 Mitarbeitern/Betrieb. Diese Betriebe sind in der Lage mehrere Einfamilienhäuser pro Jahr zu fertigen. Dies erhöht die Professionalität und Präsenz am Markt.

Die kleineren Zimmereien erledigen am Bau einzelne Gewerke wie Treppen, Fenster, Türen, Schalungen oder Dachstühle. In diesem Bereich werden viele vorgefertigte Bauteile aus verklebtem Massivholz oder Holzwerkstoffen eingesetzt. Damit werden größere Umsätze und auch Wertschöpfungen erzielt.

Tab. 14. 3:Verbrauchsanteile für stabförmige Holzprodukte in Zimmerei- und Holzbaubetrieben [Mantau 2006]

Sortimente	%	m³
Schnittholz/Bauholz, nicht technisch getrocknet	27,1	1.127.360
Schnittholz/Bauholz, technisch getrocknet	15,7	653.120
Bauholz nach DIN 4074, technisch getrocknet	3,2	133.120
Bauholz nach DIN 4074, nicht technisch getrocknet	4,8	199.680
KVH	30,1	1.252.160
Balkenschichtholz	3,3	137.280
Brettschichtholz	13,2	549.120
Holzwerkstoffe stabförmig (LVL, LSL, Trägersyst.)	1,4	58.240
sonstiges	1,2	49.920
Summe	**100,0**	**4.160.000**

Die Verbrauchsanteile für stabförmige Holzprodukte in Zimmerei- und Holzbaubetrieben nach [Mantau 2006] gliedern sich wie Tab. 14. 3 zeigt. Bauholz, vermutlich nach DIN 68365 sortiert, hat noch einen Anteil von 42,8 %. Davon werden 27,2 % nicht technisch getrocknet. Mittlerweile hat Konstruktionsvollholz (KVH) mit etwa 30 % den zweithöchsten Anteil erreicht. 13,2 % der stabförmigen Holzprodukte bestehen aus Brettschichtholz. Der Anteil von Balkenschichtholz von 3,3 % ist erstaunlich niedrig, wenn man ihn mit den Produktionszahlen in Deutschland vergleicht (Abb. 14. 18). Da die Lamellen für BSH nach DIN 4074 sortiert werden müssen, werden 54,5 % der verbrauchten stabförmigen Holzprodukte in Deutschland nach DIN 4074 klassifiziert. Der Gesamtverbrauch von 4,16 Mio. m³ stabförmige Holzprodukte pro Jahr in Deutschland ist vor dem Hintergrund eines Verbrauchs von über 18 Mio. m³ Nadelschnittholz pro Jahr sehr niedrig angegeben.

Der Verbrauch stabförmiger Holzprodukte hat sich in den Jahren 1998 bis 2003 zu Gunsten von KVH (+9,7 %) und zu Lasten von traditionellem Bauholz (–10,7 %) entwickelt wie Tab. 14. 4 zeigt. Daneben hat Brettschichtholz (–3,4 %) Anteile an Balkenschichtholz und stabförmige Holzwerkstoffe (+4,4 %) abgeben müssen.

Tab. 14. 4: Entwicklung des Verbrauchs stabförmiger Holzprodukte [Mantau 2006]

Hochrechnung des Verbrauchs [%]	1998	2001	2003
Inländisches Bauholz	57,2	51,9	52,8
Ausländisches Bauholz	6,6	2,4	0,3
Bauholz gesamt	*63,8*	*54,3*	*53,1*
Konstruktionsvollholz	19,7	27,1	29,4
Brettschichtholz	16,1	17,8	12,7
Sonstiges (Balkenschichtholz, stabf. HWS)	0,4	0,8	4,8
Summe	**100**	**100**	**100**

Fazit

Die Nachfrage nach traditionellem nicht technisch getrocknetem Bauholz wird weiter abnehmen. Bauprodukte aus Starkholz müssen technisch getrocknet bereitgestellt werden.

4.1.3 Konstruktionsvollholz und Balkenschichtholz

Verklebtes Massivholz umfasst die Produktgruppen Konstruktionsvollholz, Balkenschichtholz, Brettschichtholz und Brettsperrholz. Die Produktion von keilgezinktem Nadelschnittholz (Konstruktionsvollholz) hat sich in den letzten 10 Jahren etwa verdreifacht und die Produktion von Balkenschichtholz [DIBt Z.-9.1-440] hat sich in den letzten 5 Jahren verdreifacht (Abb. 14. 18). Zusammen werden von beiden Produktgruppen mittlerweile 4,5 Mio. m³ pro Jahr produziert.

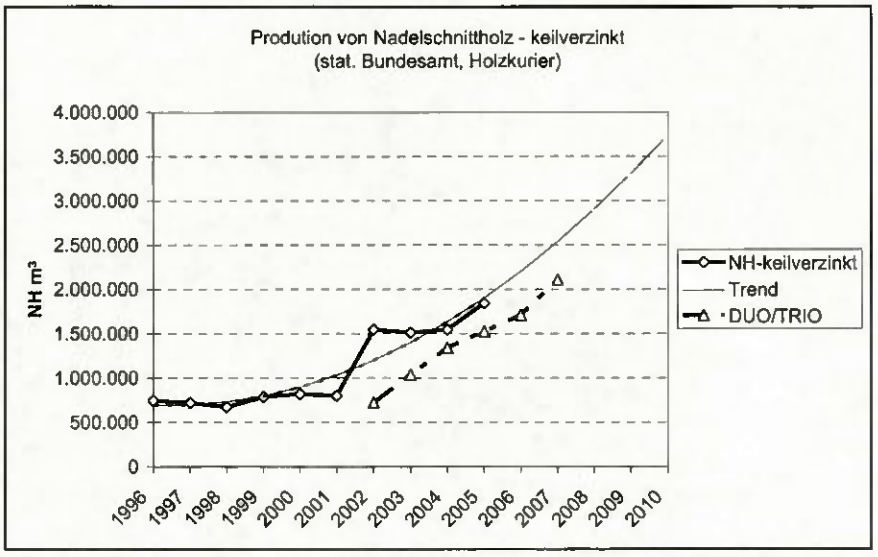


Abb. 14. 18: Produktion von keilgezinktem Nadelschnittholz und DUO-/TRIO-Balken in Deutschland (stat. Bundesamt)

Konstruktionsvollholz wird in der Regel gehobelt für sichtbare Oberflächen verwendet. Statistisch wird es daher zur Hobelware gerechnet. Die Produktion von Hobelware und Konstruktionsvollholz (KVH) für Deutschland ist in Abb. 14. 19 dargestellt. Während das KVH vermehrt produziert wird, schwankt die Hobelware entsprechend der Konjunktur um einen Wert von 1,6 Mio. m³/Jahr.

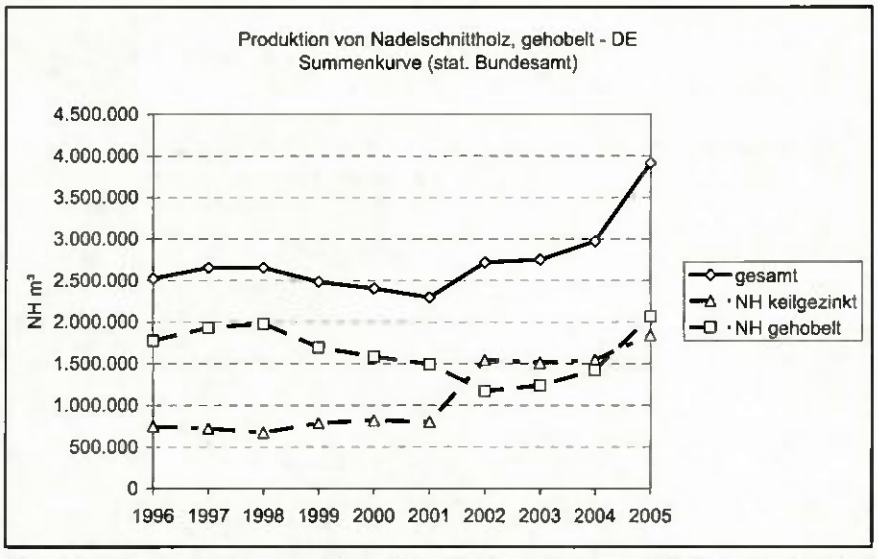


Abb. 14. 19: Produktion von gehobeltem Nadelschnittholz und KVH in Deutschland (stat. Bundesamt)

Mehr als die Hälfte dieser Produktion geht in den Export und eine abnehmende Menge wird in Deutschland verbraucht (Abb. 14. 20). Die Einfuhr von gehobeltem Nadelholz hat etwas abgenommen.

Fazit

Der europäische Markt für Konstruktionsvollholz und Balkenschichtholz ist ein Wachstumsmarkt, während der deutsche Markt stagniert oder rückläufig ist. Dies bedeutet für die Innovation eine Ausrichtung an den Anforderungen des europäischen Marktes, die durch die harmonisierten deutschen und europäischen Normen repräsentiert werden.

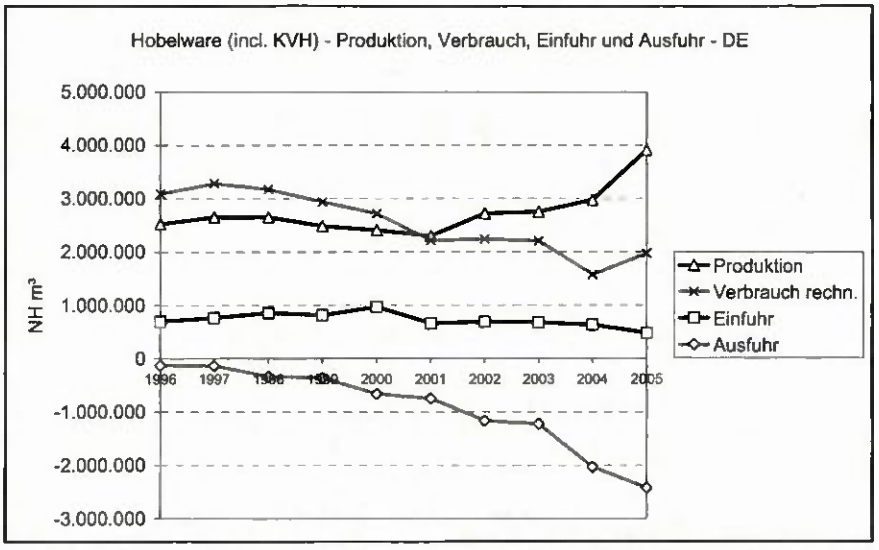


Abb. 14. 20: Entwicklung von Produktion, Verbrauch, Ein- und Ausfuhr von gehobeltem Nadelschnittholz inklusive KVH in Deutschland (stat. Bundesamt)

4.1.4 Brettschichtholz und Brettsperrholz

Der Brettschichtholzmarkt ist seit Jahren ein Weltmarkt. Große Mengen an Brettschichtholz werden innerhalb Europas und nach Übersee gehandelt. Der Schwerpunkt der Produktion ist aber Mitteleuropa (Abb. 14. 21). Der gesamte US-Markt hat die Größe des deutschen Marktes. Der japanische Markt ist mit etwa 1,3 Mio. m³/Jahr der größte in Übersee (Weider 2006).

Der Brettschichtholzmarkt in Europa entwickelt sich ähnlich rasch wie der für Konstruktionsvollholz und Balkenschichtholz.

Brettschichtholz wurde früher ausschließlich im Ingenieurholzbau eingesetzt, um Konstruktionen mit großer Spannweite aus Holz herzustellen. Seit etwa 15 Jahren werden Brettschichthölzer auch in Standardabmessungen für die Verwendung für Zimmerarbeiten hergestellt. Die so genannten Stangen sind 15 m bis 21 m lang, gerade und haben wenige Standardquerschnitte.

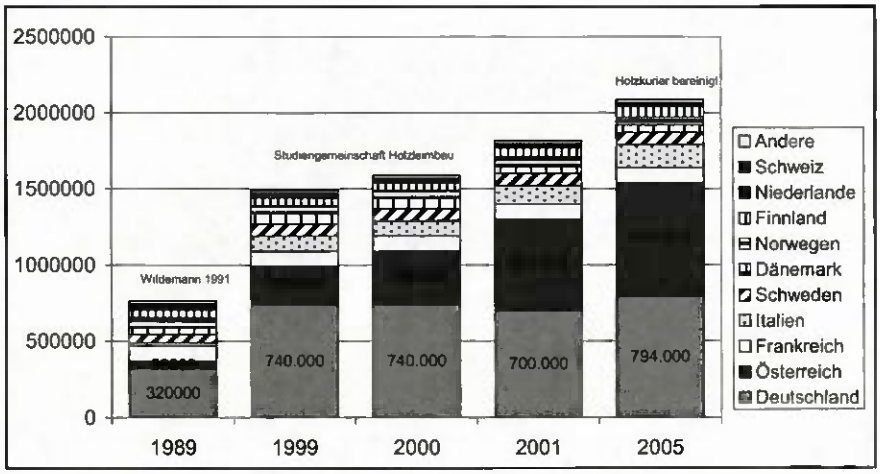


Abb. 14. 21: Produktion von Brettschichtholz in Europa [Wildemann 1991], [Wiegand 2002], [Holzkurier 2005], [DIBt 2005]

Die kleineren Querschnitte von 6 x 12 cm² bis 12 x 12 cm² werden zum Beispiel in Pfosten-Riegel-Konstruktionen zusammen mit Glas eingesetzt. Die Querschnitte 6 x 16 cm² bis 8 x 28 cm² werden z. B. als Sparren eingesetzt und die größeren Querschnitte als Deckenbalken oder Pfetten [Holzbauatlas 2003].

Fazit

Am Markt stehen Brettschichtholzstangen in engem Wettbewerb zu den Balkenschichthölzern und zu Konstruktionsvollholz. Hier wird die Bereitschaft zu Innovationen zeigen, wie sich die Produktgruppen am Markt platzieren. Maschinell sortierte Bretter aus Nadelstarkholz können die Konkurrenzkraft von Brettschichtholz stärken.

4.1.5 Fenster, Türblätter und Parkett

Der Fenstermarkt ist seit Ende der 80er Jahre rückläufig. Mittlerweile werden weniger als 3 Mio. Holzfenster pro Jahr in Deutschland hergestellt. Dies hat neben dem allgemeinen Rückgang des Baumarktes zwei Gründe. Zum einen wurden viele Holzfenster durch Kunststofffenster substituiert und zum anderen wurde die Produktion von Holzfenstern und Fensterkanteln in Nachbarländer ausgelagert.

Für Bauschreiner ist es günstiger Kunststofffenster zuzukaufen, statt Holzfenster selber herzustellen. Am Markt für Fenster konnten somit nur größere Hersteller für Holzfenster überleben, die eine günstige Produktion und eine effiziente Qualitätssicherung aufbauen konnten.

Der Markt für Türblätter ist ebenfalls seit Jahren rückläufig. Hier spielt neben der allgemeinen Baumarktentwicklung auch die Verlagerung der Produktion in die Nachbarländer eine Rolle.

Der Markt für hochwertiges Parkett hat sich in den letzten 10 Jahren erholt und hat die Produktionszahlen von 1990 wieder erreicht. Hier macht sich die Innovation in neue Produkte bemerkbar (Fa. Hambacher, Rosenheim).

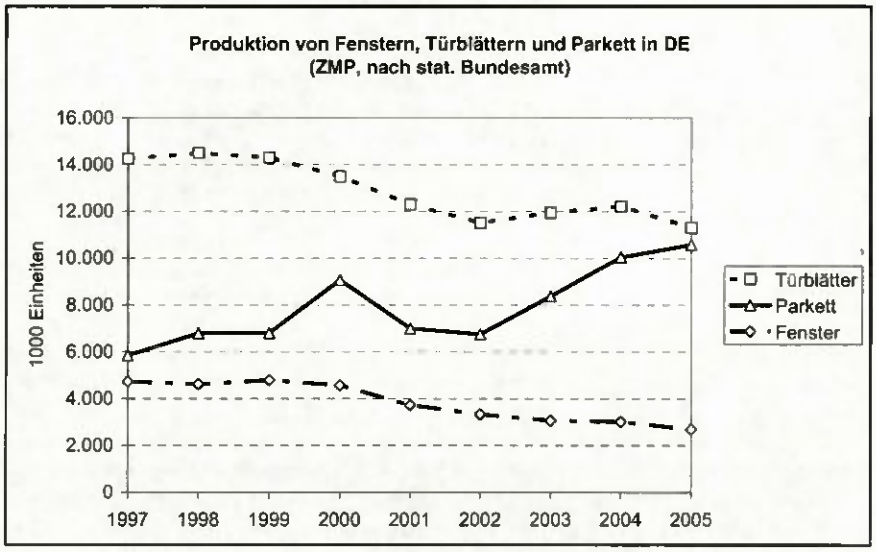


Abb. 14. 22: Entwicklung der Produktion von Fenstern, Türblättern und Parkett aus Holz in Deutschland (stat. Bundesamt)

Fazit

Hochwertige Rifts für die vermehrte Herstellung von Fensterkanteln können auch aus Nadelstarkholz mittlerer Qualität hergestellt werden, wenn die Verwendung der Resthölzer (Koppelprodukte) entsprechend hochwertig ist.

4.1.6 Holz und andere Baustoffe (Beton, Stahl, Ziegel, Kunststoffe)

Holz als Baustoff wird mit anderen Materialien wie Beton, Stahl, Ziegel oder Kunststoffen zusammen verwendet oder steht mit diesen in direktem Wettbewerb. Deshalb ist die Preisentwicklung bei diesen Materialien im Vergleich zu Holz insbesondere für Schnittholz von Bedeutung. In Abb. 14. 23 ist die Entwicklung der Preisindizes für Portlandzement, Betonschotter, Flachstahl, Kunststoff und Schnittholz dargestellt.

Während Schnittholz und Kunststoff auf ihrem Preisniveau verharren, weisen die anderen drei Materialien steigende Preise auf. Kunststoff weist erhebliche Preisschwankungen auf, während Schnittholz nur wenig schwankt. Besonders Stahl ist in den vergangenen Jahren stark im Preis gestiegen. Die westlichen Industriestaaten haben den enormen Anstieg in der Weltproduktion nicht nachvollzogen. Dies führte zu dem hohen Preisanstieg der letzten Jahre [Perlitz 2007].

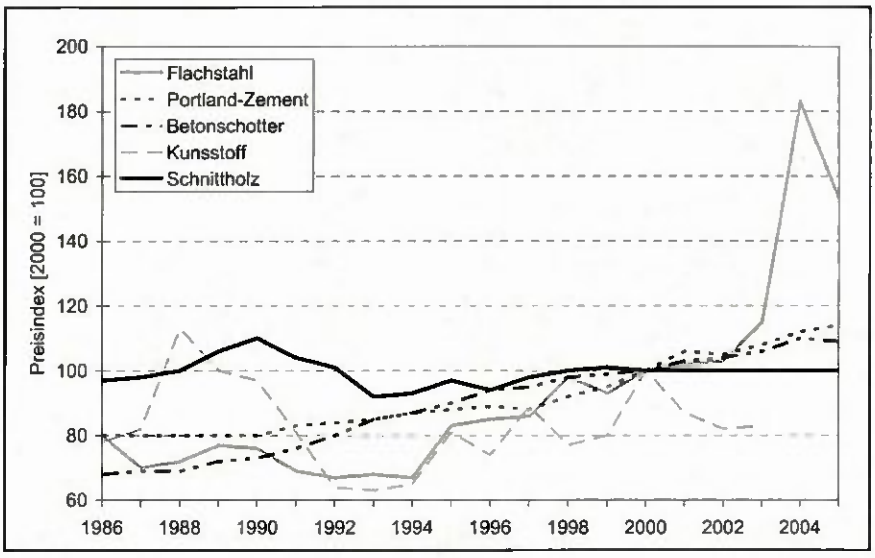


Abb. 14. 23: Preisindex für Schnittholz und andere Baumaterialien in den Jahren 1986 bis 2005 (Quelle: Verband der Holzindustrie Österreich)

Fazit

Angesichts der fortschreitenden Konsolidierung der Stahlbranche [Ruch 2006] ist auch in Zukunft nicht mit sinkenden Stahlpreisen zu rechnen. Hieraus ergeben sich Ansätze für die Substitution der Stahlkomponente beim Deckenbau durch Holzprodukte mit besonders hoher Tragfähigkeit. Hier können Produkte aus Starkholz vorteilhaft eingesetzt werden.

4.2 Lage am Rohholzmarkt

Am Rohholzmarkt werden Stammholz, Industrieholz und Energieholz gehandelt. Stammholz wird bis auf wenige Ausnahmen von den Sägewerken nachgefragt [Mantau 2005]. Industrieholz wird von der holzverarbeitenden Industrie nachgefragt, um es mechanisch oder chemisch aufzuschließen. Energieholz wird entweder von privaten Haushalten oder von Heizkraftwerken nachgefragt. Stammholz und Industrieholz unterscheiden sich in der Dimension und in der Qualität. Es gibt jedoch Überlappungsbereiche in denen Stammholz wie Industrieholz und umgekehrt behandelt wird. Die meisten Energiehölzer sind auch als Industrieholz geeignet, werden dort aber nicht immer nachgefragt. Dies gilt besonders für Brennholz aus den kleinen privaten Wäldern.

4.2.1 Stammholz

Stammholz sind Stämme oder Stammteile, die in Stammklassen eingeteilt werden [EN 1309, HKS 1969]. Mittenstärke- und Heilbronner Sortierung werden für Langholz (Länge > 3 m) angewendet. Die Heilbronner Sortierung wird ausschließlich für Nadelholz angewendet. Die Stärkeklassen L1b bis L4 entsprechen für normal abholziges[1] Stammholz den Stärkeklassen H1 bis H6, wobei für die Stärkeklassen H1 bis H6 zusätzlich zu den Mindestdurchmessern noch Mindestlängen gefordert sind. Traditionelle Bauholzsägewerke erhalten durch die Heilbronner Sortierung Stammholz mit einer garantierten

[1] Abholzigkeit: Durchmesserabnahme 1 bis 1,5 cm/lfm: ENV 1927-1: 1998, Tab. 1 und Entwurf EN 1927-1: 2006

Vollholzigkeit. Aus vollholzigen Stämmen lassen sich Bauhölzer wie Balken oder Pfetten mit wenig geringwertiger Seitenware herstellen.

Die Mindestlängen bei Heilbronner Sortierung beginnen bei 8 m und enden bei 18 m. Bei Sortierung nach Mittenstärke sind heute Längen von 4 m bis 6 m üblich. Dies gilt besonders für schwächeres (dünneres) Stammholz. Kürzere Stämme können im Wald leichter manipuliert werden und richten beim Rücken deutlich weniger Schäden am verbleibenden Bestand an als lange Stämme nach Heilbronner Sortierung. Dies gilt wiederum besonders beim Fällen von Bäumen über sich hebender Verjüngung (Jungpflanzen höher als 50 cm).

Neben der Stärkesortierung wird beim Stammholz die Gütesortierung angewendet [ENV 1927, HKS 1969]. Jedoch werden die langen Fichten, Tannen und Douglasien kaum nach Güte sortiert, da die Heilbronner Sortierung nur Holz von normaler Qualität fordert (Güteklasse B). Erhebliche Güteunterschiede am Stammfuß oder am Gipfel werden durch Abtrennen von HL-Abschnitten begrenzt. Es entstehen HLA Abschnitte für hochwertige Stämme und HLC oder HLD Abschnitte für geringwertige Stücke mit großen Ästen, starkem Drehwuchs oder Fäule. Der Anteil dieser HL-Abschnitte beträgt etwa 10 % [Kroth 1993].

Die kürzeren Stämme können nach Mittenstärke und Güte sortiert werden. Für Fichte, Tanne und Douglasie sind die Sortierkriterien jedoch so gewählt, dass etwa 90 % des Stammholzes in die Güteklassen B und C fallen [Ritter 1998, Reiter 2003]. Am Markt wird dann ein Mischsortiment B/C zu einem Einheitspreis gehandelt. **Die Verkäufer von hochwertigen Stämmen, meist kleine Privatwaldbesitzer, verzichten auf diese Weise auf einen erheblichen Teil an Wertschöpfung, die sie durch eine Sortierung und anschließende getrennte Vermarktung erzielen könnten. Dies ist ein wichtiger Grund für die Zurückhaltung der Privatwaldbesitzer bei der Nutzung des starken Stammholzes.**

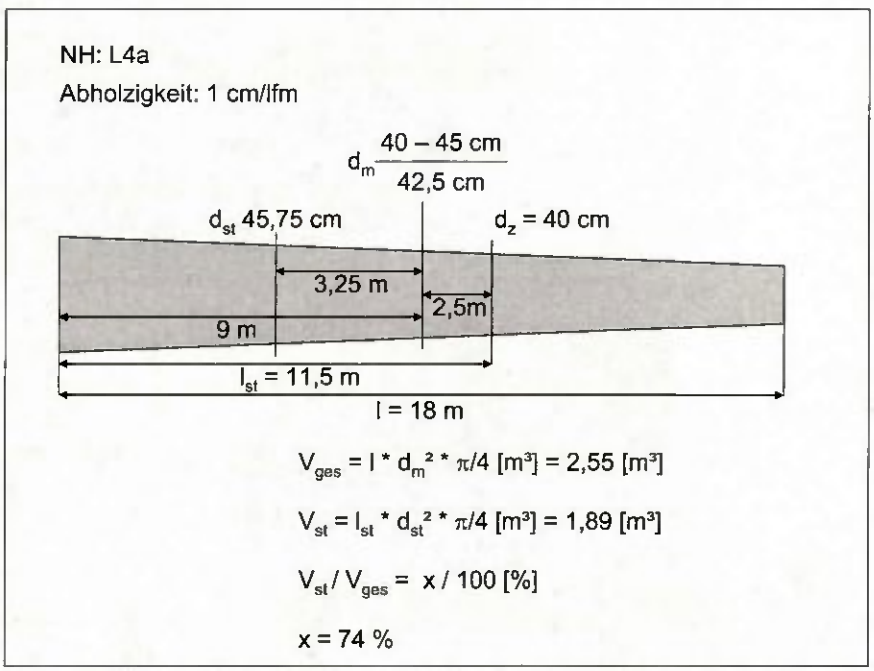


Abb. 14. 24: Volumenanteil des Starkholzes an einem mittleren Stamm der Stärkeklasse L4a

4.2.1.1 Schwachholz und Starkholz

Die Begriffe Schwachholz und Starkholz beziehen sich auf die Dimension des Stammholzes. Dünne Stämme, die der Stärkeklasse L1a bis L2a zugeordnet werden müssen, werden als Schwachholz bezeichnet, während dicke Stämme, die der Stärkeklasse L4 oder H6 zugeordnet werden müssen, als

Starkholz bezeichnet werden. Andere Definitionen für Starkholz setzen die Grenze bei 40 cm am dünneren Ende des Stammholzes [Reiter 2005]. Diese Grenze geht von Sägeblochen mit einer Länge von 4 m bis 6 m aus. Damit wäre von der Stärkeklasse L4a etwa 70 % des Volumens Starkholz (Abb. 14. 24).

Tab. 14. 5: Potentielles jährliches Rohholzaufkommen bis 2017 in Bayern in Tsd. Fm ohne Rinde; im Anhalt an [Borchert 2005]

Sorte	Gesamt	Laubholz		Nadelholz	
	[Fm]	[Fm]	%	[Fm]	%
L1b	1.475	-	0	1.475	9
L2a	2.837	4	0	2.833	17
L2b	3.218	390	10	2.828	17
L3a	3.226	395	11	2.831	17
L3b	1.820	315	8	1.505	9
L4a	1.493	284	8	1.208	7
davon 70% Starkholz	1.045	199		846	
L4b	979	218	6	761	5
L5	735	241	6	493	3
L6	221	109	3	112	1
Stammholz	16.004	1.956	52	14.046	86
davon Starkholz	**2.980**	**767**	**21**	**2.212**	**14**
IS/IL	3.172	1.353	36	1.819	11
NH, ohne Stock	910	428	11	482	3
Erntefestmeter	20.086	3.737	100	16.347	100

Das Angebot an Rohholz in Bayern für die nächsten 10 Jahre gliedert sich wie Tab. 14. 5 zeigt. Danach können jährlich 2.212.000 Fm[2] Nadelstarkholz und 767.000 Fm Laubstarkholz geerntet werden. Für die Jahre 2017 bis 2032 ist diese Menge noch steigend [Borchert 2005].

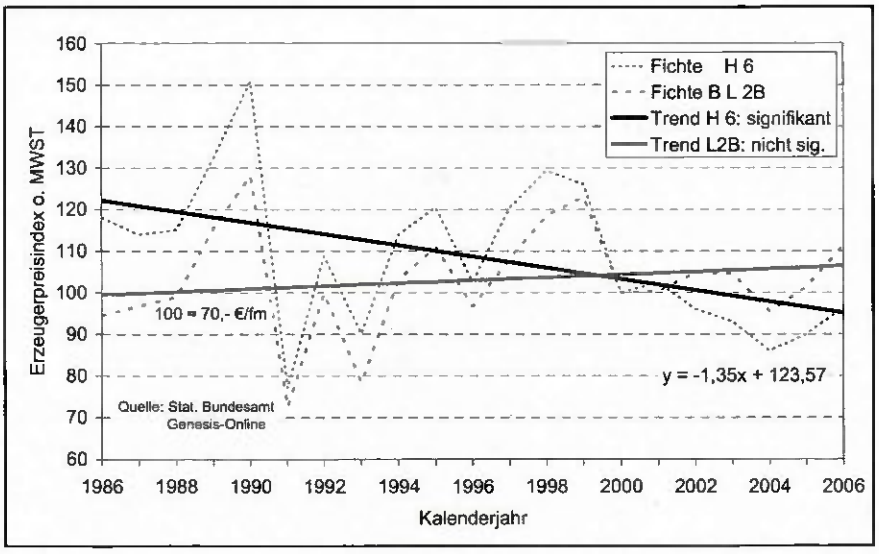


Abb. 14. 25: Vergleich des Erzeugerpreisindexes für starkes und schwaches Fichtenstammholz in Deutschland (stat. Bundesamt)

Dies bedeutet für 300 kleine Sägewerke (Einschnitt pro Jahr 10.000 fm) in Bayern eine gesicherte Versorgung mit Stammholz, das Großsägewerke (Verbrauch > 500.000 fm/Jahr) bisher nicht einschneiden können. Zieht man für die Großsägewerke (Klausner, Binder, Rettenmeier, Ziegler, Pröbstl) einen Verbrauch von 5,5 Mio. fm/Jahr in Betracht, so bleiben für die 300 mittelständischen Sägewerke in Bayern noch 7,5 Mio. fm/Jahr oder 25.000 fm/Jahr pro Sägewerk für den Einschnitt (Bei ausgeglichener Außenhandelsbilanz).

[2] Fm: 1 Festmeter gleich 1 m³ Rundholz

Die kleinen Sägewerke können sich aber nur dann auf das starke Stammholz konzentrieren, wenn sie daraus entsprechend hochwertige Schnitthölzer am Markt absetzen können. Andernfalls werden die kleinen Sägewerke weiter weniger und der Preis für das starke Stammholz wird weiter zurückgehen (Abb. 14. 25 und Abb. 14. 26).

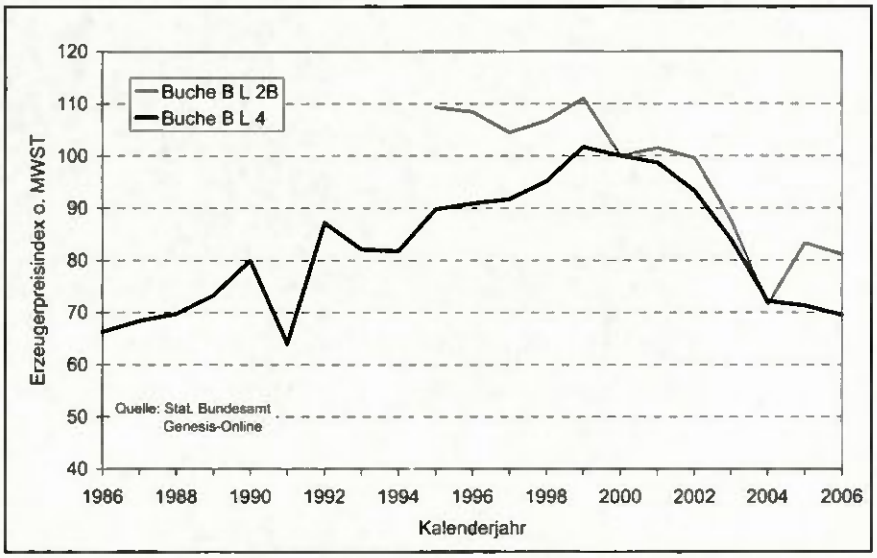


Abb. 14. 26: Vergleich des Erzeugerpreisindexes für starkes und schwaches Buchenstammholz in Deutschland (stat. Bundesamt)

Beim Buchenstammholz geht seit 2001 nicht nur der Erzeugerpreisindex für starkes Stammholz zurück, sondern auch für schwaches Stammholz (Abb. 14. 26).

Fazit

Insgesamt ist die Versorgung des Marktes mit preiswertem starkem Stammholz mittelfristig gewährleistet. Innovationen treffen damit auf gute Bedingungen.

4.2.1.2 Vergleich von Bayern mit Österreich

Die Rohholzmärkte von Bayern und Österreich sind eng verzahnt. Besonders österreichische Säger importieren viel Stammholz, um es nach der Verarbeitung nach Italien zu exportieren [Offner 2006]. Die Abb. 14. 27 zeigt eine Stammholzproduktion in Bayern von rd. 15 Mio. Fm/Jahr und das zusätzliche Potential nach Tab. 14. 5, welches vor allem aus starkem Stammholz besteht. Von der Stammholzproduktion Bayerns werden jährlich im Mittel 3 Mio. m³ nach Österreich (AT) und Tschechien (CZ) exportiert [Holzmarktbericht 2006].

Österreich produziert 10,8 Mio. Fm Stammholz und importiert etwa 2 Mio. Fm Stammholz aus Osteuropa (Slowakei, Tschechien u. a.)[Offner 2006]. Zusammen mit dem Stammholz aus Bayern produzieren die österreichischen Sägewerke im Mittel 11 Mio. m³ Schnittholz pro Jahr, von dem über 7 Mio. m³ exportiert werden. 60 % des Exports gehen nach Italien. **Dies ist ein eindrucksvolles Beispiel für die Möglichkeiten, die der europäische Markt für ein Land mit einer leistungsfähigen und innovativen Holzverarbeitung und guter Rohholzversorgung bietet.**

In beiden Ländern zusammen werden im Mittel 35 Mio. Fm Stammholz (fast nur Nadelstammholz) zu 21 Mio. m³ Schnittholz verarbeitet. In Bayern werden bisher im Mittel 12 Mio. Fm Stammholz zu 7,2 Mio. m³ Schnittholz gesägt. Hierin sind die beiden neuen Sägewerke der Firmen Klausner und Binder mit einem Verbrauch von etwa 2 Mio. Fm/Jahr schon enthalten. Bei Nutzung des Potentials aus Tab. 14. 5 könnten die geplanten Erweiterungen

der Unternehmen Heggenstaller, Ziegler, Pröbstl u. a. zu einer Produktion von 10 Mio. m³ Schnittholz führen. Diese Sägewerke werden vornehmlich schwaches bis mittelstarkes Stammholz vom Markt abnehmen (Ausnahme Pröbstl).

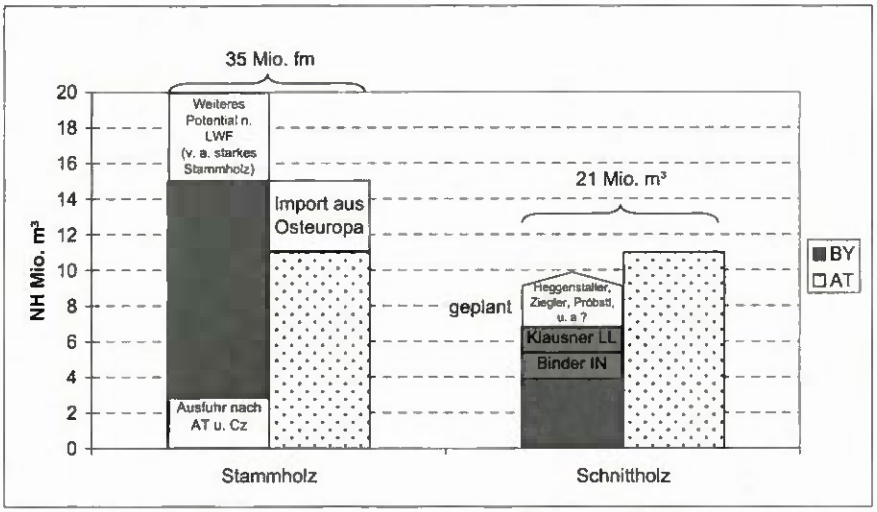


Abb. 14. 27: Jährliche Produktion von Nadelstammholz und -schnittholz in Bayern und Österreich ([Holzmarktbericht 2006], Stand Mitte 2007)

Fazit

Den kleinen Sägewerken wird hauptsächlich starkes Stammholz zur Verfügung stehen. Damit die kleinen Sägewerke mit ihrer teureren Einschnitttechnologie am internationalen Markt bestehen können, brauchen sie Produkte die einen höheren Preis erzielen. Durch eine bessere Ausschöpfung des Potentials des Rohstoffes "Starkholz" wird es gelingen diese höhere Wertschöpfung zu erzielen.

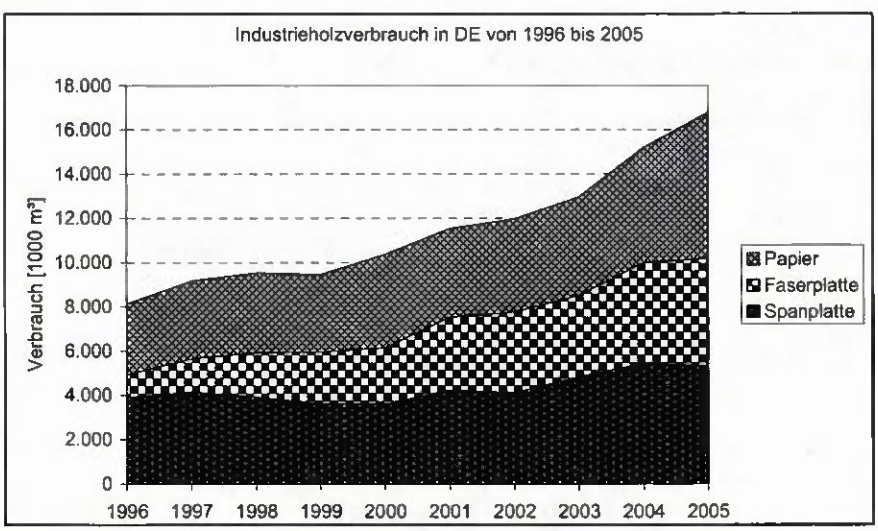


Abb. 14. 28: Verbrauch von Industrieholz in Deutschland zur Papier- und Plattenherstellung [ZMP-Forst und Holz 2006]

4.2.2 Industrieholz

Der Verbrauch von Industrieholz in Deutschland hat sich in den letzten 10 Jahren verdoppelt (Abb. 14. 28). Wurden 1996 noch 8 Mio. m³/Jahr Industrieholz verbraucht, so waren es 2005 schon über 16 Mio. m³/Jahr. Besonders stark ist der Verbrauch bei der Faserplattenherstellung (Mitteldichtefaserplatten kurz MDF) gestiegen. 1996 wurden knapp 1 Mio. m³/Jahr Industrieholz zu MDF-Platten verarbeitet und 2005 schon 4,8 Mio. m³/Jahr.

Die MDF-Platten werden hauptsächlich bei der Möbelherstellung aber auch für Bauprodukte (Türblätter) verwendet.

Das hohe Angebot an preiswertem Industrieholz ist vor allem dem Einsatz von voll mechanisierter Holzernte zu verdanken, durch die Rohholz von geringer Dimension in großen Mengen kostendeckend bereitgestellt werden kann [Pausch 2003], [Bacher 2004].

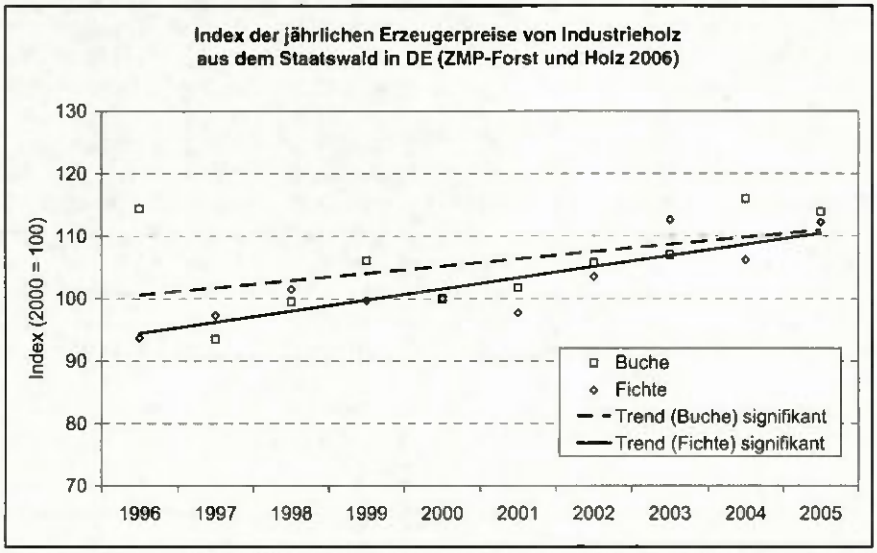


Abb. 14. 29: Index der jährlichen Erzeugerpreise von Industrieholz aus dem Staatswald in Deutschland [ZMP-Forst und Holz 2006]

Die Preise für Nadelindustrieholz sind mehr gestiegen als die Preise für Laubindustrieholz (Abb. 14. 29). Der Preisanstieg ist aber für beide Baumarten signifikant.

Fazit

Menge als auch Preise für Industrieholz werden in Zukunft ansteigen, was die Holzwerkstoffpreise erhöhen wird. Gleichzeitig werden die Preise für schwaches Sägerundholz ansteigen. Die Sägeresthölzer werden ebenfalls stärker nachgefragt werden. Der Einschnitt von Starkholz liefert bisher keine hochwertigen Hackschnitzel. Es wäre daher günstig entrindetes Starkholz einzuschneiden und die Resthölzer zu Dämmmaterial oder Faserspänen zu verarbeiten.

4.2.3 Energieholz

Das Energieholz setzt sich im wesentlichen aus Scheitholz, Wald- und Sägehackschnitzeln und gepressten Sägespänen (Pellets) zusammen [Schäfer 2004].

Scheitholz könnte in langer Form auch als Industrieholz dienen. Ein Teil der Hackschnitzel und die Sägespäne könnten zur Plattenproduktion verwendet werden. Damit stehen die Energieholzverbraucher im Wettbewerb mit der Plattenindustrie, die Industrieholz und Sägespäne benötigt.

Die Bruttogewinne für die Bereitstellung von Scheitholz aus Buchenindustrieholz für verschiedene Spaltmaschinen von 17 bis 24 Euro/rm[3] für einen Landwirt zeigen das erhebliche Potential, das in der energetischen Verwertung von Industrieholz als Scheitholz steckt. Dieses Potential hat in den letzten Jahren noch weiter zugenommen, da die Preise für Heizöl oder Erdgas erheblich angestiegen sind und die Verbraucher für Energieholz mehr bezahlen als 55,- €/rm. Für Scheitholzheizungen wird mittlerweile ein Preis von 100,- €/fm frei Ofen als wirtschaftlich betrachtet [CARMEN 2007]

[3] rm: 1 Raummeter = 0,7 Festmeter

Eine ähnliche Entwicklung zeigt sich für Hackschnitzel und Pellets. Es ist daher zu erwarten, dass die Preise für die Rohstoffe für die Plattenindustrie noch weiter steigen werden.

Fazit des Kapitels

Zusammenfassend kann die Marktsituation so charakterisiert werden: Die Nachfrage nach Bauprodukten am deutschen Markt ist stagnierend bis rückläufig, während die Nachfrage am europäischen oder überseeischen Markt wachsend ist. In Deutschland ist jedoch für die kommenden Jahre mit einem vermehrten Ausbau älterer Wohnungen zu rechnen. Dies wird vor allem Bauprodukte erfordern, die trocken verbaut werden können. Die Holzbe- und -verarbeiter haben darauf mit vermehrter Produktion und Export reagiert. Besonders Produkte mit einer einheitlichen europäischen Normung wie Brettschichtholz oder Balkenschichtholz weisen starke Zuwächse auf. Günstig für die Entwicklung war auch die stabile bis rückläufige Tendenz bei den Rohstoffpreisen. Besonders bei starkem Stammholz ist die verfügbare Menge auf Jahre hinaus hoch und die Preise sind leicht rückläufig. Bei Industrieholz ist der Trend bei den Preisen steigend und bei den Mengen eher rückläufig. Dies ist auf die vermehrte energetische Nutzung von Resthölzern aus dem Wald und aus den Sägewerken zurückzuführen. Damit werden die Preise für Holzwerkstoffe aus diesen Rohhölzern steigen, sofern keine Innovationen diese Steigerungen kompensieren. Wird zum Beispiel entrindetes Starkholz gesägt, so können die Resthölzer zu hochwertigen Dämmmaterialien und Faserspänen verwendet werden.

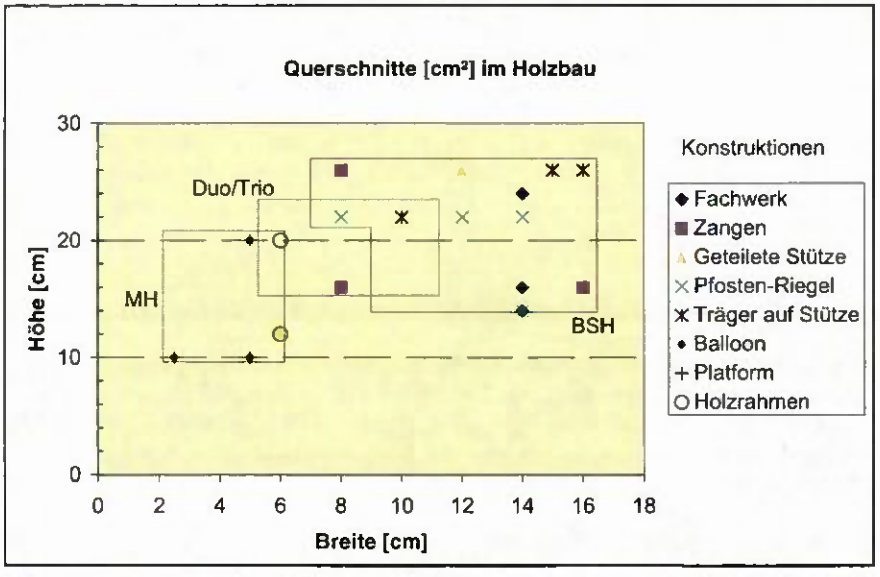


Abb. 14. 30: Häufig verwendete Querschnitte und Baustoffteile bei verschiedenen Konstruktionen im Holzbau. Auswertung der Beispiele in [Pfeifer 1998]

5 Analyse der Anforderungen an Massivholz und Bezüge zum Starkholz

An Bauprodukte aus Holz werden vielfältige Anforderungen aus den Bereichen Wärmeschutz, Schallschutz, Brandschutz, Holzschutz, Ökologie und Standsicherheit gestellt [HAF 2004]. Diese Anforderungen sollen im Gesamtprojekt "Holzbau der Zukunft" in den jeweiligen Teilprojekten bearbeitet werden. Dieses Teilprojekt befasst sich, wie eingangs schon dargestellt, mit den Rohstoffeigenschaften und den Baustoffeigenschaften der Halbfabrikate, die daraus hergestellt werden. Durch Befragungen von Fachleuten aus den Bereichen Sägeindustrie, Holzbau und Holzbauplanung [Anhang A2: Liste der befragten Fachleute] wurden die Maßhaltigkeit, die Formstabilität, die Steifigkeit, die Festigkeit und die Ästhetik der Oberfläche von Massivholz und Holzwerkstoffen als besonders wichtig für ein Haus mit höchstem Wärmeschutz, angenehmem Wohnklima, beständigem Wohnwert und zukunftsweisendem Wohnkomfort ermittelt. Diese Kriterien haben in unterschiedlichem Maße Eingang in die nationale und europäische Normung und in die Handelsgebräuche gefunden.

In den vier wichtigsten Systemen des Holzbaus [HAF 2004], dem Rahmenbau, dem Tafelbau, dem Skelettbau und dem Massivbau wird der Baustoff Holz mit zahlreichen verschiedenen Abmessungen eingesetzt (Abb. 14. 30). Es lassen sich dabei zwei grundsätzlich verschiedene Gruppen von Baustoffteilen unterscheiden. Zum einen die hochkant belasteten Kanthölzer und Träger und zum anderen die flachkant belasteten Bretter und Brettbauteile. In den Normen und bauaufsichtlichen Zulassungen kommen die unterschiedlichen Anforderungen an die beiden Gruppen von Baustoffteilen durch die getrennte Einstufung zum Ausdruck. Sortierkriterien werden meist für Kanthölzer und Bretter getrennt angegeben [DIN 1052, DIN 4074, EC 5, EN 14081]. Die beiden Gruppen von Baustoffteilen werden daher auch in dieser Arbeit getrennt bearbeitet.

5.1 Kanthölzer und Träger

Kanthölzer und Träger werden nach verschiedenen Normen und Gebräuchen hergestellt und verwendet. Dabei sind die Anforderungen vom Bauholz für Zimmerarbeiten bis hin zum Brettschichtholz zunehmend differenzierter, wie folgender Abschnitt zeigt (Anhang A3). Dies ermöglicht es mitunter die unterschiedlichen Qualitäten an Schnittholz aus Starkholz der jeweils besten Verwendung zuzuordnen.

5.1.1 Bauholz für Zimmerarbeiten

Die Mindestanforderungen für die Güte von Bauholz für Zimmerarbeiten sind in [DIN 68365] geregelt. Diese Norm entspricht in weiten Teilen den "Tegernseer Gebräuchen". Die "Tegernseer Gebräuche" [Becker 1985], [Muggenthaler 1986] sind ein alter Handelsbrauch für den süddeutschen Raum und betreffen hauptsächlich Nadelschnitthölzer. Die Norm legt für Kanthölzer nur zwei Güteklassen fest. Es wird in Normalklasse und Sonderklasse unterschieden (Anhang A3). Besonders in den Bereichen Maßhaltigkeit und Tragfähigkeit werden kaum Begrenzungen für die Merkmale festgelegt. Äste sind entweder zulässig oder nicht zulässig, unabhängig von ihrer Größe. Andere Merkmale wie Risse sind in "geringem Maße" zulässig. Es wird keine genauere Definition gegeben. Hier bleibt der Auslegung sehr viel Raum. Die Norm ist damit auf die Beziehung zwischen örtlichem Säger und Zimmerer abgestellt, die sich in direkter Verhandlung über die Qualität der Kanthölzer einigen.

Vor allem wegen der fehlenden Begrenzungen für Ästigkeit dürfen Kanthölzer, die nur nach [DIN 68365] sortiert sind, nicht für tragende Zwecke eingesetzt werden (Art. 19 Abs. 2 [BayBO 1997]), [Bauregelliste A/B/C:2006], [DIN 18334:2006 VOB/C - ATV]. Setzt der Zimmerer die Kanthölzer trotzdem ein, so tut er dies auf eigene Verantwortung. Eine entsprechende Norm auf europäischer Ebene liegt derzeit nicht vor. **Damit sind Kanthölzer, die nur nach [DIN 68365] sortiert sind, vom Handel insbesondere vom Export als Bauprodukte für tragende Zwecke ausgeschlossen.**

Kanthölzer nach [DIN 68365] mit großen Ästen, wie sie im Zopfbereich[4] von starken Stämmen vorkommen, können jedoch im nicht tragenden Bereich zum Beispiel als Pfettenbalken, die auf ganzer Länge auf einer Mauer aufliegen, eingesetzt werden [DIN 18334:2006 VOB/C - ATV]. In südeuropäischen Ländern werden überdimensionierte Stammteile, die nur konisch gefräst sind, in Dachstühlen eingesetzt [BDD 2007]. Hierfür würden sich Hölzer der Sonderklasse nach [DIN 68365] eignen. Diese Nischenprodukte nehmen aber nur geringe Mengen an Schnittholz aus Starkholz auf.

5.1.2 Konstruktionsvollholz

Konstruktionsvollhölzer[5] (KVH) sind Kanthölzer, die nicht mehr nach [DIN 86365] sortiert werden, sondern nach [DIN 4074]. Da die Sortierung nach [DIN 4074] in der [Bauregelliste A/B/C:2006] eingetragen ist, sind Konstruk-

[4] Zopfbereich: letzter Sägebloch am Ende des Stammes

[5] KVH® nach Überwachungsgemeinschaft KVH e. V. und Bund Deutscher Zimmerleute; www.kvh.de

tionsvollhölzer nach [BayBO 1997] für den Einsatz im tragenden Bereich zugelassen.

KVH wird ebenfalls in zwei Qualitäten hergestellt. Die Oberfläche der ersten Sortierklasse ist für sichtbare Verwendungen geeignet, die der zweiten Sortierklasse ist nicht für sichtbare Verwendungen geeignet und wird in der Regel verkleidet (Holzrahmen- und -tafelbau).

Ein wesentlicher Unterschied zum Bauholz für Zimmerarbeiten nach [DIN 86365] ist die niedrigere Holzfeuchte (u = 15 % +/- 3 %) mit der das KVH geliefert wird (Anhang A3). Damit schwindet KVH deutlich weniger nach dem Einbau und ist deshalb formstabiler als Bauholz für Zimmerarbeiten.

KVH muss mindestens herzgetrennt[6] oder herzfrei eingeschnitten werden (Abb. 14. 31). Will man ein Kantholz mit einer Breite b und einer Höhe h markgetrennt oder markfrei einschneiden, so benötigt man einen deutlich größeren Stammdurchmesser als bei einstieligem Einschnitt. Die hohe Qualität des KVH kann für Balken die größer als 120 x 240 mm² sind, nur mit starkem Stammholz erreicht werden. Durch den kernfreien Einschnitt wird nicht nur die Markröhre entfernt, sondern auch ein großer Teil des jugendlichen Holzes (etwa 15 Jahrringe ums Mark). Schnittholz aus jugendlichem Holz neigt zu starker Verdrehung [Gorisek 2005], hat nur geringe Rohdichte und sehr kurze Fasern [Teischinger 2005 u. 2006].

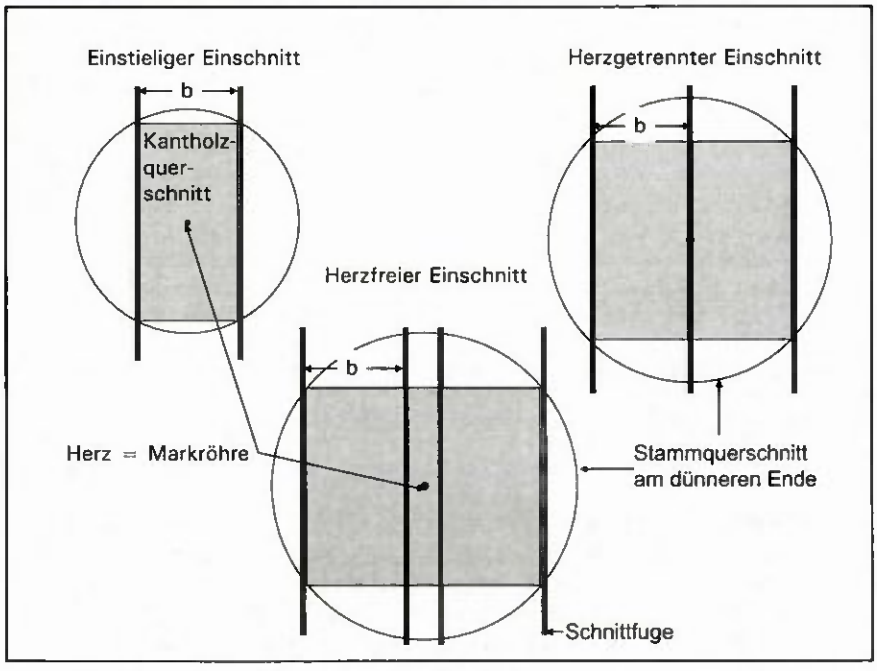


Abb. 14. 31: Einstieliger, herzgetrennter und herzfreier Einschnitt von Kantholz

Herzgetrenntes oder herzfreies Schnittholz ist deutlich formstabiler und rissärmer als einstielig eingeschnittenes Kantholz (Abb. 14. 32).

Die Querschnittsmaße müssen bei KVH der DIN EN 336 und dort der strengeren Maßhaltigkeitsklasse 2 entsprechen. Die Sollmaße bei Schnitthölzern über 100 mm Dicke oder Breite dürfen weder um 1,5 mm über- noch unterschritten werden. Bei Dicken oder Breiten von weniger als 100 mm dürfen die Sollmaße nur um 1 mm über- oder unterschritten werden. Als Bezugsfeuchte gilt 20 %. Um diese Vorgaben zu erreichen, muss das KVH egalisiert oder sogar gehobelt und abgerichtet[7] werden.

[6] herzgetrennt = markgetrennt

[7] abgerichtet: 90° Winkel nicht nur zwischen Breite und Höhe, sondern auch zwischen Länge und Breite und Höhe

Für KVH für sichtbare Verwendung ist die Krümmung auf 4 mm/2lfm begrenzt. Dies ist deutlich weniger als für Bauholz für Zimmerarbeiten (8 mm/2lfm).

KVH kann durch eine Keilzinkenverbindung ([DIN 68140], [EN 385]) in beliebiger Länge hergestellt werden. Aus 4 bis 6 m langen Sägeblochen können Stangen mit 12 m bis 18 m Länge hergestellt werden. Die Verklebung erlaubt keine Anwendung in Nutzungsklasse 3 nach [DIN 1052].

Besonders weitringiges und damit schnell gewachsenes Holz wird durch die Begrenzung der Jahrringbreite auf 6 mm ausgeschlossen. Hier hat langsam gewachsenes starkes Stammholz eindeutige Vorteile gegenüber Schwachholz aus stark durchforsteten Jungbeständen.

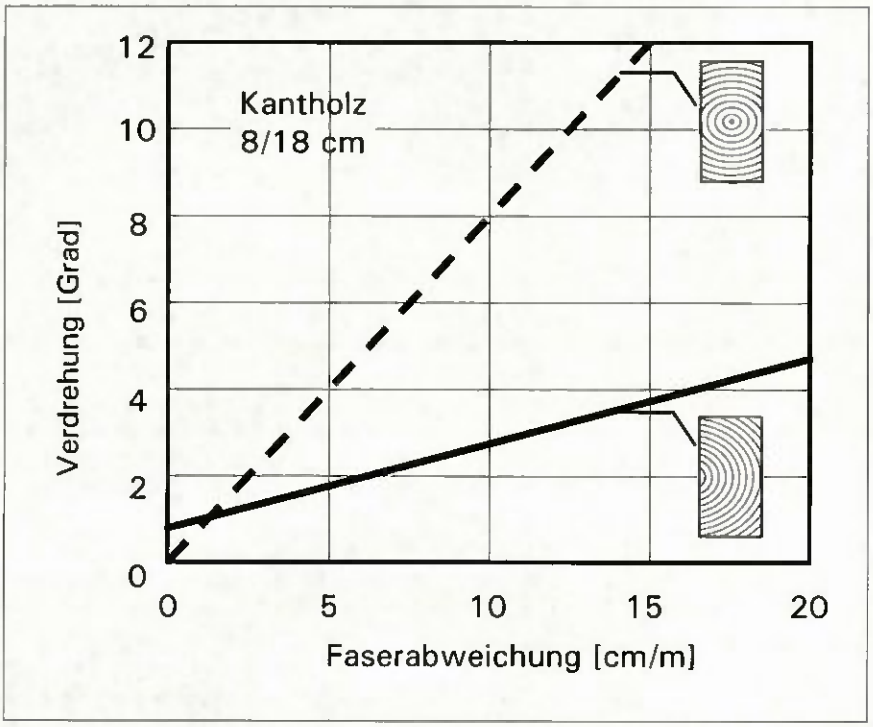


Abb. 14. 32: Verdrehung und Faserabweichung von Schnittholz [Glos 1989], [Glos 1991]

An die Tragfähigkeit werden nur mittlere Anforderungen gestellt. KVH muss die Anforderungen der Sortierklasse S10 nach [DIN 4074] erfüllen und wird daher in die Festigkeitsklasse C24 nach [EN 338] eingestuft. Diese Anforderungen werden von 80 % bis 90 % des Schnittholzes aus durchschnittlichem Stammholz erfüllt. Statistisch gesehen braucht der Sortierer bei visueller Sortierung nur wenige schlechtere Hölzer zu entnehmen und erreicht so den geforderten 90 % Anteil. In einzelnen Chargen kann der Anteil an schlechteren Hölzern jedoch höher sein, was den Sortieraufwand erheblich steigert. Eine maschinelle Sortierung für konventionelles KVH ist besonders dann wirtschaftlicher als eine visuelle Sortierung, wenn die gleiche einfache Entnahme von schlechteren Hölzern schneller, mit geringerer Fehlerquote und zu geringeren Kosten als mit visueller Sortierung erfolgt und eine entsprechend große Menge an Schnitthölzern pro Jahr sortiert wird.

Die höheren Sortier- und damit Festigkeitsklassen, die mit maschineller Sortierung möglich sind, werden bei KVH nicht nachgefragt und sind für die Anwendung im Holztafel- und -rahmenbau auch nicht notwendig. Hier sind vielmehr Hölzer einsetzbar, die eine geringere Festigkeitsklasse aufweisen als C24 nach [DIN 1052] und [EC 5].

In Nordamerika, wo über 80 % der Einfamilienhäuser aus Holz gebaut werden, wird meist eine der 4 niedrigeren Sortierklassen eingesetzt [Sherwood

1989] und [Hugues 1996]. Besonders für die Stützen (Stud) in den Wandelementen werden Hölzer der Klasse "No. 3" eingesetzt, die etwa der Festigkeitsklasse C 14 entspricht. Durch den Einsatz der maschinellen Sortierung können die beiden Festigkeitsklassen C 24 und C 14 einfach und kostengünstig von einander getrennt werden [EN 14081]. Zudem kann mit Hilfe der maschinellen Sortierung eine höhere Rohdichte und ein höherer Elastizitätsmodul erkannt werden, so dass eine erhebliche Zahl von Hölzern, die bei visueller Sortierung aussortiert werden, aufgrund einer hohen Rohdichte und einem hohen Elastizitätsmodul noch mit in die Sortierklasse C14 aufgenommen werden können.

In Abb. 14. 33 ist ein Sortierbeispiel aus einem Starkholzeinschnitt von [Glos 1996] dargestellt, bei dem von insgesamt 909 Schnitthölzern nur die Schnitthölzer mit einer Ästigkeit [DIN 4074] größer als 0,4 und kleiner als 0,7 dargestellt sind. 230 der Schnitthölzer haben eine Ästigkeit nach der sie in die Sortierklasse S7 [DIN 4074] und damit in die Festigkeitsklasse C16[8] [DIN 1052] sortiert werden könnten. Die 5%-Fraktile der Festigkeit dieser 230 Schnitthölzer liegt bei 13,5 N/mm² und damit unter den geforderten 16 N/mm² in C16. 38 Schnitthölzer haben eine Ästigkeit größer als 0,6. Sie müssten daher aussortiert werden.

Die Schnitthölzer lassen sich in zwei Rohdichteklassen aufteilen. Eine Gruppe hat eine Rohdichte (u = 12 %) von weniger als 0,44 kg/cm³ und die andere eine Rohdichte von 0,44 g/cm³ und mehr (Dreiecksymbole). Betrachtet man die S7-Kanthölzer und die Schnitthölzer mit einer Ästigkeit von 0,6 bis 0,7 und einer Rohdichte von 0,44 g/cm³ und mehr zusammen, so erhält man 239 Schnitthölzer. Diese 239 Schnitthölzer haben eine 5%-Fraktile der Festigkeit von 13,7 N/mm², die damit höher ist als die 5%-Fraktile der 230 S7-Kanthölzer. Zudem können durch die zusätzliche Berücksichtigung der Rohdichte 4 % mehr Schnitthölzer in die Festigkeitsklasse C14 aufgenommen werden als bei reiner visueller Sortierung in C16.

Durch die Berücksichtigung der Kanthölzer mit höherer Rohdichte lassen sich zwei Effekte erzielen. Zum einen die Erhöhung der 5%-Fraktile der Festigkeit und zum andern eine Erhöhung der Ausbeute in C14. Damit wird nicht nur die Wirtschaftlichkeit verbessert, sondern auch die Sicherheit erhöht.

Unter den S7-Schnitthölzern befinden sich noch 11 Kanthölzer mit einer Festigkeit unter 14 N/mm². Daher wählt man von den Kanthölzern mit einer Ästigkeit von 0,4 bis 0,7 [DIN 4074] diejenigen aus, die einen Biege-E-Modul (maschinell ermittelt) [Glos 1996] von mehr als 5700 N/mm² aufweisen. So erhält man 239 Kanthölzer mit einer 5%-Fraktile von 14,2 N/mm². Durch die Auswahl nach Biege-E-Modul werden 9 Kanthölzer mit einer Festigkeit von weniger als 14 N/mm² aussortiert (Abb. 14. 34). Die Sortierung nach Biege-E-Modul, der maschinell im Durchlauf ermittelt wurde, erhöht die Sicherheit gegenüber einer reinen visuellen Sortierung erheblich. Zudem wird eine Untergrenze der Steifigkeit der Kanthölzer eingeführt, die bei der Bemessung oft die entscheidende Größe ist. Die erhöhte Sicherheit durch maschinelle Sortierung würde es ermöglichen, Kanthölzer mit größerer Ästigkeit zu Konstruktionsvollholz der Festigkeitsklasse C14 zu verarbeiten und anzuwenden.

[8] E_{0mean}, parallel: 8000 N/mm², Rohdichte ρ_k: 310 kg/m³ sind eingehalten

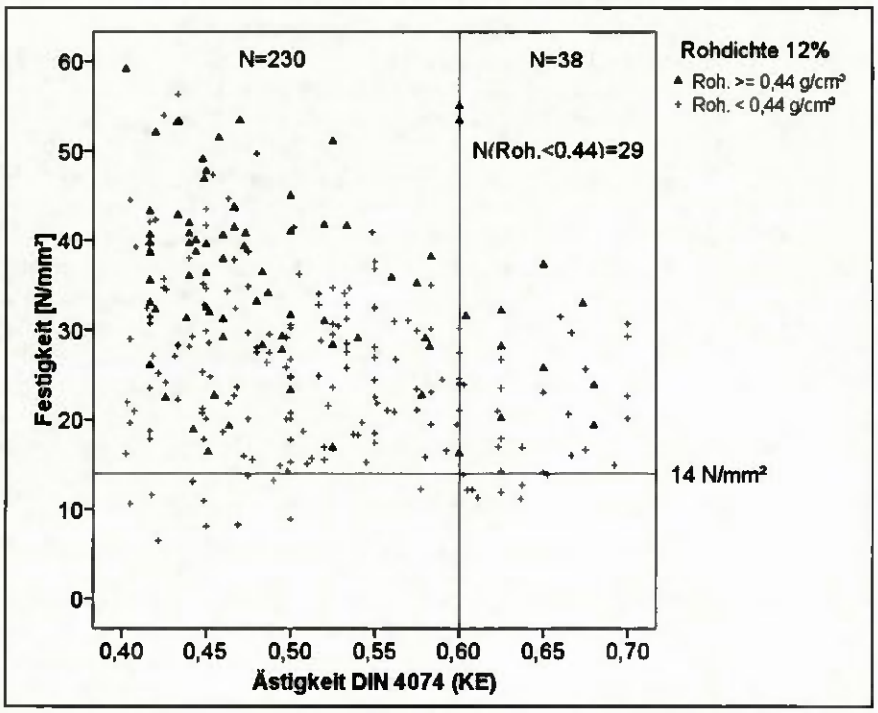


Abb. 14. 33: Erhöhung der 5%-Fraktile und der Ausbeute für die Festigkeitsklasse C14 durch Sortierung nach Ästigkeit **und** Rohdichte. Daten aus [Glos 1996]

Fazit

Konstruktionsvollholz der Festigkeitsklasse C14 wäre für den Holzrahmen- und -tafelbau ein wirtschaftlich interessantes Bauprodukt. Leider ist der Einsatz aufgrund einer fehlenden bauaufsichtlichen Zulassung derzeit nicht möglich. Dieses KVH kann auch in den Export nach Übersee gehen. Die Kanthölzer hierfür könnten kleine Sägewerke aus starkem Stammholz herstellen.

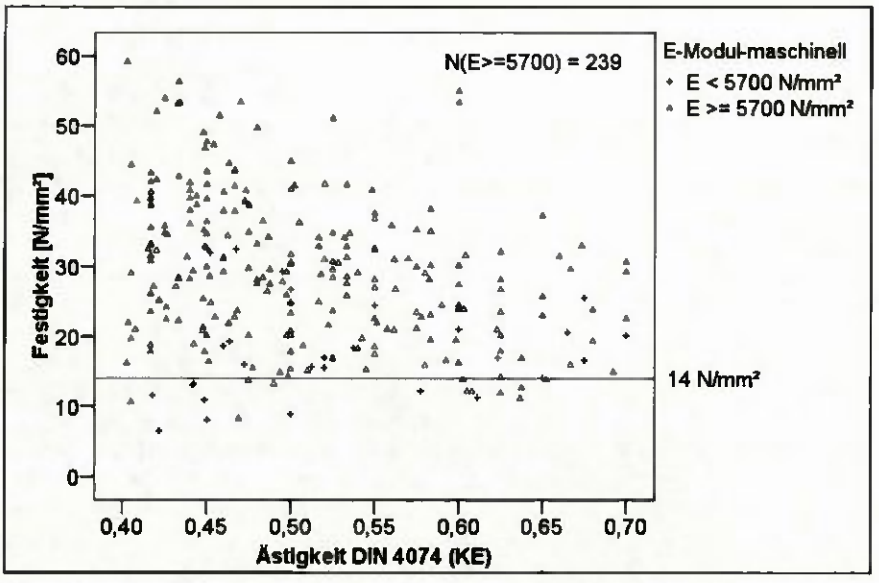


Abb. 14. 34: Erhöhung der 5%-Fraktile für die Festigkeitsklasse C14 durch Sortierung nach Ästigkeit **und** Biege-E-Modul (maschinell). Daten aus [Glos 1996]

5.1.3 Balkenschichtholz

Werden Kanthölzer und Bohlen (Tabelle 1 [DIN 4074]) miteinander hochkant oder flachkant verklebt, so entsteht Balkenschichtholz [DIBt Z-9.1-440]. Die Dicke d und Breite b der Kanthölzer und Bohlen ist auf d <= 8 cm und b <= 28 cm begrenzt. Kerngetrennt eingeschnittene Kanthölzer mit einer

Breite b < = 10 cm dürfen bis zu einer Dicke von 12 cm miteinander verklebt werden. Sind die Balkenschichthölzer gehobelt und gefast, können sie sichtbar verwendet werden. Sind die Balkenschichthölzer nur egalisiert und gefast, werden sie nicht sichtbar verwendet.

Die Kanthölzer und Bohlen für Balkenschichtholz müssen die Anforderungen der Sortierklasse S10 nach [DIN 4074] erfüllen. Kanthölzer wie sie in Abb. 14. 33 und Abb. 14. 34 dargestellt sind, dürfen bisher nicht verwendet werden. Mit der in 3.1.2 beschriebenen maschinellen Sortierung könnten jedoch Kanthölzer und Bohlen der Festigkeitsklasse C14 erzeugt werden, die sehr gut zu Balkenschichtholz verklebt werden könnten. Die Eigenschaften solcher Balkenschichthölzer müssten in der bauaufsichtlichen Zulassung oder in einer Norm noch festgelegt werden.

Die Verklebung hat mehrere Nutzen. Zum einen können die dünneren Kanthölzer und Bohlen schneller und gleichmäßiger getrocknet werden als große Balkenquerschnitte und zum anderen ist die Formstabilität der verklebten Kanthölzer höher und die Anzahl und Größe der Risse niedriger [Glos 1991].

Durch die Verklebung entsteht ein Laminierungseffekt wie in Abschnitt 8.2 Nr. 1 in [Freese 2006] beschrieben. In der Regel werden die Kanthölzer und Bohlen nicht mehr so verklebt, wie sie im Stamm beisammen lagen, sondern versetzt zueinander verklebt. Dadurch treffen Äste in der einen Lamelle auf astfreie Bereiche der benachbarten Lamelle, die deren schwächende Wirkung zum Teil ausgleichen. Dies führt zu einem höheren Elastizitätsmodul, der mit $E_{0,mean,parallel}$ = 11600 N/mm² bei der Bemessung angesetzt werden darf [DIBt Z-9.1-440]. Dieser ist um etwa 5 % höher als bei Konstruktionsvollholz.

Werden drei statt zwei Kanthölzer oder Bohlen miteinander verklebt, ist der Laminierungseffekt zwar größer, aber die einzelnen Kanthölzer und Bohlen müssen bei gleicher Breite des Balkenschichtholzes deutlich kleinere Äste haben, um die Anforderung für S10 nach [DIN 4074] zu erfüllen. Daher werden in der Praxis häufig Balkenschichthölzer aus zwei Lamellen hergestellt. Bei Balkenschichtholzquerschnitten von 140 x 260 mm² und mehr können Schnitthölzer aus starkem Stammholz vorteilhaft eingesetzt werden.

5.1.4 Brettschichtholz

Werden 4 und mehr Kanthölzer, Bohlen oder Bretter mit einer Dicke von weniger als 45 mm[9] und einer Querschnittsfläche bis 12000 mm² miteinander verklebt, so entsteht Brettschichtholz nach [EN 1194] und [EN 386]. Es wird horizontal und vertikal laminiertes Brettschichtholz unterschieden. Für vertikal laminiertes Brettschichtholz resultieren noch höhere Anforderungen an die hochkant eingesetzten Schnitthölzer als für Balkenschichtholz. Hierfür müssten spezielle Schnitthölzer aus höherwertigeren Starkhölzern verwendet werden.

Brettschichtholz kann im Gegensatz zu Balkenschichtholz auch inhomogen aufgebaut werden [DIN 1052] und [EN 1194]. Es können im äußeren sechstel der Balken hochwertige Lamellen und im Inneren geringwertige Lamellen verwendet werden, ohne dass die Festigkeit der Träger abgemindert werden muss. Dies bedeutet einen wirtschaftlichen Vorteil für das Brettschichtholz gegenüber Balkenschichtholz. Andererseits müssen bei kleinen Trägerquerschnitten bei Brettschichtholz 4 und nur 3 Teile beim Balkenschichtholz verklebt werden. Dies bedeutet bei einfacher Stangenware einen wirtschaftlichen Vorteil für Balkenschichtholz. Bei größeren Trägerquerschnitten (ab etwa 120 x 240 mm²) des Balkenschichtholzes wird der Lamellenquerschnitt so groß, dass die Formstabilität und Rissbildung kritische Werte annimmt. Ab diesen Trägerquerschnitten ist das Brettschichtholz dem Balkenschichtholz überlegen.

[9] Gilt nur für die Nutzungsklassen 1 und 2, in Nutzungsklasse 3 sind nur Bretter bis 35 mm Dicke zulässig: Tabelle 3 [EN 386]

Werden die Trägerquerschnitte schlanker und höher, so können bei Brettschichtholz in den stärker belasteten Druck- und Zugbereichen (äußeres Sechstel) Lamellen mit besonders hoher Tragfähigkeit eingesetzt werden [EN 1194]. Diese Lamellen werden durch maschinelle Sortierung gewonnen und weisen eine hohe Rohdichte, eine geringe Ästigkeit und einen hohen Elastizitätsmodul auf.

Da bei herkömmlichem Brettschichtholz eine Keilzinkenverbindung in der Zugzone des Trägers zur kritischen Stelle werden kann, sind in Tabelle H.1 in [DIN 1052] Mindestwerte der charakteristischen Biegefestigkeit $f_{m,k}$ für die Keilzinkenverbindung gefordert, die mindestens 5 N/mm² über den charakteristischen Biegefestigkeiten der Lamellen liegen. Dies erfordert eine besonders gewissenhafte Verarbeitung der Keilzinkenverbindung und den Einsatz von Lamellen mit einer Mindestrohdichte ρ_k. Diese Mindestwerte muss der Hersteller durch eine werkseigene Produktionskontrolle und eine Fremdüberwachung nachweisen. Aufgrund dieser Anforderung können Lamellen mit hoher Tragfähigkeit, aber nur geringer Rohdichte nicht eingesetzt werden.

Brettschichtholz wird nicht nur in den Qualitäten "verdeckt" und "sichtbar" hergestellt, sondern auch in "Auslesequalität". Für diese Qualität sind strengere Anforderungen für Äste, Risse, Harzgallen, Druckholz, Verfärbungen und Insektenbefall festgelegt (Anhang A3).

Fazit

Betrachtet man die 4 verschiedenen Produktgruppen "Bauholz für Zimmerarbeiten", "Konstruktionsvollholz", "Balkenschichtholz" und "Brettschichtholz", so werden in der gleichen Reihenfolge ansteigende Anforderungen an die Schnitthölzer gestellt (Anhang A3) und die Produktgruppen sind zunehmend differenzierter in der Qualität. Dies ermöglicht eine differenziertere Ausnutzung des Potentials von Schnittholz aus Starkholz.

5.2 Bretter und Brettbauteile

Bretter und Brettbauteile werden meist flachkant für nicht tragende aber auch für tragende Zwecke eingesetzt. Die nicht tragenden Bretter dienen in der Regel der dekorativen Verschalung oder dem Witterungsschutz einer tragenden Grundkonstruktion. Die tragend eingesetzten Brettbauteile (z. B. Brettsperrholz) werden zunehmend auch für sichtbare Zwecke eingesetzt [Finnforest Merk 2006], [Binder 2007], [KLH 2006], [DIBt Z-9.1-482], [HMS 2006], [Lignotrend 2006], [DIBt Z-9.1-555], [Brettstapel 2006] [DIBt Z-9.1-574]. Die Anforderungen an die Oberflächenqualität für Massivholzplatten beinhaltet die [EN 13017].

5.2.1 Bauholz für Zimmerarbeiten

5.2.1.1 Inländische Anforderungen

In Deutschland werden Bretter und Bohlen (flachkant) fast ausschließlich nach DIN 4074 oder nach DIN 68365 sortiert.

Bretter und Bohlen werden nach [DIN 68365] in sägerauhem oder gehobeltem Zustand sortiert. Für sägerauhe Bretter sind 5 Klassen und für gehobelte Bretter 3 Klassen vorgesehen (Anhang A3). Die Holzfeuchte wird mit 20 % bis 35 % angegeben. Der Einschnitt ist nicht festgelegt. Festlegungen zur Formstabilität und Maßhaltigkeit sind kaum vorhanden. Die Anforderungen an Äste, Risse, Verfärbungen, Druckholz, Harzgallen, Insektenbefall und Rindeneinschluss sind entsprechend den Sortierklassen festgelegt. Besonders für "gesunde"[10] (fest verwachsen, nicht zersetzt) und "lose" Äste sind absolute maximale Durchmesser und eine Höchstzahl an "losen" Ästen vorgegeben.

[10] biologisch gesehen sind alle Äste in einem Brett tot. Sie können daher weder gesund noch krank sein.

Leider ist der Begriff "loser" Ast nicht ausreichend definiert. Mit "losen" Ästen können lockere Äste gemeint sein, die zwar noch im Brett stecken, sich aber nach dem Trocknen und Hobeln sehr wahrscheinlich lösen und herausfallen werden, oder es sind alle Äste gemeint, die sich an der Oberfläche als schwarzumrandete dunkelbraune Äste zeigen, wodurch sie den optisch-ästhetischen Eindruck stören. Der "lose" Ast könnte aber auch ein toter Ast nach [EN 844-9] sein.

Ein Flügelast nach [EN 844-9] ist zum Teil fest verwachsen und zum Teil lose. Nach [EN 844-9] wird dieser Ast als teilweise verwachsener Ast bezeichnet. Wird ein Ast wie ein Schmalseitenast angeschnitten, so kann er auf der einen Seite fest verwachsen und auf der Schmalseite lose sein. Ein solcher Schmalseitenast bleibt aber auch nach dem Trocknen und Hobeln mit dem Brett verbunden. Er tritt auf der Schmalseite als schwarzumrandeter dunkelbrauner Ast hervor. Nach [EN 844-9] wird ein solcher Ast getrennt nach beiden Seiten bewertet.

Bei der Bewertung der Äste nach [DIN 68365] wird die Kiefer von der Fichte, Douglasie und Tanne unterschieden, da sie die toten Äste schneller verliert [Knigge 1966] und im Mittel größere Äste hat [Moberg 2006].

Die Brettsortierung in [DIN 68365] ist gegenüber der Kantholzsortierung deutlich differenzierter, lässt aber wichtige Bereiche noch offen. Vor allem werden Äste unabhängig von ihrer Lage im Brett beurteilt. Diese spielt aber für die Tragfähigkeit eines Brettes eine besondere Rolle. Daher ist eine Sortierung nach der Tragfähigkeit nur nach [DIN 4074] möglich.

Die Astdurchmesser ($a > 5\,mm$) werden bei Brettern nach DIN 4074 kantenparallel gemessen. Die Summe der Durchmesser eines Astes bezogen auf die doppelte Brettbreite ergibt dessen Ästigkeit. Diese Zuordnung bedeutet in der Praxis einen besonderen Sortieraufwand, da das Brett mitunter mehrmals gewendet werden muss. Astdurchmesser von Ästen in Astansammlungen in einem Brettbereich von 150 mm Länge werden alle aufsummiert und ergeben auf die doppelte Brettbreite bezogen die Ästigkeit für Astansammlungen. Die Ästigkeiten von Einzelästen und von Astansammlungen werden getrennt bewertet. Die größere Ästigkeit ist für die Einstufung des Brettes maßgebend. Man könnte beide Kriterien zusammenführen, indem man einen 150-mm-Bereich über das Brett laufen lässt und alle Astoberflächen in diesem Bereich getrennt vermisst, aufsummiert und nur die größte Summe bewertet.

Bretter mit ausgeprägten Flügelästen [EN 844-9] werden nach [DIN 4074] meist in die Sortierklasse S7 abgestuft. Solche Bretter werden derzeit nicht in Brettschichtholz oder Balkenschichtholz verwendet, obwohl sie in den Innenlagen vollkommen ausreichend wären. Diese Regelung betrifft besonders markgetrennt eingeschnittene Bretter aus Stammabschnitten aus dem Kronenbereich mit seinen größeren Ästen.

Ein wesentlicher Unterschied zwischen DIN 4074 und DIN 68365 ist die Berücksichtigung der Äste. Die DIN 68365 berücksichtigt nicht nur die Zahl der Äste je lfm, sondern auch die Art wie die Äste mit dem umgebenden Holz verbunden sind (z. B. fest verwachsen, lose, rindenumrandet) und welchen Zustand (z. B. Farbe, Fäule) sie haben. Die DIN 4074 begrenzt nur indirekt die Anzahl der Äste in einer Astansammlung und lässt den Zustand der Äste unberücksichtigt. Nach DIN 68365 wird der größte und der kleinste Durchmesser eines Astes in einem Brett gemessen und bewertet, während nach DIN 4074 nur der kantenparallele Durchmesser ermittelt wird. Nach DIN 68365 wird der Verlauf eines Astes im Brett nicht berücksichtigt, während die DIN 4074 die sichtbaren Durchmesser eines Astes auf allen Seiten aufsummiert.

Ursache für diese Unterschiede ist der verschiedene Anwendungsbereich der Bretter, die nach DIN 4074 und nach DIN 68365 sortiert werden. Die Bretter, die nach DIN 4074 sortiert sind, werden für tragende Zwecke, meist als

Brettschichtholzlamellen verwendet, während die Bretter, die nach DIN 68365 sortiert sind, für nicht tragende Schalungen eingesetzt werden, bei denen der optische Eindruck der Oberfläche entscheidend ist.

5.2.1.2 Anforderungen an nordische Ware

Nordische Ware wird in großen Mengen auf dem deutschen Markt angeboten. Die hohe Qualität dieser Schnitthölzer stellt immer wieder eine Herausforderung für einheimisches Schnittholz dar.

Der Begriff "nordische Ware" ist bei [Schumacher 1993] ausführlich beschrieben. Es handelt sich dabei um Schnittholz aus Fichte (Norway spruce) und Kiefer (Scotts pine) aus Norwegen, Schweden, Finnland, den baltischen Republiken und aus Russland (Archangelsk, Murmansk). Das Schnittholz wird nach einheitlichen Regeln sägerauh sortiert [Nordisches Holz 1994]. Die Sortierregeln umfassen 80 Seiten Text, Tabellen und Bilder. Der Umfang der nordischen Regeln bedeutet daher im Zweifelsfall einen sehr hohen Sortieraufwand. Die "Tegernseer Gebräuche" und die [DIN 68365] mit den 5 Seiten sind demgegenüber deutlich kürzer und leicht anwendbar gehalten, aber auch weniger genau und sehr weit auslegbar.

Vor allem sind die Anforderungen an die Holzfeuchte, die Maßhaltigkeit und die Formstabilität bei der nordischen Sortierregel besonders hoch (Anhang A3). Die Bezugsfeuchte ist immer 20 % und die Holzfeuchte muss kleiner als 24 % sein.

Die Anforderungen sind je nach Seite des Schnittholzes unterschiedlich. Es wird zwischen Schmal- und Breitseite und diese in Kern- und Splintseite unterschieden. Die Schnitthölzer sind in der Regel Kanthölzer (scantlings) oder Bohlen (battens) mit Standarddicke und -breite. Der zweistielige Einschnitt ist mindestens herz-(mark-)getrennt oder herz-(mark-)frei. Die Kanthölzer werden in den Hobelwerken mit dünnen Trennbandsägen zu Brettern aufgetrennt (cleft boards) und gehobelt.

Die Äste werden wegen ihrer besonderen Bedeutung für den optisch-ästhetischen Eindruck sehr differenziert behandelt. Es werden "gesunde" und "tote" Äste sowie rindenumrandete und faule Äste und Astansammlungen unterschieden. Astansammlungen werden sogar geschätzt, wenn die einzelnen fest verwachsenen Äste eines Astquirls und die gefaderten Jahrringe wie die Blätter einer Blume angeordnet sind. Die Zahl und der Durchmesser der erlaubten "toten" [EN 844-9], rindenumrandeten und faulen Äste ist deutlich geringer als die der "gesunden" (fest verwachsenen) Äste. Sie stören nicht nur den optischen Eindruck, sondern fallen beim Hobeln oder im verbauten Zustand aus der Schalung und hinterlassen ein Loch. Dies gilt besonders für "tote" Äste auf der Schmalseite.

Die erlaubten Durchmesser der fest verwachsenen Äste nehmen mit der Holzdicke und mit der Holzbreite zu. Dies gilt für alle Sorten. In Sorte B sind zum Beispiel für Bohlen mit 63 mm Holzdicke und 200 mm Holzbreite 5 Äste mit bis zu 60 mm Durchmesser auf dem schlechtesten Laufmeter zulässig, während bei Brettern mit 25 mm Holzdicke und 115 mm Holzbreite nur 5 Äste mit einem Durchmesser von maximal 35 mm zulässig sind. Solche Äste kommen bei Fichten hauptsächlich im Kronenbereich von starken Bäumen vor [Reiter 2005].

Die zulässigen Durchmesser der toten Äste auf der Schmalseite sind deutlich kleiner als die zulässigen Durchmesser der fest verwachsenen Äste auf der Breitseite (Abb. 14. 35). Da die "toten" Äste eines Baumes nur wenig dünner sind als die fest verwachsenen Äste, sind hauptsächlich die Durchmesser der "toten" Äste auf der Schmalseite für die Einstufung des Schnittholzes in die jeweilige Sortierklasse maßgebend [Schumacher 1993].

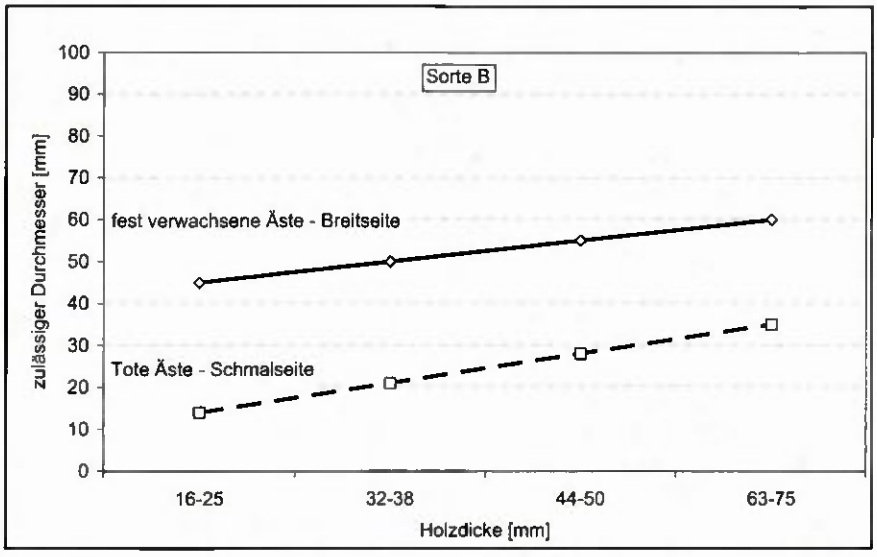


Abb. 14. 35: Zulässige Astdurchmesser von fest verwachsenen Ästen auf der Breitseite und von toten Ästen auf der Schmalseite für verschiedene Schnittholzdicken und der Schnittholzbreite 225 mm für die Sorte B [Nordisches Holz 1994]

Vergleicht man die zulässigen Astdurchmesser der Sorten A4 und B nach [Nordisches Holz 1994] mit den zulässigen Astdurchmessern der Sortierklasse S10 nach [DIN 4074] für Kanthölzer mit gleicher Schnittholzdicke (Abb. 14. 36), so wird deutlich, dass die Sortierung nach [DIN 4074] strenger ist als die Sortierung nach [Nordisches Holz 1994]. Nur für die Dicke 63-75 mm sind die zulässigen Astdurchmesser der Sorte A4 kleiner als nach [DIN 4074].

Zieht man mit in Betracht, dass die Durchmesser der Äste auf der Schmalseite nach [Nordisches Holz 1994] kantenparallel gemessen werden, während die Durchmesser nach [DIN 4074] für Kantholz am kleinsten Durchmesser der Äste ermittelt werden, so sind die Sorte A4 und die Sortierklasse S10 in einem Holzdickenbereich von 30 bis 50 mm (Balkenschichtholzlamellen) miteinander vergleichbar. Dies zeigt einmal mehr die hohen Anforderungen an Balkenschichtholzlamellen.

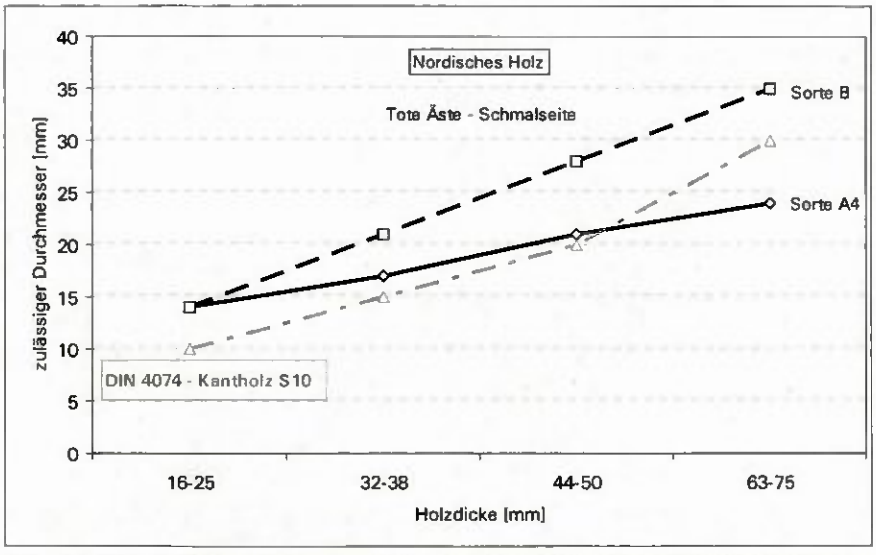


Abb. 14. 36: Zulässige Astdurchmesser von toten Ästen auf der Schmalseite für verschiedene Schnittholzdicken für die Sorten A4 und B [Nordisches Holz 1994] im Vergleich mit den zulässigen Astdurchmessern nach [DIN 4074] Kantholz S10

Vergleicht man nun die zulässigen Durchmesser der Äste auf der Breitseite der Sorte B nach [Nordisches Holz 1994] mit denen der [DIN 4074] der Sortierklasse S10 miteinander, so sind die Grenzwerte nach [DIN 4074] für schmale Bretter mit 75 bis 115 mm Breite kleiner als für [Nordisches Holz 1994], für Bretter mit 120 bis 160 mm Breite etwa gleich und für Bretter mit mehr als 160 mm Breite größer als für [Nordisches Holz 1994].

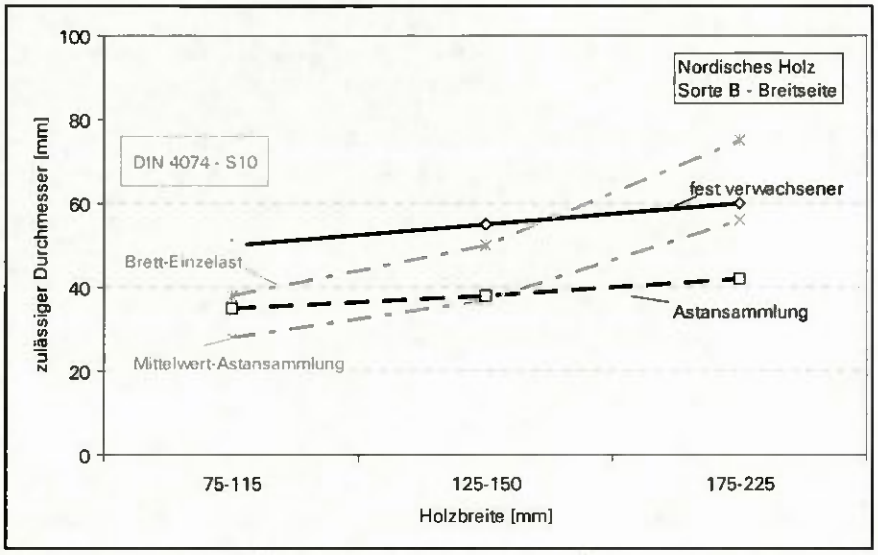


Abb. 14. 37: Zulässige Astdurchmesser von einzelnen Ästen und Astansammlungen auf der Breitseite für verschiedene Schnittholzdicken für die Sorte B [Nordisches Holz 1994] im Vergleich mit den zulässigen Astdurchmessern nach [DIN 4074] S10 Brett-Einzelast und Astansammlung (4 Äste)

Dies gilt sowohl für die Durchmesser der einzelnen Äste wie für die mittleren Astdurchmesser der Astansammlungen[11].

Für mittlere Breiten von Brettschichtholzlamellen (120 bis 160 mm) sind die Bretter nach [DIN 4074] S 10 und die Bretter nach [Nordisches Holz 1994] Sorte B miteinander vergleichbar. Ein Balken mit 120 x 240 mm² könnte mit 6 oder 7 Lamellen der Sorte B nach [Nordisches Holz 1994] als Brettschichtholz (GL24) oder mit 3 Lamellen der Sorte A4 als Balkenschichtholz aufgebaut werden. Brettschichtholz stellt demnach in diesem Bereich gemessen an den Sortierregeln [Nordisches Holz 1994] geringere Anforderungen an die Lamellen als Balkenschichtholz. Dabei wird gleichzeitig ein Produkt mit höherer Tragfähigkeit hergestellt.

5.2.1.3 Europäische Anforderungen

Schnittholz für tragende Zwecke wird nach europäischen Regeln in Festigkeitsklassen eingeteilt (EC 5) und [DIN 1052]. Diesen Festigkeitsklassen sind Sortierklassen der einzelnen Ländersortierungen zugeordnet. Für Deutschland sind dies die Sortierklassen nach [DIN 4074]. Beispielsweise ist Schnittholz der Sortierklasse S10 der Festigkeitsklasse C24 zugeordnet.

Die derzeit aktuellste und jüngste Sortierung von Brettern nach dem Aussehen ist die europäische Sortierung nach [EN 1611] von 2002. Sie bietet die Möglichkeit Schnittholz nach zwei Verfahren zu sortieren. Entweder es wird nach allen vier Seiten oder nach den 2 Breitseiten sortiert. Nur für Äste gibt es unterschiedliche Grenzwerte je nach Verfahren. Für alle anderen Merkmale gelten die gleichen Grenzwerte, ob sie nun auf der Breitseite oder auf der Schmalseite auftreten.

Es werden 4 verschiedene Arten von Ästen unterschieden. Die Definition der Asttypen findet sich in [EN 844-9] und gemessen werden die Äste gemäß

[11] Summe der Astdurchmesser / Anzahl der Äste (hier 4 Äste) = mittlerer Astdurchmesser

[EN 1310]. Die Asttypen nach [EN 1611] sind den Asttypen nach [Nordisches Holz 1994] sehr ähnlich. Es gibt "gesunde", "tote", schwarz umrandete (rindenumrandete) und faule (lose) Äste. Besonders nachteilig werden schwarz umrandete und faule Äste bewertet. Sie dürfen in den höherwertigen Sortierklassen gar nicht vorkommen. In allen Sortierklassen sind verwachsene oder "tote" Äste zulässig.

Die Zahl der Äste je schlechtesten Meter des jeweiligen Asttyps ist ebenfalls begrenzt. Das Kriterium Anzahl der Äste beschränkt auch die Zahl der Flügeläste. Astansammlungen werden nicht gesondert bewertet.

Die Sortierung nach vier Seiten unterscheidet sich von der Sortierung nach den 2 Breitseiten nur durch die Grenzwerte für Äste auf der Schmalseite. Die Grenzwerte auf der Breitseite sind für beide Verfahren gleich.

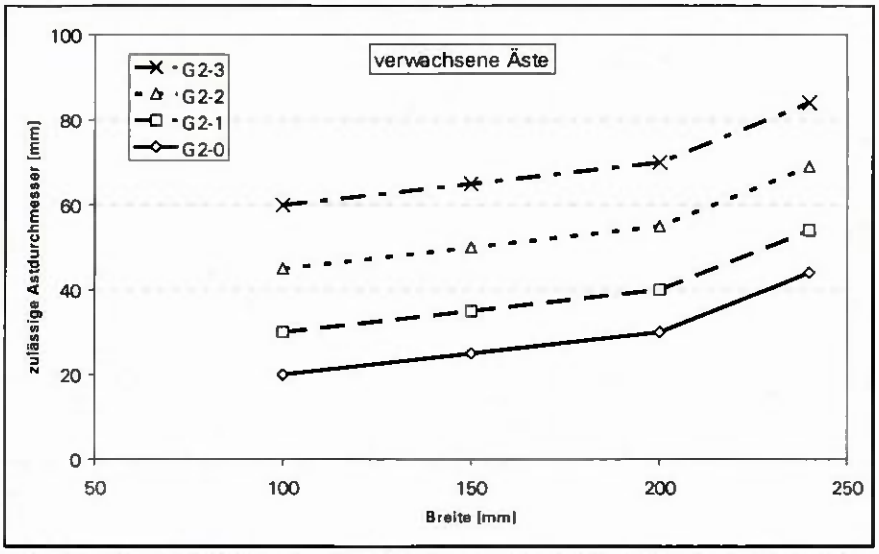


Abb. 14. 38: Zulässige Astdurchmesser für verwachsene Äste auf der Breitseite nach [EN 1611]. Sortierklasse G2-4 ist nicht dargestellt.

Die Grenzwerte für die zulässigen Astdurchmesser in [EN 1611] sind als Anteil von der Breite oder Dicke des Schnittholzes und einem von der Sortierklasse abhängigen Festwert angegeben (z. B. 10 % von der Breite plus 35 mm für die Sortierklasse G2-2).

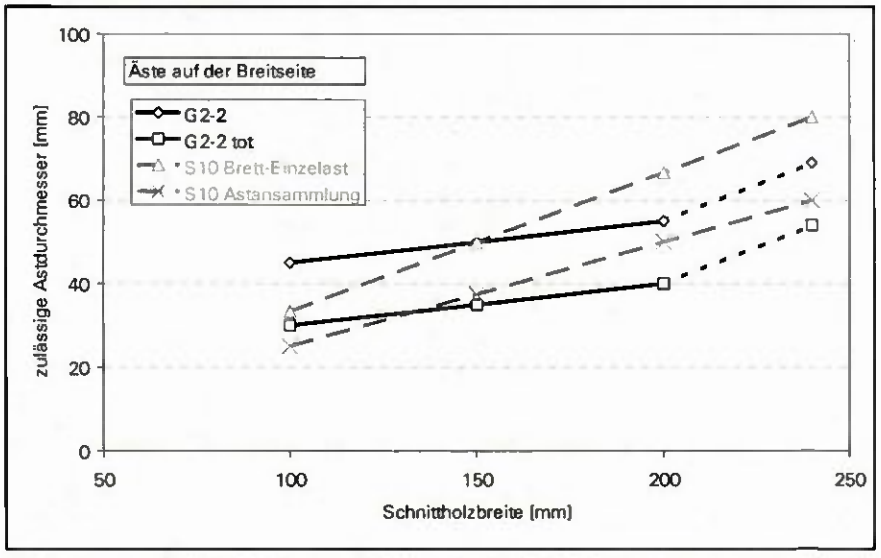


Abb. 14. 39: Zulässige Astdurchmesser der Sortierklasse G2-2 für verwachsene und tote Äste auf der Breitseite nach [EN 1611] und zulässige Astdurchmesser der Sortierklasse S10 nach [DIN 4074] für Einzeläste und Astansammlungen (4 Äste).

Bei verschiedenen Breiten entstehen die Grenzwerte wie sie in Abb. 14. 38 dargestellt sind. Die Grenzwerte der Klasse G2-2 nach [EN 1611] und die Grenzwerte der Sorte B nach [Nordisches Holz 1994] (Abb. 14. 37) sind ähnlich. Gleiches gilt auch für Bretter mit einer Breite von etwa 150 mm der Sortierklasse S10 nach [DIN 4074] (Abb. 14. 39).

Bei Brettern mit Breiten über 160 mm, die nach [DIN 4074] sortiert werden, darf der Durchmesser des Einzelastes größer sein als bei Brettern, die nach [EN 1611] sortiert werden.

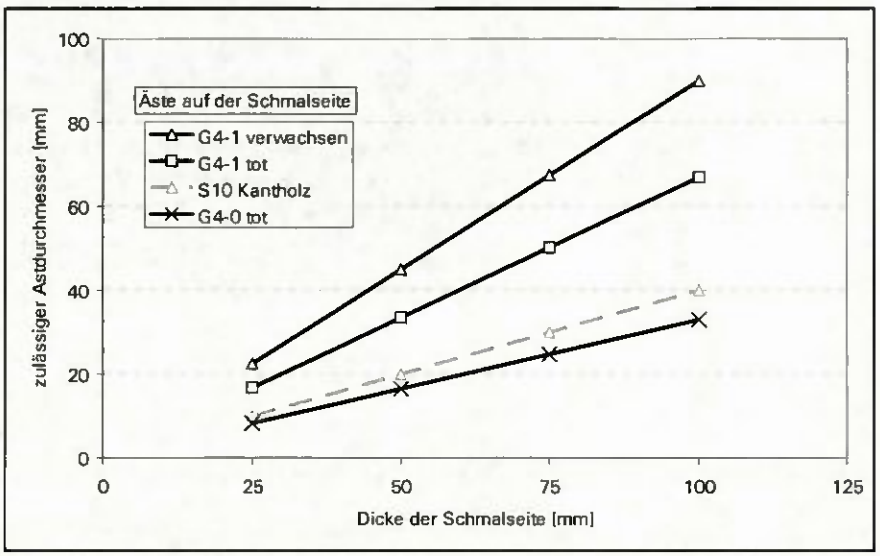


Abb. 14. 40: Zulässige Astdurchmesser der Sortierklasse G4-0 und G4-1 für verwachsene und tote Äste auf der Schmalseite nach [EN 1611] und zulässige Astdurchmesser der Sortierklasse S10 nach [DIN 4074] für Schnittholz (hochkant).

Eine volle Vergleichbarkeit wird allein durch die unterschiedliche Messung der Astdurchmesser in [EN 1310] und [DIN 4074] verhindert. Nach [EN 1310] wird auf der Breitseite der Mittelwert des größten und kleinsten Durchmessers bewertet, während auf der Schmalseite der kantenparallele Durchmesser bewertet wird. Nach [DIN 4074] wird bei Brettern (flachkant) der kantenparallele Durchmesser bewertet und bei Schnittholz (hochkant) wird der kleinste Durchmesser auf der Schmalseite bewertet.

Setzt man Bretter, Bohlen oder Kanthölzer hochkant für tragende Zwecke ein, so sind sie nach dem Kantholz-Kriterium der [DIN 4074] zu sortieren. Für unterschiedliche Dicke der Schmalseite gelten dann die zulässigen Astdurchmesser der Abb. 14. 40. Auch wenn man in Betracht zieht, dass der kleinste Durchmesser nach [DIN 4074] im Mittel immer kleiner ist als der kantenparallele Durchmesser nach [EN 1611], so sind die Grenzwerte der Sortierklasse G4-1 doch so groß, das die Grenzwerte für S10 nicht erreicht werden können.

Um Schnitthölzer der Sortierklasse S10 zu erhalten, müssen, unabhängig von der Dimension der Schnitthölzer, gemessen an der [EN 1611] sehr hochwertige Schnitthölzer ausgewählt werden. Besonders ausgeprägt ist dies bei hochkant eingesetzten Schnitthölzern.

5.2.2 Brettstapelelemente

Brettstapelelemente sind massive flächige Bauteile, die aus hochkant nebeneinander angeordneten Lamellen mit mechanischen Verbindungsmitteln gebildet werden [Brettstapel 2006]. Eine bauaufsichtliche Zulassung für Brettstapelelemente und eine europäische technische Zulassung [ETA 2007] wird derzeit unter der Federführung des Lehrstuhls für Ingenieurholzbau der Universität Karlsruhe erarbeitet. Die Lamellen, aus Brettern, Bohlen und Kanthölzern müssen gemäß der freiwilligen Gütebestimmungen in [Brettstapel

2006] mindestens der Sortierklasse S10 und MS10 nach [DIN 4074] entsprechen. Ein Teil der Lamellen darf auch S7 oder MS7 sein.

Werden die Brettstapel in Betonverbundkonstruktionen eingesetzt, so müssen die Lamellen nach [DIBt Z-9.1-473] mindestens der Sortierklasse S10 entsprechen. Die Breite der Lamellen ist auf den Bereich von 24 mm bis 50 mm beschränkt. Die Höhe der Lamellen muss mindestens 90 mm und darf höchstens 220 mm sein. Die Lamellen dürfen keilgezinkt sein [DIN 68140-1]. Damit werden an die Lamellen hohe Anforderungen gestellt (Abschnitt 3.2.1).

In Güteklasse "Sichtqualität B" werden von den Brettstapelelementen Längsfugen, Stoßfugen und ein Höhenversatz der Lamellen von maximal 3 mm verlangt, während in Güteklasse "Sichtqualität A" sogar jeweils maximal 2 mm verlangt werden. Industriequalitäten "nicht sichtbar" dürfen Längsfugen, Stoßfugen und einen Höhenversatz der Lamellen von maximal 6 mm aufweisen.

Sind die Lamellen keilgezinkt, so sind keine Stoßfugen vorhanden. Da die Lamellen bei vielen Brettstapelelementen nicht flächig verklebt, sondern über Nägel oder Holzdübel verbunden sind, spielen die Längsfugen- und die Höhenversatzbegrenzungen eine entscheidende Rolle. Diese Begrenzungen können nur durch Einsatz von wenig verformten und zumindest egalisierten Schnitthölzern eingehalten werden.

Sind die Lamellen der Brettstapel verdreht oder die Breitseiten flachkant gekrümmt, so entstehen Längsfugen. Sind die Breitseiten der Lamellen hochkant unterschiedlich gekrümmt, so entsteht ein Höhenversatz der Lamellen.

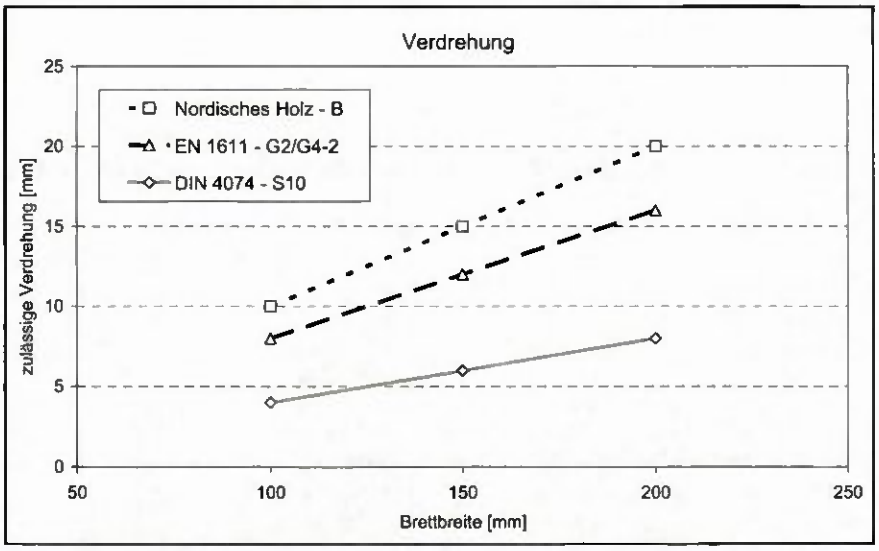


Abb. 14. 41 Zulässige Verdrehung von Brettern (Dicke < = 44 mm) der Sortierklasse S10 nach [DIN 4074], der Sorte G2/G4-2 nach [EN1611] und Sorte B nach [Nordisches Holz 1994] für verschiedene Brettbreiten

Anmerkung: Durch eine Breite der Lamellen von bis zu 80 mm würde die Tragfähigkeit der Brettstapel nicht gemindert. Damit entspräche die Begrenzung der Lamellenbreite der bauaufsichtlichen Zulassung für Balkenschichtholz [DIBt Z-9.1-440] bei dem die Lamellen ebenfalls hochkant eingesetzt werden. Einheimisches Holz wäre folglich wettbewerbsfähiger, da bei gleicher Ästigkeit größere Äste zulässig wären und die Produktion mit den breiteren Lamellen schneller abliefe.

Die Messung der Verformung von Schnittholz erfolgt in den drei Sortiervorschriften [DIN 4074], [EN 1310] und [Nordisches Holz 1994] einheitlich. Es wird immer eine Messbasis von 2000 mm verwendet. Die maximale Pfeilhö-

he des am meisten gekrümmten Bereichs ist maßgebend. Nur bei der Bezeichnung der Längskrümmung weichen die Bezeichnungen für die flachkant und hochkant gekrümmte Breiteseite voneinander ab. Rein geometrisch betrachtet, sind sowohl Breitseite als auch Schmalseite gekrümmt. Einmal sind sie hochkant und einmal flachkant gekrümmt. Ist die Breitseite flachkant gekrümmt, so ist die Schmalseite hochkant gekrümmt und umgekehrt. Es genügt daher entweder die Breitseite oder die Schmalseite zu betrachten.

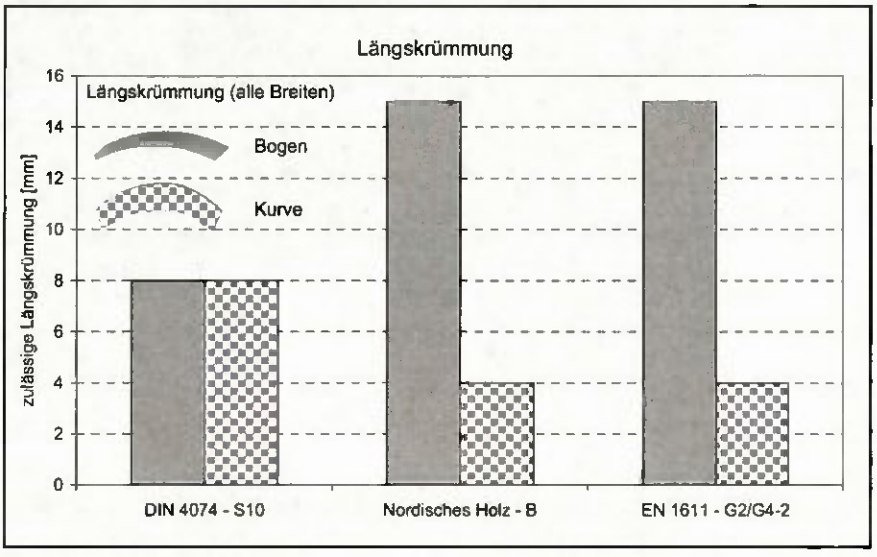


Abb. 14. 42 Zulässige Längskrümmung von Brettern (Dicke <= 44 mm) der Sortierklasse S10 nach [DIN 4074], der Sorte G2/G4-2 nach [EN1611] und Sorte B nach [Nordisches Holz 1994] für verschiedene Brettbreiten

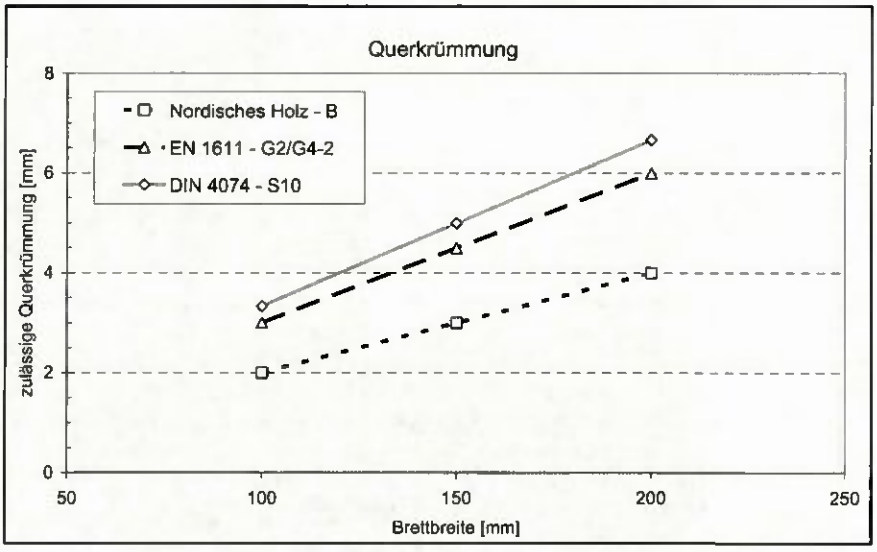


Abb. 14. 43: Zulässige Querkrümmung von Brettern (Dicke <= 44 mm) der Sortierklasse S10 nach [DIN 4074], der Sorte G2/G4-2 nach [EN1611] und Sorte B nach [Nordisches Holz 1994] für verschiedene Brettbreiten

Die zulässigen Verdrehungen für Bretter nach [DIN 4074] S10 sind deutlich niedriger als die für die Güteklasse G2/G4-2 der [EN 1611] und als die für die Sorte B für [Nordisches Holz 1994] für verschiedene Brettbreiten (Abb. 14. 41). Der Unterschied ist umso größer je breiter die Bretter sind. Für 100 mm breite Bretter sind 8 mm Verdrehung zulässig und für 200 mm breite Bretter sind 16 mm Verdrehung zulässig. Die Zunahme der zulässigen Verdrehung ist linear steigend. Die Unterschiede zwischen [EN 1611] und [Nordisches Holz 1994] sind geringer als die Unterschiede zur [DIN 4074].

Die Längskrümmung der Bretter mit der Sortierklasse S10 nach [DIN 4074] darf unabhängig von der Breite höchstens 8 mm betragen. Es wird auch kein Unterschied zwischen Bogen und Kurve gemacht. Die Sortierung nach [Nordisches Holz 1994] und die [EN 1611] fordern unabhängig von der Breite der Bretter für den Bogen ein Höchstmaß von 15 mm und für die Kurve ein Höchstmaß von 4 mm (Abb. 14. 42).

Mit dem niedrigen Maß für die "Kurve" sollen vornehmlich spätere Fugen zwischen den Nut- und Federbrettern und ein hohes Übermaß vor dem Hobeln vermieden werden. Bei den Lamellen für Brettstapel- und Brettschichtholz wird ein Höhenversatz am Ende der Bearbeitung durch flächiges Hobeln egalisiert. Der damit verbundene erhöhte Hobelverlust von 2 % bis 4 % wurde bisher in Kauf genommen.

Die Schüsselung darf für Bretter der Sortierklasse S10 nach [DIN 4074] ein dreißigstel der Brettbreite betragen. Diese Grenze ist etwas höher als nach [EN 1611]. Hier sind nur 3 % zulässig. Deutlich niedriger sind die Grenzwerte für die Bretter der Sorte B nach [Nordisches Holz 1994]. Hier sind nur 2 % zulässig (Abb. 14. 43). Der höhere Grenzwert für die Schüsselung bei den Lamellen für Brettstapel- und Brettschichtholz wird durch egalisieren vor dem Verbinden ausgeglichen. In diesem Punkt sind schmale Bretter nach [Nordisches Holz 1994] günstiger in der Verarbeitung als breite Bretter nach [DIN 4074].

Nach [DIN 4074] sind die Anforderungen an die Verdrehung am strengsten und nach [EN 1611] und [Nordisches Holz 1994] sind die Anforderungen an die "Kurve" am strengsten. Schnitthölzer mit wenig Verdrehung sind markfrei eingeschnitten und aus Bäumen mit geringem Drehwuchs. Schnitthölzer mit wenig Druckholz haben in der Regel auch wenig "Kurve". Besonders nachteilig ist einseitig angeordnetes Druckholz und sehr schräg angeschnittene Fasern im Wurzelanlauf.

Da alle Lamellen eines Brettstapelelements statisch gleich belastet werden und auf zwei Seiten sichtbar sind, müssen alle Lamellen eine Mindestsortierklasse haben. Damit bestimmt die schlechteste Lamelle die Qualität des ganzen Elements. Dies stellt an die Gleichförmigkeit der Lamellenqualität hohe Anforderungen.

5.2.3 Brettsperrholz- und Brettlagenholzelemente

Werden die Bretter oder Bohlen von mindestens drei Lagen kreuzweise (z. B. rechtwinklig) miteinander verklebt oder gedübelt, so entsteht Brettsperrholz [DIBt Z-9.1-482], [DIBt Z-9.1-574]. Häufig wird 3-, 5-, 6- oder 9-lagiges Brettsperrholz hergestellt. Werden die Lagen nur gegeneinander versetzt in gleicher Richtung miteinander verbunden so spricht man von Brettlagenholz (Abb. 14. 44). Durch die kreuzweise Anordnung der Lagen wird ein Ausgleich zwischen der sehr geringen Längsschwindung und der relativ großen tangentialen und radialen Schwindung im Holz erzielt. Die Bauteile werden formstabiler, was die großflächige Verwendung der Brettsperrholzelemente erst möglich macht. Die flächige Verwendung von Brettlagenholz ist begrenzter, da es durch den Versatz der Lamellen weiniger formstabil ist.

5.2.3.1 Verklebte Elemente

Im Allgemeinen werden Brettsperrholzelemente durch kreuzweises Verkleben der Lagen hergestellt. Dadurch entsteht eine stoffschlüssige Verbindung zwischen den Lagen. Die Lagen müssen aus Lamellen der Sortierklasse S10 nach [DIN 4074] aufgebaut werden. Das Kleben hat u. a. die Vorteile, dass großflächige Klebungen gegenüber Löten und Schweißen vergleichsweise einfach herstellbar sind, dass die beim Schrauben und Dübeln entstehenden Spannungsspitzen an den Verbindungselementen vermieden werden, dass eine gleichmäßige Spannungsverteilung und Kraftübertragung über die gesamte Klebfläche bei klebgerechter Gestaltung der Verbindung möglich ist und dass die Oberfläche und Gefügestruktur fast unverändert bleibt.

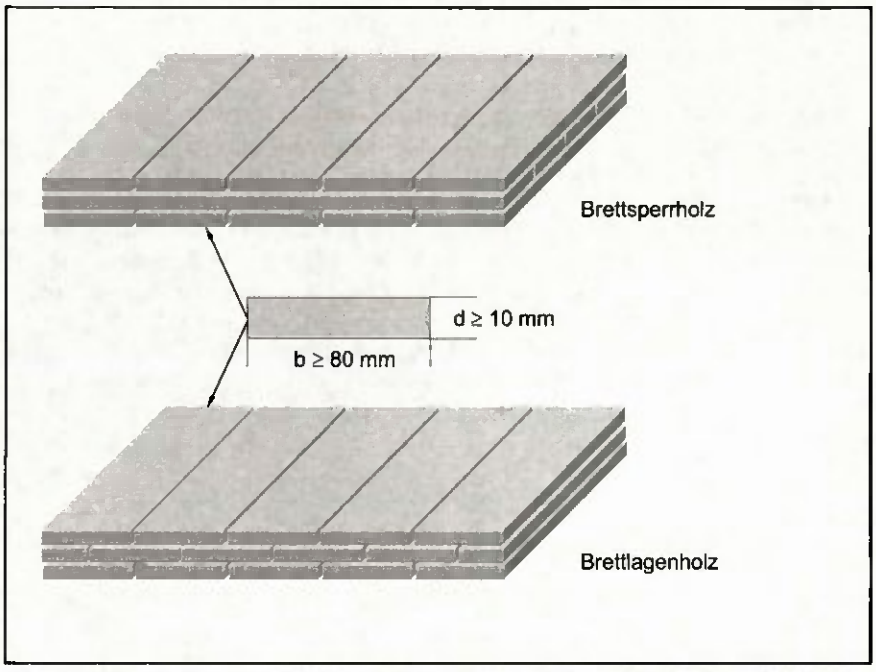


Abb. 14. 44: Aufbau von Brettsperrholz im Unterschied zum Aufbau von Brettlagenholz

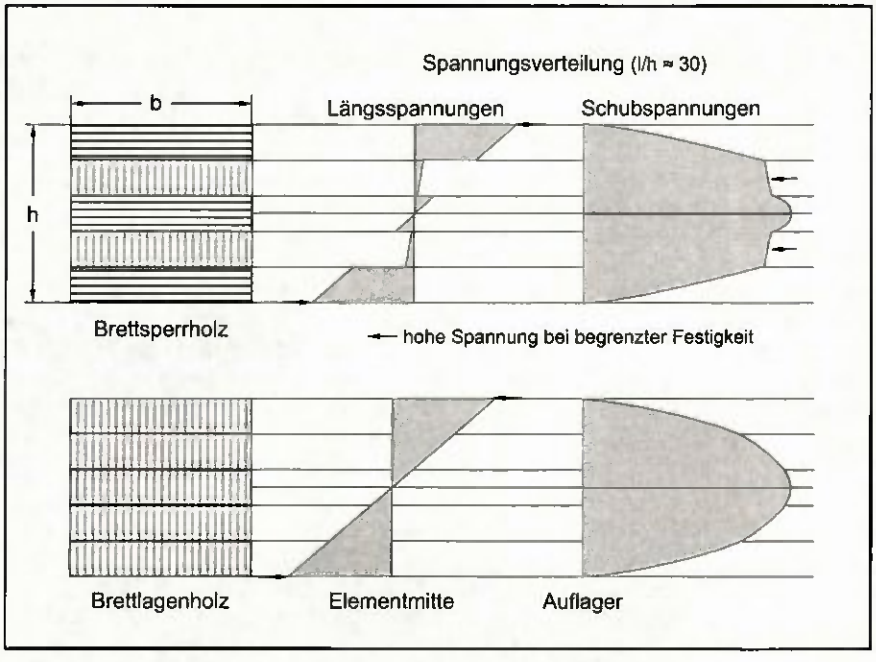


Abb. 14. 45: Spannungsverteilung in Brettsperrholz und Brettlagenholz [Schickhofer 2006]

Die Brettsperrholzelemente werden sichtbar und verdeckt verwendet. Für die sichtbaren Oberflächen wird die [EN 13017] angewendet (Anhang A3), da für die sichtbaren Lagen bisher einschichtige Massivholzplatten verwendet werden. Hier besteht die Schwierigkeit den Nachweis der Sortierklasse S10 zu führen. Daher bleibt eine solche Lage für die Bemessung der Elemente ohne Bedeutung.

Die Anforderungen an einlagige Massivholzplatten (MH) sind höher als für die mehrlagigen MH-Platten [EN 13017]. So sind in Güteklasse A bei einlagigen MH-Platten fest verwachsene Äste nur bis 30 mm und bei mehrlagigen MH-Platten bis 40 mm zulässig. Bei Harzgallen sind bei einlagigen MH-Platten nur

einzelne mit 3 x 40 mm² und bei mehrlagigen MH-Platten einzelne mit 3 x 50 mm² zulässig.

Es besteht ein entscheidender Unterschied in der Spannungsverteilung im Querschnitt zwischen den Brettsperrhölzern und den Brettlagenhölzern. Mit den quer verklebten Lagen ändert sich der Spannungsverlauf sprungartig (Abb. 14. 45). Die Querlagen nehmen in Längsrichtung kaum Spannungen auf, so dass der Großteil der Längsspannungen von den Decklagen aufgenommen werden muss. Damit die gleiche Summe an Spannungen von einem Brettsperrholzquerschnitt aufgenommen werden kann wie von einem gleichgroßen Brettlagenholzquerschnitt, muss die Spannung in den Decklagen des Sperrholzes höher sein als in den Decklagen des Lagenholzes.

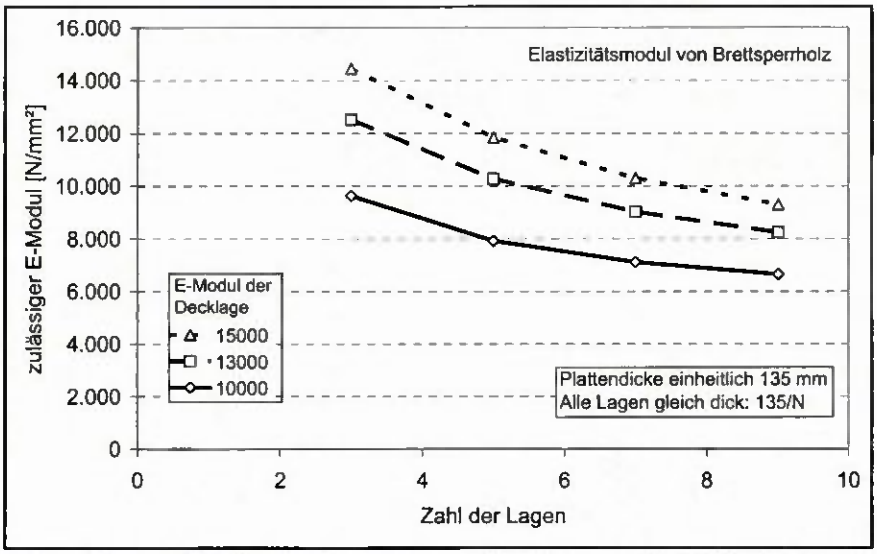


Abb. 14. 46: Zulässiger Elastizitätsmodul von Brettsperrholz gleicher Plattendicke mit zunehmender Zahl der Lagen [Finnforest Merk 2006] und verschiedenen Elastizitätsmoduln der Decklage.

Die Querlagen nehmen aufgrund der niedrigen Steifigkeit in Längsrichtung weniger Schubspannungen auf als die Längslagen [Kreuzinger 1999]. Sie werden mehr verformt, bis sie schließlich an die Grenze der Schubfestigkeit gelangen und brechen. Dieser Bruch wird bei kleinem Verhältnis von Länge zu Höhe (l/h < 15) des Elements vor dem Bruch hochwertiger Decklamellen erfolgen [Mestek 2007]. Dies kann vermieden werden indem die Elemente so bemessen werden, dass ein Verhältnis von Länge zu Höhe (l/h ≈ 30) von etwa 30 entsteht (z. B.: Länge 5000 mm, Höhe 5 x 32 = 160 mm) [Schickhofer 2006].

Damit solche flachen Elemente sich unter Last nicht zu sehr verformen und damit die Gebrauchstauglichkeit verlieren, kann man Decklamellen mit besonders hohem Elastizitätsmodul verwenden. Durch die besonders steifen Decklamellen kann eine Elementerhöhung um 20 % bis 25 % ausgeglichen werden [Mestek 2007].

Je mehr gleichdicke Lagen zum Aufbau von Brettsperrholzelementen verwendet werden, umso dünner wird die Außenlamelle. Damit nimmt der Elastizitätsmodul des ganzen Elements mit der Lagenzahl ab. Für Decklamellen mit 10.000 N/mm² hat die 3-lagige Platte einen Elastizitätsmodul von 9.500 N/mm² und die 9-lagige Platte nur noch 6.400 N/mm² (Abb. 14. 46). Hat die Decklamelle einen Elastizitätsmodul von 15.000 N/mm², so hat die 3-lagige Platte einen Elastizitätsmodul von 14.300 N/mm² und die 9-lagige Platte einen Elastizitätsmodul von 9.200 N/mm². Durch eine besonders hochwertige Decklamelle kann somit der Verlust an Elastizitätsmodul beim Übergang von der 3-lagigen zur 9-lagigen Platte ausgeglichen werden. Man kann auf diese Weise die höhere Dimensionsstabilität der 9-lagigen Platte mit dem hohen Elastizitätsmodul der 3-lagigen Platte kombinieren. Bisher sind

Lamellen mit so hohem Elastizitätsmodul kaum verfügbar und werden deshalb auch nicht eingesetzt.

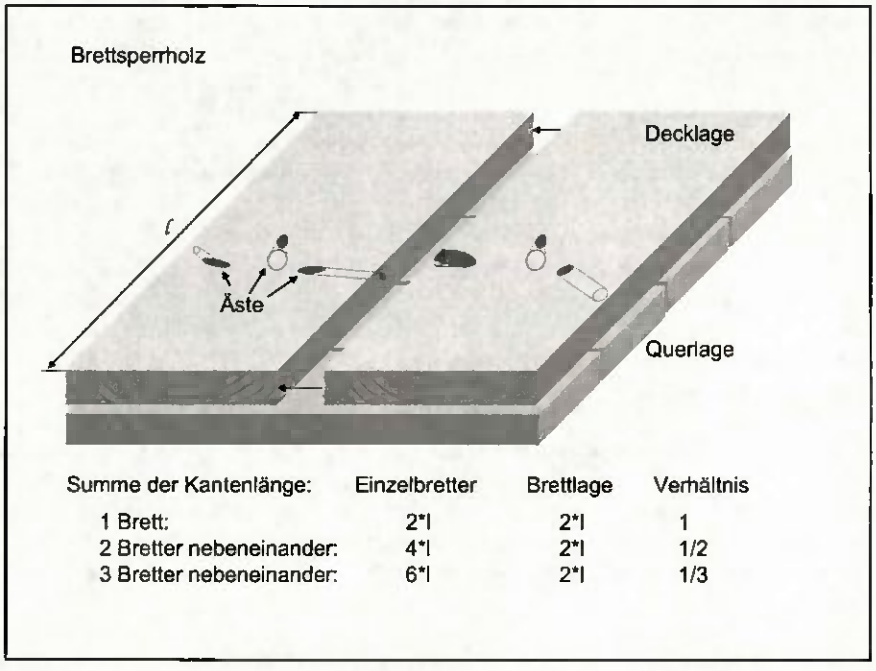


Abb. 14. 47: Relative freie Kantenlänge einer Brettlage in Brettsperrholz

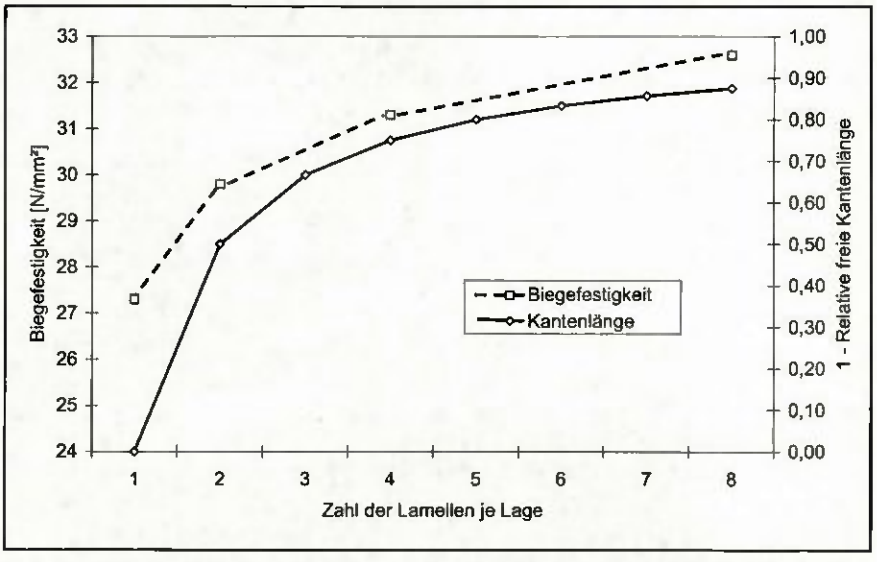


Abb. 14. 48: Verhältnis von relativer freier Kantenlänge und der 5%-Fraktile der Biegefestigkeit von Brettsperrholzelementen mit zunehmender Zahl von Lamellen je Lage. Daten aus [Schickhofer 2006]

In Brettsperrholz werden mehrere Lamellen zu Lagen nebeneinander gefügt. Dadurch wird die 5%-Fraktile der Festigkeit des Elementes gegenüber einem Brettsperrholz aus nur einer Lamelle erhöht [Schickhofer 2006]. Die 5%-Fraktile von Brettsperrholz aus einem Brett war 27,3 N/mm², bei solchem aus zwei Brettern war sie 29,8 N/mm², bei solchem aus vier Brettern war sie 31,3 N/mm² und bei solchem aus 8 Brettern war sie 32,6 N/mm².

Ein ähnlicher Vergütungseffekt wird sich auch bei Brettlagenholz zeigen, aber auf einem höheren Festigkeitsniveau als bei Brettsperrholz. Durch das Nebeneinanderlegen wird die freie Kantenlänge, welche besonders der Zug- oder Druckspannung ausgesetzt ist, verringert (Abb. 14. 47). Bei nur einem Brett in der Decklage sind die beiden Kantseiten frei. Bei zwei Brettern sind von den vier Kantseiten nur zwei frei und bei drei Brettern sind von den 6 Kantseiten

auch nur zwei frei. Damit nimmt die relative freie Kantenlänge mit der Zahl der Bretter in einer Lage ab. In Abb. 14. 48 ist nicht die relative freie Kantenlänge sondern die Differenz aus 1 abzüglich der relativen freien Kantenlänge dargestellt. - Zudem werden Schmalseiten- und Kantenäste, die bisher frei lagen durch eine gegenüberliegende mitunter fehlerfreie Kantseite überbrückt.

Anmerkung: Das Schmalseitenastkriterium nach Absatz 5.1.3.2 in [DIN 4074] sollte daher nicht auf Brettsperrholzlamellen angewandt werden. Damit wäre eine Gleichstellung mit den Brettschichtholzlamellen gegeben.

5.2.3.2 Gedübelte und genagelte Brettsperrholzelemente

Gedübelte Brettsperrholzelemente sind wie geklebte Brettsperrholzelemente aufgebaut, wobei die Verbindung zwischen den Lagen durch Hartholzdübel hergestellt wird [DIBt Z-9.1-574]. Diese Bauweise wird von Bauherren bevorzugt, die keine Klebstoffe mit den damit verbundenen "Dämpfen" in ihren Häusern haben wollen.

Mindestens 70 % der Lamellen müssen der Sortierklasse S10 nach [DIN 4074] und der Rest muss mindestens S7 entsprechen. Die Lamellen müssen mindestens 24 mm dick und 100 mm breit sein. Die Decklamellen müssen einheitliche Breite haben, die Mittellagen dürfen variable Breite aufweisen. Zwischen den Lamellen sind Fugen von bis zu 10 mm zulässig. Derzeit werden Wandelemente mit 170 mm und 364 mm Dicke gefertigt.

Anmerkung: Da bei dieser Bauweise viel Schnittholz gebraucht wird, die Anforderungen an die Tragfähigkeit aber gering sind, könnte hier Schnittholz der Festigkeitsklasse C18, C16 oder C14 zum Einsatz kommen, das vorwiegend fest verwachsene Äste hat.

Die Fugen von 10 mm Breite zwischen den Lamellen der gedübelten Brettsperrholzplatten lassen eine erhebliche Luftzirkulation zu, die zwar die Atmungsaktivität der Wand oder Decke verbessert, aber auch die Dichtigkeit absenkt und damit die Wärmedämmung verschlechtert. Platten mit so breiten Fugen können nicht sichtbar eingesetzt werden. Verwendet man Lamellen sortiert nach [EN 1611] oder [Nordisches Holz 1994], dann treten solche Fugen nicht auf, da die "Kurve" auf 4 mm pro 2 m beschränkt ist. Krümmungen von 4 mm lassen sich zum Teil aushobeln und dann durch leichten Druck auf die Lamellen in Richtung der Krümmung schließen.

6 Eigenschaften von Kanthölzern und Brettern aus starkem Stammholz

Im nun folgenden Schritt werden die Eigenschaften von Kanthölzern und Brettern aus starkem Stammholz dargestellt. Die Eigenschaften sind im Hinblick auf die Anforderungen an Bauprodukte ausgewählt.

Da die Eigenschaften in Abhängigkeit von der Lage im Baum, seiner Herkunft und dem Sägeschnitt abhängen, werden sie getrennt nach Baumhöhe vom Erdstück bis zum Zopf (4.1), nach Markabstand (4.2), nach Herkunft (4.3) und nach Jahrringverlauf (4.4) dargestellt. Ausführlich wurden die Eigenschaften des Abschnitts 4.1 von [Teischinger 2006], [Reiter 2005], [Glos 1999b] und [Bues 1990] behandelt. Die Eigenschaften der Abschnitte 4.2 und 4.3 wurden von [Teischinger 2006], [Glos 1999a], [Larsson 1998], [Glos 1996], [Perstorper 1995a] und [Perstorper 1995b] untersucht. Eine Untersuchung der Eigenschaften bei verschiedenen Sägeschnitten (Abschnitt 4.4), die einmal stehende und einmal liegende Jahrringe erzeugen, ist bisher nicht erfolgt. Hier wurden ergänzende Untersuchungen durchgeführt.

6.1 Eigenschaften vom Erdstück bis zum Zopf

Das Stammwachstum vom Sämling bis zum ausgewachsenen Baum mit einer Höhe von 40 m bis 50 m erfolgt in raketenförmigen Schichten, die sich übereinander lagern und einmal gebildet sich nicht mehr verändern [Seifert 2003], [Pretzsch 2001], [Schumacher 1993], [Richards 1958], [Trendelenburg 1955]. Die Veränderungen erfolgen nur in den äußersten noch lebenden

Schichten des Splintholzes. Die im Frühjahr gebildeten hellen Schichten heben sich farblich deutlich von den im Spätsommer gebildeten dunklen Schichten ab. Dadurch entstehen im Querschnitt die Jahrringe, im Tangentialschnitt die Flader und im Radialschnitt Längsstreifen.

In den ersten Jahren wächst der Stamm nur wenig. Das Wachstum steigert sich aber rasch, so dass der Stamm nach 20 Jahren bereits 10 m Länge erreicht hat. Das Höhenwachstum erreicht dann zwischen 30 und 40 Jahren sein Maximum und geht danach langsam wieder zurück. Nach 100 Jahren hat der Stamm vom Fuß bis zum Gipfel eine Höhe von 40 m erreicht [Assmann 1965]. Das Höhenwachstum ist jedoch von der gegenseitigen Konkurrenz der Bäume abhängig. Wird ein Baum von einem anderen überschirmt, so geht sein Höhenwachstum erheblich zurück [Pretzsch 2001]. Stehen die Bäume nur in geringer Konkurrenz, so ist das Höhenwachstum (Oberhöhe 100) im wesentlichen von der Standortsbonität abhängig [Assmann 1965].

6.1.1 Astigkeit

Mit der Höhe der Bäume werden ihre Kronen größer. Damit nehmen die mittleren Astdurchmesser am Stammmantel vom Erdstück bis zu einer Höhe von 25 m zu [Reiter 2005]. Da aber zu Beginn des Baumlebens noch viele Konkurrenten die ungehemmte Entwicklung der Krone begrenzen, werden die Kronen erst im Zuge von Standraumerweiterungen durch Durchforstungen größer [Bues 1990]. Die vorher gebildeten unteren Kronenteile sind schon abgestorben und werden nicht mehr größer. Daraus ergibt sich ein Verlauf des Kronenradius und des Astdurchmessers über der Stammlänge wie ihn Abb. 14. 49 skizziert. Bei einem jungen Baum entwickelt sich die Krone bis zu einem Radius r_0 und stirbt dann konkurrenzbedingt ab. Erst durch eine Durchforstung kann sich die Krone wieder ausdehnen, wird aber dann durch herangewachsene Konkurrenten wieder begrenzt.

Weitere Durchforstungen geben dem Baum neuen Standraum, in den hinein sich die Krone erweitert. Zum Zeitpunkt der Fällung hat der Baum dann eine Krone der Form wie sie Abb. 14. 49 links zeichnet. Der untere Teil der Krone ist abgestorben und zum Teil abgefallen, hatte aber einmal den durch die gestrichelte Linie angedeuteten Radius. Diesen Radien entsprechen die in Abb. 14. 49 rechts dargestellten Astdurchmesser über der Stammlänge. Hätten die Bäume keine Konkurrenten gehabt und wären sie frei erwachsen, so hätten sich die Kronen bis zum Erdstück herab erhalten und wären weiter gewachsen. Die Astdurchmesser wären ebenfalls größer geworden. Die Radius- und Astdurchmesserentwicklung wäre aber nicht linear verlaufen, sondern eher unterproportional. Es würde sich bei Fichten eine glockenförmige Krone ergeben [Bücking 2007].

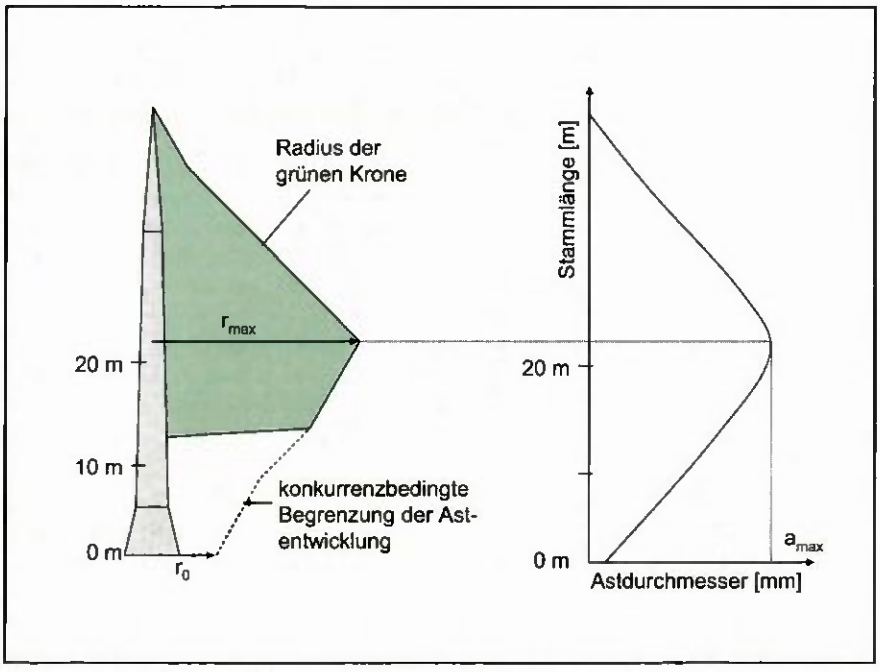


Abb. 14. 49: Kronenradius und Astdurchmesser von starken Bäumen mit konkurrenzbedingter Begrenzung der Astentwicklung

Für den Vergleich der Eigenschaften von Schnittholz vom Erdstück bis zum Zopf ist ein einheitlicher Einschnitt der verschiedenen Stammabschnitte notwendig, da die Schnittholzabmessungen in die Eigenschaften mit eingehen. Zum Beispiel sind die Ästigkeit und die Biegefestigkeit eines Schnittholzes stark von der Abmessung abhängig. Bei [Glos 1999b] wurden die Kanthölzer und Bohlen nach dem gleichen Schnittbild gesägt und geprüft.

Das Ergebnis der Untersuchung ist in Abb. 14. 50 dargestellt. Der Anstieg der Ästigkeit nach DIN 4074 [Kriterium Kantholz] ist nahezu linear mit der Stammlänge. Die Ästigkeit nimmt vom ersten Stammabschnitt zum zweiten um 81 %, vom ersten Stammabschnitt zum dritten um 150 % zu.

Bei [Teischinger 2006] wurden aus den starken Stämmen einheitlich Bretter gesägt. Auch für die Bretter steigt die Ästigkeit nach DIN 4074 [Kriterium, Brett, Astansammlung] mit der Stammlänge erheblich an.

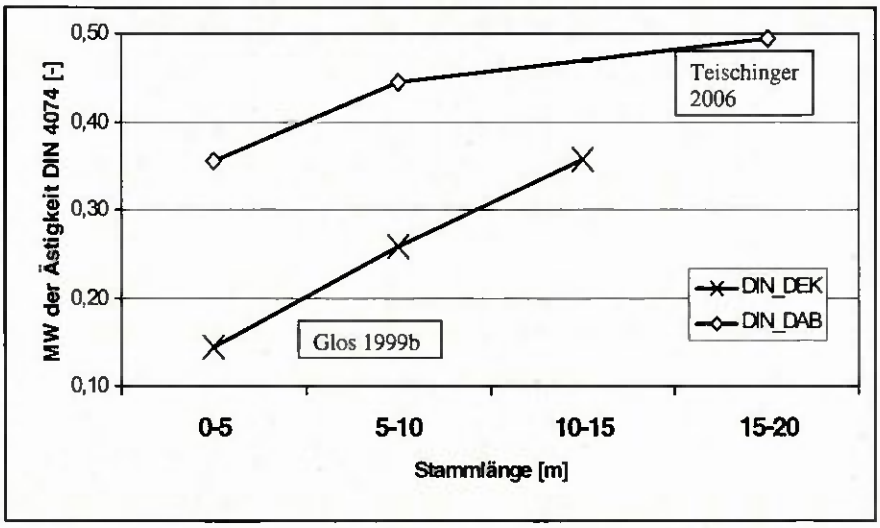


Abb. 14. 50: Ästigkeit nach DIN 4074 (Kriterium Kantholz DEK, Kriterium Astansammlung DAB) in Abhängigkeit von der Entnahmehöhe (Vergleich von 10 Bäumen, Länge Stammabschnitt 5 m), Daten aus [Teischinger 2006] und [Glos 1999b]

Die Auswirkung auf die Ausbeuten in den verschiedenen Sortierklassen bei visueller und maschineller Sortierung ist in Abb. 14. 51 dargestellt. Beim Erdstück kann der weitaus größte Teil der Schnitthölzer in die höchste Sortierklasse S13/MS13 eingestuft werden. Beim zweiten Abschnitt ist dieser Anteil an S13-Hölzern schon deutlich reduziert. Dies gilt besonders für die visuelle Sortierung. Hier fällt der Anteil von 80 % auf 31 % ab. Noch weiter reduziert ist der Anteil im dritten Abschnitt. Werden die Hölzer visuell sortiert, so geht der Anteil von 80 % auf 15 % zurück und werden die Hölzer maschinell sortiert, so geht der Anteil von 85 % auf 40 % zurück. Parallel zum Rückgang in der höchsten Sortierklasse ist die Zunahme in der niedrigsten Sortierklasse S7/MS7. Der Anteil steigt von 0 % über 12 % auf 33 % an.

Tab. 14. 6: Ausbeuten in den verschiedenen Sortierklassen bei maschineller Sortierung von Brettern [Teischinger 2006]

Lage	Bretter	Gesamt	MS7	MS10	MS13	MS17
1. Bloch	Anzahl	324	33	86	73	131
0,8m-4,8m	%		**10,2**	**26,5**	**22,5**	**40,4**
3. Bloch	Anzahl	146	20	45	47	33
7,8m-11,8m	%		**13,7**	**30,8**	**32,2**	**22,6**
5. Bloch	Anzahl	109	13	58	26	12
14,8m-18,8m	%		**11,9**	**53,2**	**23,9**	**11,0**
Alle Bloche	*Anzahl*	*579*	*66*	*189*	*146*	*176*
	%		***11,4***	***32,6***	***25,2***	***30,4***

Bei der Sortierung von Brettern hat [Teischinger 2006] mit einer Sortiermaschine vom gleichen Typ die in Tab. 14. 6 dargestellten Ausbeuten erzielt. Da bei [Glos 1999b] keine Sortierklasse MS17 ausgeschieden wurde, muss zum Vergleich bei [Teischinger 2006] der Anteil von MS13 und MS17 zusammengefasst werden. Bei [Glos 1999b] war der Anteil an MS13 und mehr mit 85 % deutlich höher als bei [Teischinger 2006] mit 63 %. Auch im nächsten Bloch ist der Anteil bei [Glos 1999b] mit 69 % höher als bei den Brettern von [Teischinger 2006] mit 65 %. Da der 5. Bloch von [Teischinger 2006] nicht mit dem 3. Abschnitt von [Glos 1999b] auf gleicher Stammlänge liegt, sind die Ausbeuten nicht direkt vergleichbar. Da [Teischinger 2006] einen erheblichen Teil des markfern gelegen Rundholzes nicht zu Brettware sondern zu Seitenware verarbeitet hat, sind die Ausbeuten in den höheren Sortierklassen niedriger als bei [Glos 1999b], der fast nur markferne Schnitthölzer erzeugt und geprüft hat.

Bei einem ähnlichen Einschnitt und bei Zugprüfung hat [Glos 1996][12] in der Sortierklasse MS13 u. mehr über alle Stammlängen 57 % Anteil erhalten, während [Teischinger 2006] 55 % über alle Stammlängen erzielte. Dem Einschnittmuster kommt demnach eine entscheidende Bedeutung für die Ausbeute an höherwertigen Schnitthölzern zu.

Nachdem die Astdurchmesser mit der Stammlänge noch bis 25 m Höhe ansteigen, wird die Ästigkeit in gleicher Weise bis in diese Höhe zunehmen. Die Stammteile oberhalb von 25 m Höhe werden nicht mehr betrachtet, da sie kein Starkholz mehr liefern.

Würde man die gleichen Schnitthölzer nach [Nordisches Holz 1994] und nach [EN 1611] sortieren, ergäbe sich ein ähnliches Bild, da auch diese Sortierregeln die Schnitthölzer mit zunehmendem Astdurchmesser abwerten (Abb. 14. 38). Da diese Sortierregeln jedoch den Zustand des Astes mitbewerten, werden die unteren Stammabschnitte mit den losen Ästen bei gleichen Astdurchmessern schlechter bewertet als die oberen Stammabschnitte mit den fest verwachsenen Ästen.

[12] Bericht 94506 - Abb. 47

Fazit

Die Astdurchmesser bei Starkholz werden vom Stammfuß zum Zopf hin größer. Dies bedeutet sinkende Ausbeuten für höherwertige Kanthölzer und Bretter mit zunehmender Stammhöhe.

Da die Sortierung nach den Kantseiten (Kantholz und Bohle hochkant) strenger ist als die Sortierung nach den Breitseiten, werden die Ausbeuten an hochwertigen Schnitthölzern bei Abschnitten aus gleicher Stammhöhe für Bretter höher sein als für schmale Kanthölzer.

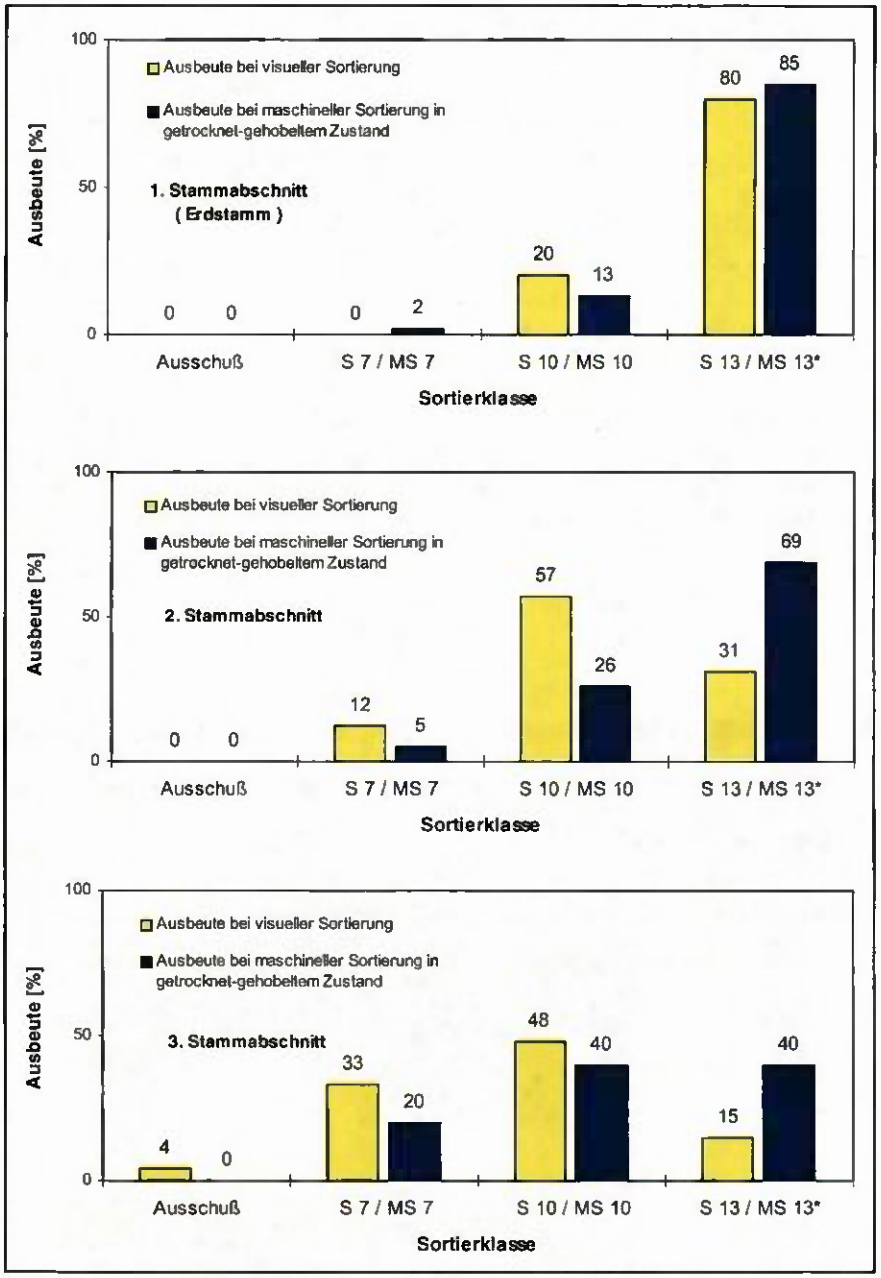


Abb. 14. 51: Ausbeuten in den verschiedenen Sortierklassen bei visueller und maschineller Sortierung nach DIN 4074 nach Stammlänge [Glos 1999b]

6.1.2 Jahrringbreite und Rohdichte

Die Schnitthölzer bei [Glos 1999b] hatten eine mittlere Jahrringbreite von 2,6 mm (Abb. 14. 52). Dieser Wert liegt deutlich über dem Wert für normale bayerische Fichten nach [Schulz 1986]. Darüber hinaus ist keine deutliche Änderung der mittleren Jahrringbreite mit der Stammhöhe erkennbar. Dies stimmt überein mit den Daten aus [Reiter 2005].

Die Schnitthölzer bei [Teischinger 2006] hatten eine mittlere Jahrringbreite von 3,0 mm und zeigten eine signifikante Abnahme der mittleren Jahrringbreite mit der Stammhöhe von 3,2 mm (0,8 m - 4,8 m) nach 2,6 mm (14,8 m - 18,8 m) ($t_0 = 3,44$ und eine 95 %-Fraktile von $\gamma(97,5\%, 302) = 1,972$ bei zweiseitigem Test). Da die Standardabweichung und die Baumanzahl bei [Teischinger 2006] deutlich höher war als bei [Reiter 2005] und [Glos 1999b], ist von einer Abnahme der mittleren Jahrringbreite mit der Stammhöhe auszugehen. Dies gilt vor allem dann, wenn die Jahrringbreite zu Beginn am Erdstück schon hoch ist.

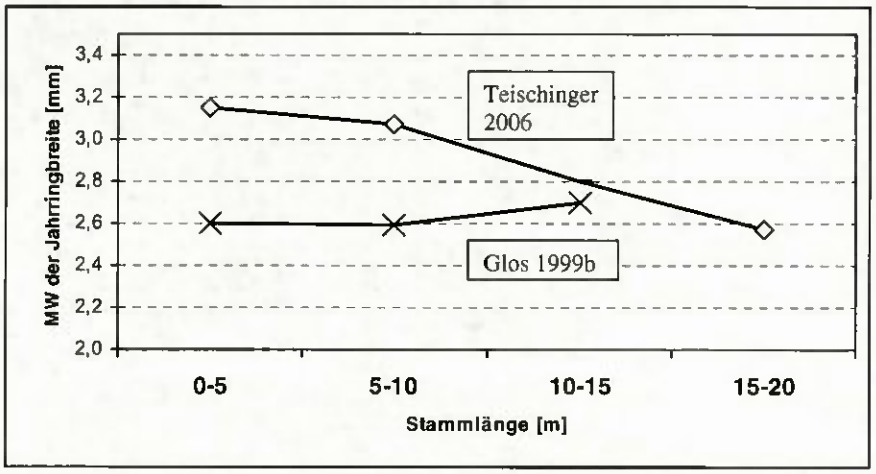


Abb. 14. 52: Mittlere Jahrringbreite der Schnitthölzer über der Stammlänge. [Teischinger 2006], [Glos 1999b]

Schon Trendelenburg weist auf den Zusammenhang von Jahrringbreite und Rohdichte in fehlerfreien Kleinproben einer Baumart und Herkunft hin [Kollmann 1951]. Für Schnittholz aus Starkholz wird diese Korrelation von [Teischinger 2006] bestätigt (Abb. 14. 53).

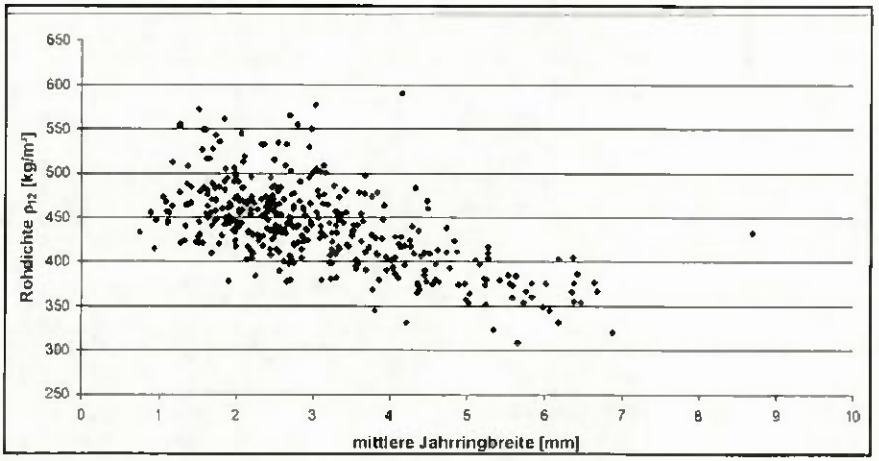


Abb. 14. 53: Mittlere Jahrringbreite und Rohdichte von Brettern aus starken Stämmen [Teischinger 2006]

Die Darrdichte von fehlerfreien Kleinproben aus Starkholz nimmt mit der Baumhöhe zu (Abb. 14. 54). Signifikant ist nur die Zunahme vom U-Bloch (0,8 m - 4,8 m) zum O-Bloch (14,8 m - 18,8 m). Diese Ergebnisse stimmen mit denen von [Bernhardt 1964] und [Volkert 1941] weitgehend überein.

Auffällig sind die besonders hohen Darrdichten im Zopfbereich der starken Stämme, die selbst die höchsten Darrdichten in den äußersten Schichten der Erdstücke übertreffen (Abb. 14. 54 unten). Im Zopfbereich treffen damit die größten Äste auf die höchste Rohdichte im Baum. Mechanisch bedeutet dies, dass die großen Schwachstellen mit einem hohen Maß an aussteifendem Material umgeben werden [Mattheck 2006], [Götz 2002] und [Mattheck 1992], um eine ausreichende Steifigkeit und Festigkeit zu erreichen. Dieser Vorteil,

der sich auch auf das Schnittholz überträgt, kann durch eine visuelle Beurteilung der Äste allein nicht genutzt werden (Abb. 14. 51). Durch die maschinelle Sortierung der Schnitthölzer kann dieser Vorteil deutlich besser genutzt werden.

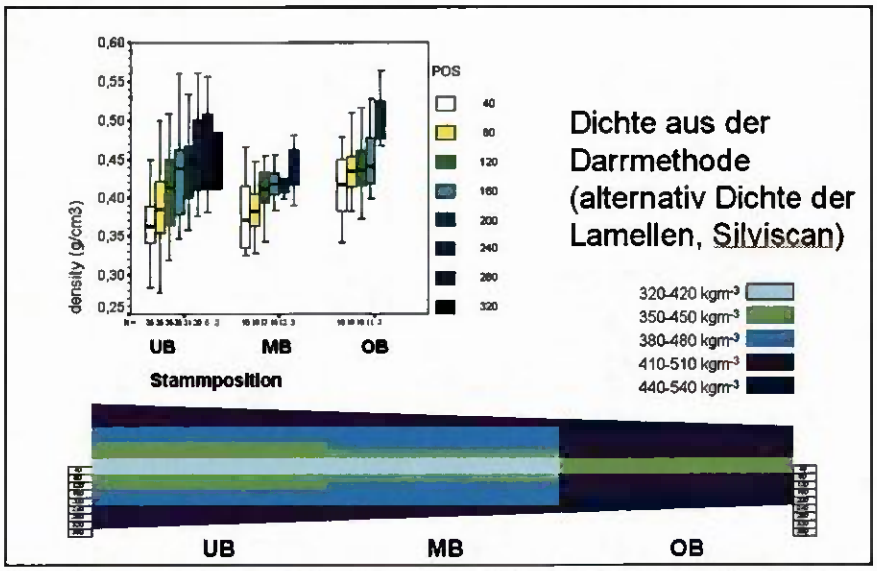


Abb. 14. 54: Dichte von fehlerfreien Kleinproben aus unterschiedlichen Positionen in Fichtenstarkholz [Teischinger 2006]

6.1.3 Risse

Risse im getrockneten Schnittholz können durch den Trocknungsvorgang verursacht sein, oder schon im Stammholz vorhanden gewesen sein und durch die Schwindung beim Trocknen offen gelegt werden. Sofern die Risse schon am frisch eingesägten Schnittholz sichtbar sind, ist der Einfluss der Trocknung auszuschließen. Feine Risse im frischen Holz, die mit dem bloßen Auge nicht erkannt werden können, die sich aber durch das Schwinden beim Trocknen öffnen, sind nicht von Rissen zu unterscheiden, die durch das Schwinden allein bedingt sind. Diese nicht erkennbaren Risse stellen beim Schwinden nur auslösende Schwachstellen dar. Das Holz würde auch ohne diese Risse durch das Schwinden reißen, nur nicht an der gleichen Stelle.

Reiter [2005] untersuchte daher sowohl Rundholzabschnitte als auch frisches Schnittholz. Er unterschied beim Schnittholz zwei Typen von Rissen. Die Risse vom ersten Typ gingen von der Stirnseite aus und setzten sich bis zu 80 cm tief fort. Die Risse von Typ 1 waren im Mittel 20 cm in radialer Richtung lang und 20 cm in axialer Richtung tief. Die Risse vom Typ 2 waren über die ganze Brettlänge verteilt und nahmen ihren Ausgang von der Markröhre. Der Abstand des Rißendes von der Markröhre war bei a = 3 cm. Nur einzelne Risse endeten über 6 cm vom Mark entfernt. Die Risse vom Typ 2 sind den Schilferrissen wie sie [Löffler 1964] für die Tanne beschreibt sehr ähnlich. Die Ausprägung der Risse ist aber bei der Fichte deutlich geringer als bei der Tanne.

Angaben zur Entwicklung der Risse mit der Stammhöhe macht Reiter [2005] nicht. Der Schilfer der Weißtanne tritt nach [Löffler 1964] erst nach 4 m bis 5 m Höhe in Erscheinung und verschwindet nahezu wieder oberhalb von 10 m. In diesem Bereich wertet er aber etwa 10% der Bretter um 1 bis 2 Sortierklassen ab. Nach [Taffe 1951] werten bei starken Fichtenstämmen die Risse etwa 1% bis 2% der Bretter um 1 Sortierklasse (Tegernseer Gebräuche) ab. In Ausnahmefällen kann der Schilfer bei Fichtenstarkholz auch erhebliche Entwertungen an Bohlen mit einer Breite von mehr als 55 cm verursachen wie [Reiter 2005] für das Sägewerk C berichtet.

6.1.4 Drehwuchs

In der Literatur wird Drehwuchs als Abweichung des Faserverlaufs von der Stammlängsrichtung im Holz außerhalb der Astbereiche und von Wuchsstörungen bezeichnet. Diese Faserabweichungen führen im Schnittholz zu Verdrehungen und Krümmungen und werden daher in den Normen begrenzt.

[Teischinger 2006] hat in drei Baumhöhen den Drehwuchs ermittelt und keine signifikante Änderung des Drehwuchses mit der Baumhöhe festgestellt (Abb. 14. 55).

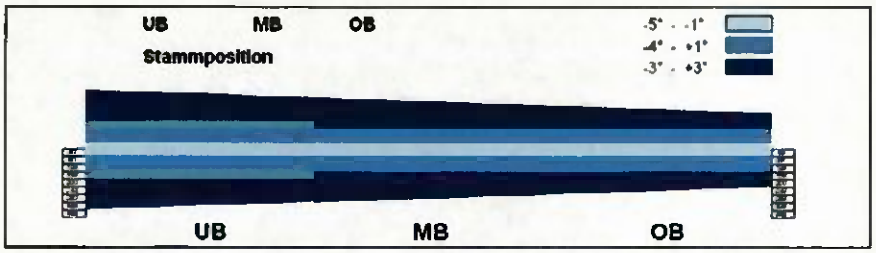


Abb. 14. 55: Verteilung des mittleren Drehwuchses über den Stamm [Teischinger 2006]

Der Drehwuchs von Starkholz ist nicht signifikant verschieden vom Drehwuchs von normalem Stammholz [Schumacher 1993]. Aber aufgrund der großen Durchmesser herrscht in den äußeren Schichten meist Rechtsdrehwuchs vor.

6.1.5 Harzgallen

Ein allgemeiner Zusammenhang von Baumhöhe und Harzgallenzahl oder Harzgallengröße ist nicht belegt. Sind die oberen Stammteile jedoch verstärkt mechanischen Belastungen ausgesetzt, so häufen sich dort die Harzgallen und ihre Größe nimmt zu [Reiter 2005], [Holzmann 1998], [Schumacher 1997] (Abb. 14. 56). Die Zahl der Harzgallen am Rundholzquerschnitt korreliert mit der Zahl der Harzgallen im Schnittholz. Daher ist die Zahl der Harzgallen am Querschnitt des Rundholzes für die Güteklasse B auf 1 Harzgalle größer 20 mm beschränkt [EN 1927]. Treten in Stammteilen aus mechanisch belasteten Bäumen vermehrt Harzgallen auf, wird dies bei der Stammsortierung somit berücksichtigt.

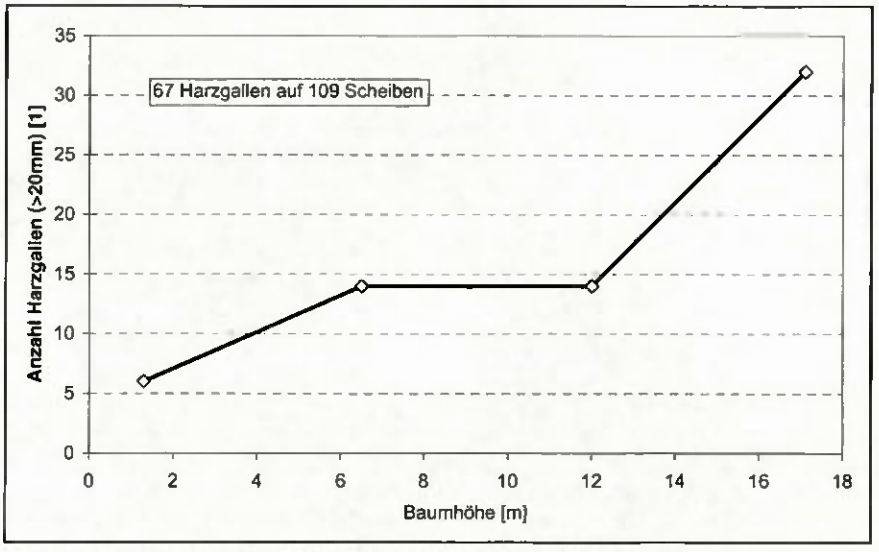


Abb. 14. 56: Anzahl Harzgallen über der Baumhöhe [Reiter 2007]

6.1.6 Druckholz

[Reiter 2005] hat die Druckholzfläche der Stammscheiben auf deren Fläche bezogen und über den vier Stammhöhen dargestellt (Abb. 14. 57). Es ist hier

eine klare Zunahme des Druckholzanteils mit der Stammhöhe zu erkennen. Insgesamt war der Druckholzanteil jedoch gering.

Druckholz erhöht die Rohdichte (+4 %) von Fichtenholz, senkt aber gleichzeitig die Biege- und Zugfestigkeit (-6%) sowie den Biege- und Zug-Elastizitätsmodul (-15 %) von ansonsten fehlerfreiem Holz [Seeling 1999]. Für Fichtenholz mittlerer Rohdichte (0,42 g/cm³) senkt Druckholz (90-100 %-Anteil) die Biegefestigkeit um 10 % und den Biege-Elastizitätsmodul um 25 %. Wichtig ist, dass druckholzhaltige Hölzer bei gleichem Elastizitätsmodul eine höhere Biegefestigkeit aufweisen als fehlerfreie Hölzer. Damit ist man bei einer Sortierung nach dem Elastizitätsmodul auf der sicheren Seite. Lediglich die Ausbeute an höherwertigen Hölzern wird gesenkt. Eine Sortierung nach der Rohdichte wird durch hohen Druckholzanteil, wie er in Schnittholz in Gebrauchsabmessungen kaum vorkommt, unsicherer. Bei gleichzeitiger Sortierung von Schnittholz in Gebrauchsabmessungen nach Elastizitätsmodul und nach Rohdichte kompensieren sich beide Effekte. Die Ausbeute an höherwertigen Hölzern sinkt allerdings ab.

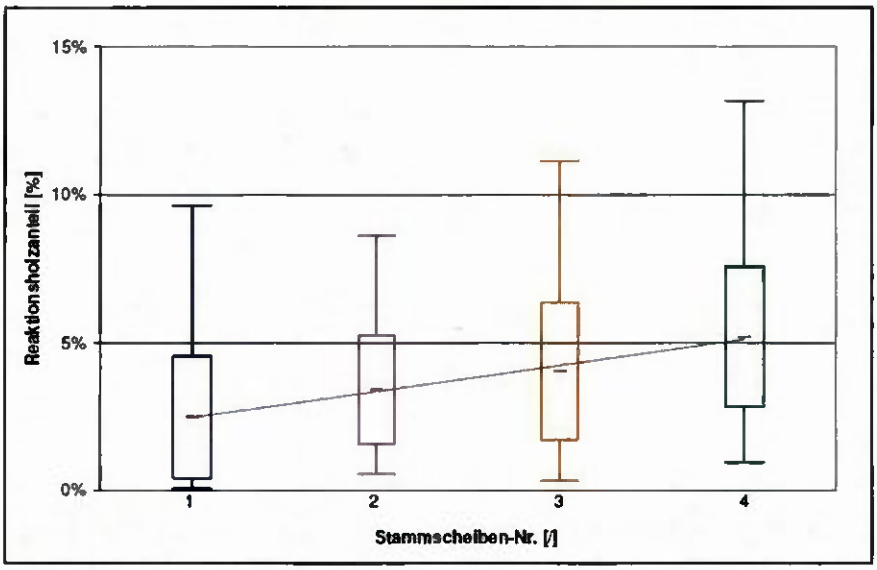


Abb. 14. 57: Boxplots des Reaktionsholzanteils bezogen auf die Stammscheibenfläche über der Stammhöhe [Reiter 2005]

Um wie viel Prozent abgesenkt wird, kann bei gegenwärtigem Kenntnisstand nicht gesagt werden.

Durch sein hohes Längsschwindmaß bewirkt einseitiges Druckholz im Schnittholz entweder einen starken Bogen oder Kurve. Normales Fichtenholz hat nach [Hartig 1901] in [Timell 1986] ein Längsschwindmaß von 0,18 % vom frischen bis zum gedarrten Zustand und Druckholz hat ein Längsschwindmaß von 0,71 % vom frischen bis zum gedarrten Zustand (frischer Zustand 100 %). Für Astholz ist der Unterschied im Längsschwindmaß noch größer.

6.1.7 Verfärbungen

Verfärbungen am Schnittholz, die durch Bläuepilze verursacht werden, stellen keine Zersetzung des Holzkörpers dar und beeinflussen somit die Tragfähigkeit nicht [DIN 4074]. Diese Verfärbungen sind meist Lagerschäden am Rundholz nach Kalamitätsnutzungen. Der ästhetische Wert der Oberfläche ist erheblich gemindert. Daher darf in [Nordische Ware 1994] nur 5 % der Fläche verfärbt sein. Verfärbungen durch Rotfäuleerreger weisen auf Zersetzungen des Holzkörpers hin und sind daher in tragenden Teilen nur begrenzt zulässig (S10 nur 2/5 des Umfangs am schlechtesten Querschnitt, BS 11 (nicht sichtbar) bis 10 % der Oberfläche). Ist die Druckfestigkeit des verfärbten Holzes merklich geschwächt, so ist die Verfärbung in Fäule übergegangen und nicht mehr zulässig.

Nach [Reiter 2005] sind an etwa 25 % der Erdstücke Kernfäulen aufgetreten. Nach [EN 1927] sind die betroffenen Bloche in Güteklasse C oder D einzustufen. 13 % der Bloche mussten nach [Reiter 2005] von B nach C und 10 % nach D sortiert werden. Der Säger kann die betroffenen Bloche zwar einschneiden, muss aber eine erhebliche Zahl an Schnitthölzern aussortieren. Ist die Kernfäule auf wenige Jahrringe im Zentrum beschränkt, kann das hochwertige äußere Material normal verwendet werden.

6.1.8 Rindeneinschlüsse

Rindeneinschlüsse entstehen meist nach Wipfelbrüchen in jungen Beständen (z. B. Schneebruch, Hagel und Sturm). Die Bäume sind danach zwar geschädigt, wachsen aber durch Aufrichten von Seitenästen weiter. Entsteht dabei eine Gabelung, so wird dort befindliche Rinde eingeschlossen und überwachsen. Größere Einschlüsse sind ab mittlerer Stammhöhe zu finden und sind durch Stammkrümmungen erkennbar. Kleinere Einschlüsse sind erst nach dem Einschnitt sichtbar und können dann aussortiert werden. Sie sind aber nur in Ausnahmen von wirtschaftlicher Bedeutung.

Fazit

Die Schnittholzqualität in Stammlängsrichtung nimmt aufgrund der drei Faktoren Ästigkeit, Druckholzanteil und Harzgallen mit der Höhe ab, während sie durch die steigende Rohdichte zunimmt. Der vierte Stammabschnitt liefert daher kaum Schnittholz von hoher Tragfähigkeit und mit hohem ästhetischen Wert der Oberfläche. Aufgrund der mittleren Tragfähigkeit kann das Schnittholz aus dem vierten Abschnitt jedoch nicht sichtbar in Bauteilen mit begrenzter Belastung eingesetzt werden. Das Schnittholz aus dem Erdstück ist bis auf den einseitigen Druckholzanteil und einzelne lose Äste von hoher Qualität. Es kann daher in den sichtbaren Teilen der Bauelemente mit begrenzter und hoher Tragfähigkeit eingesetzt werden. Das Schnittholz des zweiten und dritten Blochs ist nur zum Teil sichtbar verwendbar, da die Äste in diesem Bereich oft lose und von erheblichem Durchmesser sind.

6.2 Eigenschaften vom Mark bis zur Baumkante

Der Abstand eines Schnittholzes vom Mark wird im allgemeinen als der Abstand des Flächenschwerpunktes eines Schnittholzquerschnitts vom Mark definiert [Teischinger 2006], [Reiter 2005] und [Glos 1999a] [Glos 1996] (Abb. 14. 58).

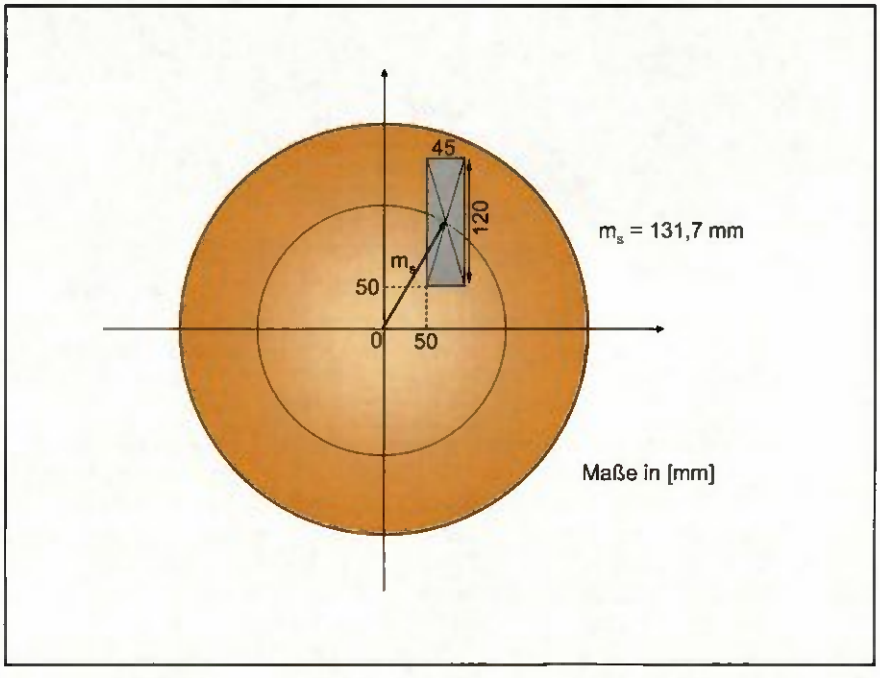


Abb. 14. 58: Flächenschwerpunkt als Markabstand eines Schnittholzes

6.2.1 Astigkeit

Die Astigkeit von Schnittholz verändert sich mit dem Markabstand des Schnittholzes [Glos 1996]. Um den reinen Einfluss des Markabstandes auf die Astigkeit des Schnittholzes abbilden zu können, müssen die anderen Einflussfaktoren im Versuch konstant gehalten oder rechnerisch berücksichtigt werden. Auch die unterschiedlichen Arten der Astigkeit müssen berücksichtigt werden. Wird die Ästigkeit durch den Durchmesser eines einzelnen Astes bezogen auf eine Schnittholzkante bestimmt, so ist bei konstanter Schnittholzdicke nicht zu erwarten, dass mit zunehmendem Abstand vom Mark die Ästigkeit abnimmt, da die Astdurchmesser im Rundholz mit dem Abstand vom Mark zunehmen. In Abb. 14. 59 ist eine solche Ästigkeit (DIN 4074, Kantholz) von Schnitthölzern mit unterschiedlichen Abmessungen und Markabständen dargestellt. Die Boxes der Boxplots schwanken bei gleicher Schnittholzdicke um etwa den gleichen Wertebereich. Signifikante Unterschiede zwischen den Medianen bei zunehmendem Markabstand sind nicht zu erkennen. Die Schnitthölzer mit einer Dicke von 40 mm haben eine deutlich höhere mittlere Ästigkeit als die Schnitthölzer mit einer Dicke von 50 mm und 60 mm. Dieser Unterschied könnte aber auch durch die unterschiedliche Rundholzastigkeit verursacht sein (Die statistischen Kennzahlen befinden sich in Anhang 4). Wäre dies der Fall, so müssten die Schnitthölzer unterschiedlicher Dicke bei Betrachtung einer anderen Ästigkeit wie z. B. der für Bretter nach DIN 4074 ebenfalls schlechtere Werte aufweisen (Abb. 14. 60). Für diese Ästigkeit weisen die unterschiedlich dicken Schnitthölzer jedoch sehr ähnliche Ästigkeiten auf.

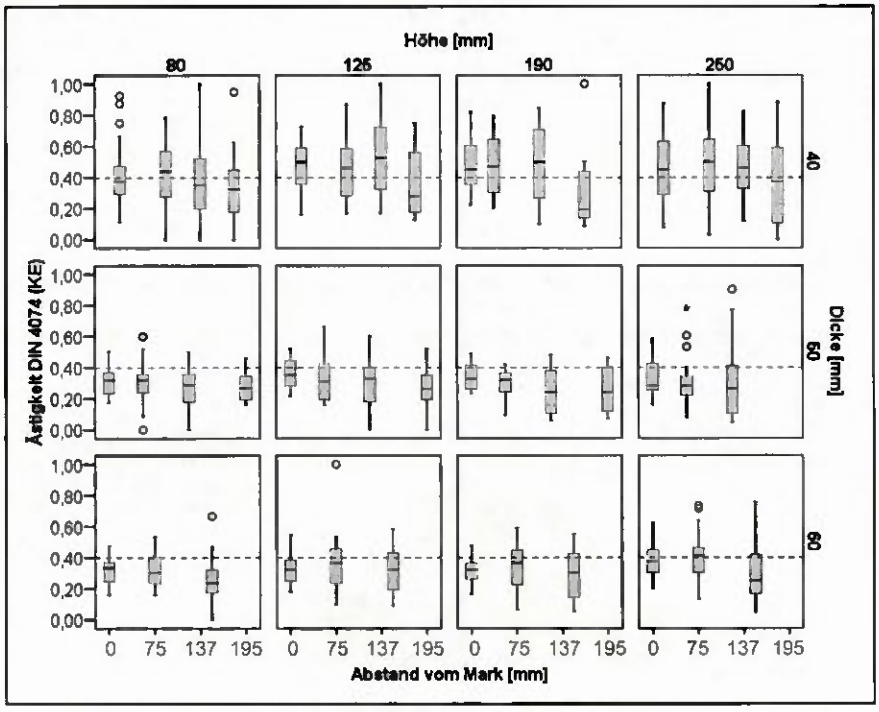


Abb. 14. 59: Einfluss der Schnittholzabmessungen und des Markabstandes (Flächenschwerpunkt) auf die Ästigkeit von Schnitthölzern [DIN 4074, Kantholz], 909 Datensätze aus [Glos 1996]

Eine schrittweise, vorwärts und rückwärts verlaufende Regressionsrechnung bestätigt den Einfluss der Dicke auf die Ästigkeit der Schnitthölzer (Anhang A4-4). Danach nimmt die Ästigkeit der 80 mm hohen Schnitthölzer um 14,3 % ab, wenn die Dicke um 10 mm oder 20 % zunimmt. Nimmt der Markabstand der 80 mm hohen Schnitthölzer von 100 mm nach 200 mm um 100 % zu, so nimmt die Ästigkeit um 7,8 % ab. Dieser Unterschied entspricht dem Unterschied zwischen marknah und markfern eingeschnittenen Hölzern. Dies bedeutet praktisch, dass man hochwertige schmale Kanthölzer nur sehr weit vom Mark entfernt gewinnen kann. Leichter ist es die Dicke und damit die Qualität der Kanthölzer zu erhöhen. Nimmt die Höhe der

Schnitthölzer von 80 mm auf 160 mm zu, so nimmt auch die Ästigkeit um 2,7 % zu. Diese Zunahme ist in der Praxis kaum von Bedeutung.

Würde man die Schnitthölzer nach DIN 4074 wie Kanthölzer sortieren, so ergäbe sich für die dünneren Schnitthölzer ein deutlich schlechteres Ergebnis. Mehr als 50 % der 40 mm dicken Schnitthölzer hätten in die niedrige Güteklasse S7 eingestuft werden müssen. Dies ist ein weiterer Hinweis darauf, dass bei Herstellung von Balkenschichtholz die Anforderungen an das Schnittholz sehr hoch sind. Es empfiehlt sich die Anwendung von Lamellen die mindestens 50 mm dick sind.

Betrachtet man für die gleichen Schnitthölzer die Ästigkeit nach [DIN 4074] für Bretter und Astansammlung, so ergeben sich Verhältnisse wie sie in Abb. 14. 60 zu sehen sind. Da die kantenparallelen Astdurchmesser auf die Höhe bezogen werden, ist mit einem Einfluss der Höhe auf die Ästigkeit zu rechnen. Betrachtet man immer die Schnitthölzer gleicher Höhe, so ist eine deutliche Abnahme der Ästigkeit mit zunehmendem Markabstand zu erkennen. Eine schrittweise, vorwärts und rückwärts laufende Regressionsrechnung (Anhang A4-4) bestätigt diese Annahme.

Wird bei einem Schnittholz mit einem Markabstand (Schwerpunktsabstand) von 100 mm die Höhe von 80 mm auf 160 mm erhöht, so nimmt die Ästigkeit um 19,1 % ab. Vergleicht man ein Schnittholz mit 80 mm Höhe in einem Abstand vom Mark von 100 mm mit dem gleichen Schnittholz in einem Abstand vom Mark von 200 mm, so nimmt die Ästigkeit um 32,4 % ab. Ein signifikanter Einfluss der Dicke ist nicht feststellbar.

In der Praxis sollten daher Bretter und Bohlen für tragende Zwecke mit einer Höhe größer als 125 mm und einem Abstand vom Mark von mehr als 100 mm eingeschnitten werden. Die schmäleren marknahen Schnitthölzer haben in der Regel fest verwachsene Äste und können daher nach [EN 1611] sortiert und als Hobelware verwendet werden (Abb. 14. 40).

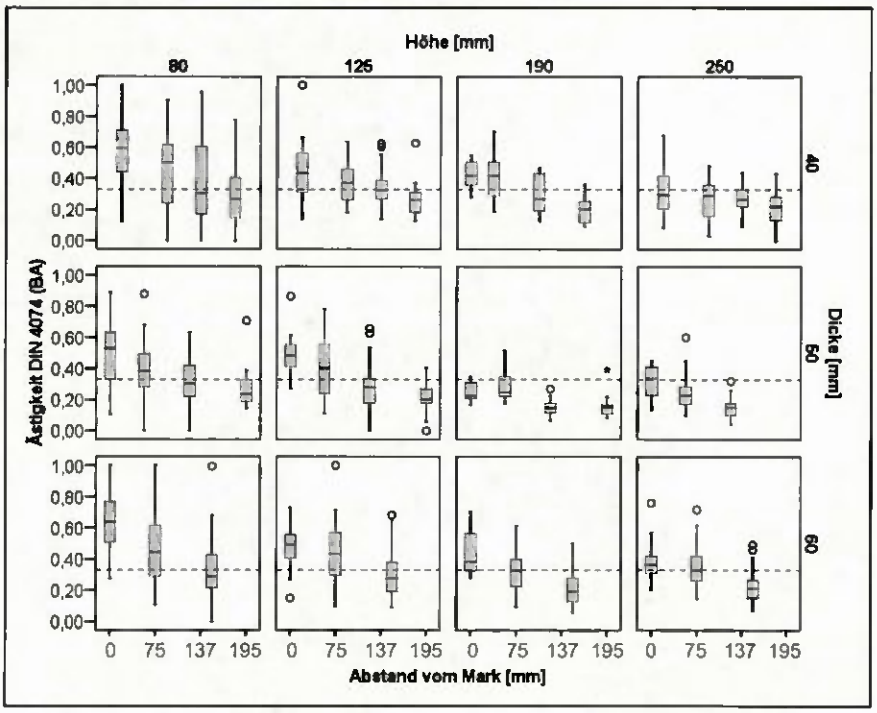


Abb. 14. 60: Einfluss der Schnittholzabmessungen und des Markabstandes (Flächenschwerpunkt) auf die Ästigkeit von Schnitthölzern [DIN 4074, Brett, Astansammlung], 909 Datensätze aus [Glos 1996]

Als dritte Ästigkeit sei noch die Knot-Area-Ratio (Astflächenanteil) nach ECE-Norm betrachtet (Abb. 14. 61). Es zeigt sich ein ähnliches Bild wie für die

Ästigkeit nach DIN 4074 für Bretter und Astansammlung. Bei der schrittweise durchgeführten Regressionsrechnung wird allerdings die Dicke als signifikanter Faktor für die Ästigkeit erkannt.

Wird bei einem Schnittholz mit einem Markabstand (Schwerpunktsabstand) von 100 mm die Höhe von 80 mm auf 160 mm erhöht, so nimmt die Ästigkeit um 11,7 % ab. Vergleicht man ein Schnittholz mit 80 mm Höhe in einem Abstand vom Mark von 100 mm mit dem gleichen Schnittholz in einem Abstand vom Mark von 200 mm, so nimmt die Ästigkeit um 26,1 % ab. Erhöht man die Dicke des gleichen Schnittholzes um 10 mm, so senkt sich der Astflächenanteil um 6,2 %.

Da der Astflächenanteil besonders gut mit der Zugfestigkeit von Schnittholz korreliert, sollten Brettschichtholzlamellen, die auf Zug beansprucht werden, breiter als 125 mm, dicker als 40 mm und markfern eingeschnitten sein.

Bei [Glos 1999b] sind weitere Schnitthölzer aus Stämmen von unterschiedlicher Qualität eingeschnitten worden und mit den Schnitthölzern aus [Glos 1996] verglichen worden. Die Werte der Reihe C stellen dabei die Mittelwerte aller 909 Schnitthölzer gruppiert nach Markabstandsklassen dar. Man erkennt, dass die Ästigkeit nach DIN 4074 für Kanthölzer erst bei sehr großem Markabstand deutlich abnimmt. Da die Schnittholzdimensionen in den verschiedenen Berichten gleich waren, sind die Unterschiede im wesentlichen auf die Stammholzunterschiede zurückzuführen. Diese Unterschiede sind für die Ästigkeit nach DIN 4074 für Kanthölzer deutlicher als für die Ästigkeit nach DIN 4074 für Bretter. Derartige Unterschiede wurden bisher beim Stammholz nicht berücksichtigt, da die Kanthölzer nach DIN 68365 (Tegernseer Gebräuche) sortiert wurden und dabei die Äste keine Beachtung fanden.

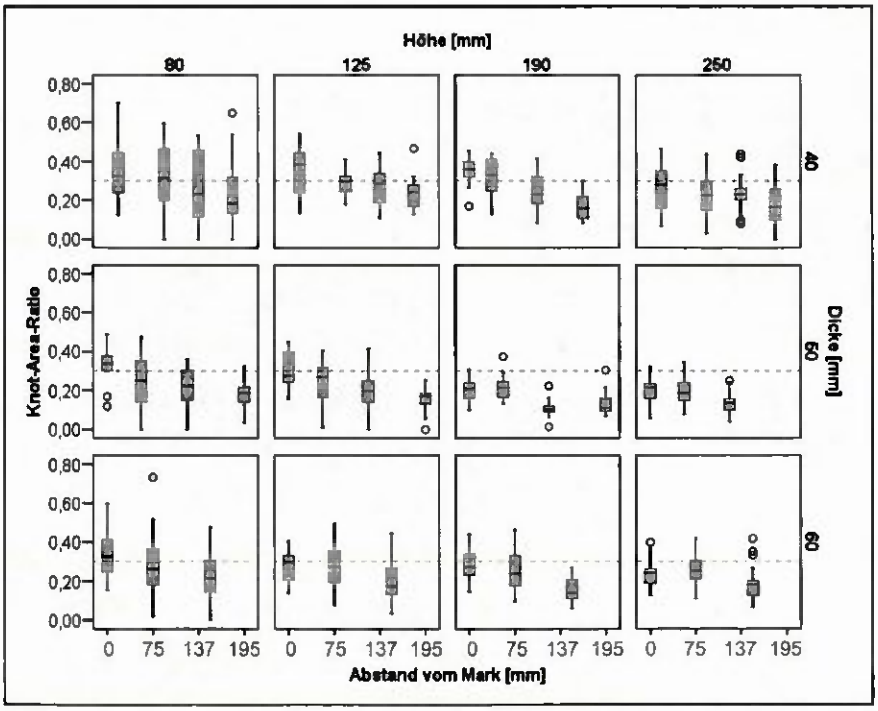


Abb. 14. 61: Einfluss der Schnittholzabmessungen und des Markabstandes (Flächenschwerpunkt) auf die Ästigkeit von Schnitthölzern [Knot-Area-Ratio, Astflächenanteil], 909 Datensätze aus [Glos 1996]

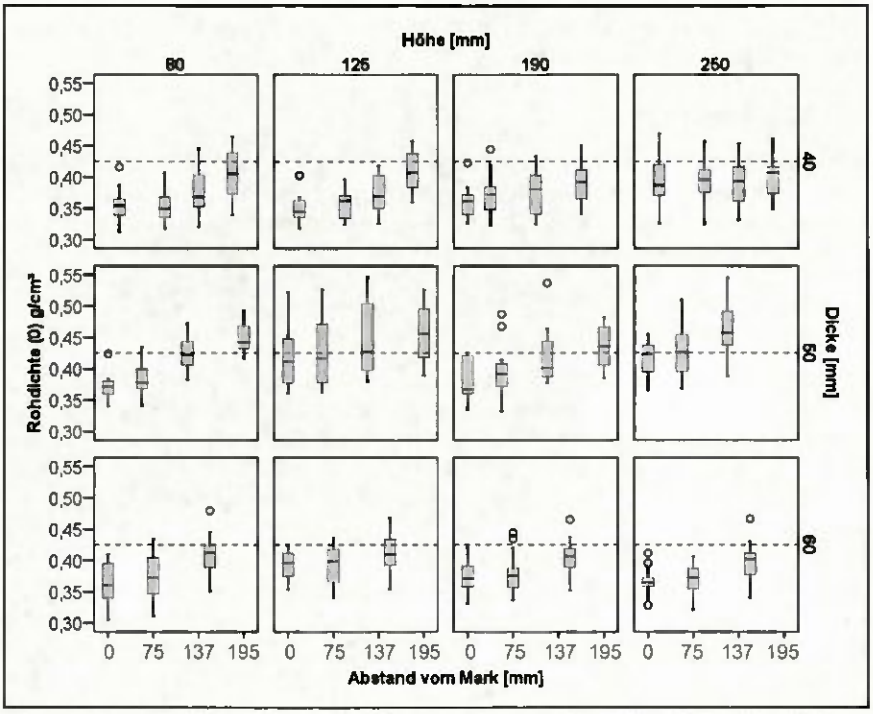


Abb. 14. 62: Rohdichteverhältnisse an Schnittholz bei unterschiedlichem Markabstand und verschiedenen Schnittholzabmessungen. Daten aus [Glos 1996]

6.2.2 Rohdichte

An fehlerfreien Kleinproben wurde schon festgestellt, dass die Rohdichte mit dem Abstand zum Mark zunimmt [Reiter 2005]] und [Teischinger 2006]. Wie sich dies auf das Schnittholz abbildet zeigt Abb. 14. 62. Bei kleinen Schnittholzabmessungen ist die Zunahme mit dem Markabstand deutlich. Bei den Schnitthölzern mit größeren Abmessungen wird die Zunahme undeutlich, da die äußeren Teile der Schnitthölzer schon in markfernen Bereichen des Rundholzquerschnitts liegen, haben sie auch insgesamt eine höhere Rohdichte.

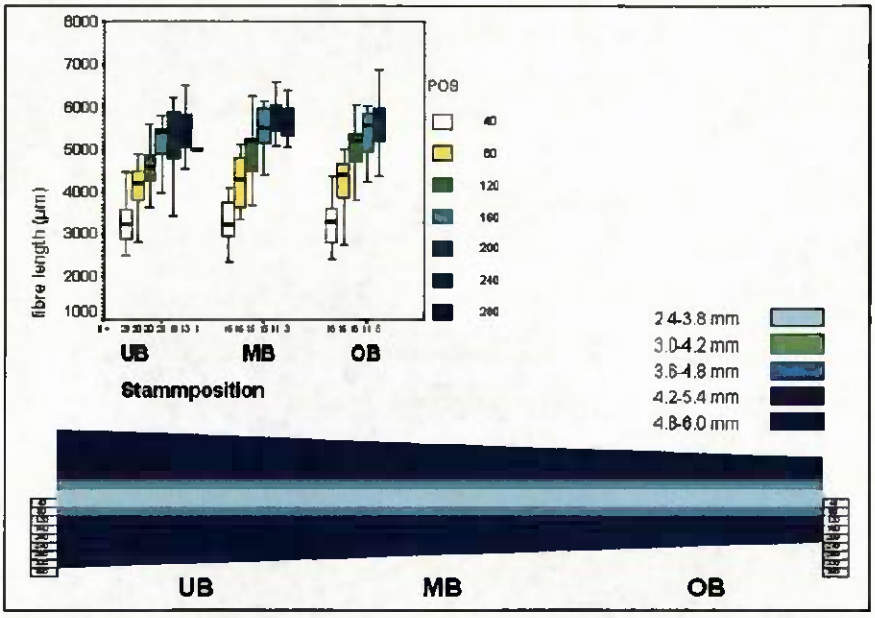


Abb. 14. 63: Faserlänge und Abstand vom Mark von fehlerfreien Werkstoffproben. [Teischinger 2006]

Die höhere Rohdichte in den äußeren Schichten wird von der visuellen Sortierung nicht berücksichtigt. Durch die Analyse eines Röntgenbildes vom

Schnittholz kann bei bekannter Holzfeuchte die Rohdichte ermittelt werden und zur Sortierung herangezogen werden.

6.2.3 Faserlänge

Die Faserlänge nimmt mit dem Abstand vom Mark zu [Teischinger 2006]. Dies bedeutet für das Schnittholz eine höhere Steifigkeit. Besonders Holzwerkstoffe aus Holzfasern profitieren von den doppelt so langen Fasern aus den äußeren Schichten der starken Stämme. Mitteldichte Faserplatten können bei sonst gleicher Steifigkeit deutlich leichter gemacht werden, oder bei gleicher Dichte eine höhere Steifigkeit erhalten.

6.2.4 Risse und Drehwuchs

Große Schnitthölzer stellen besondere Anforderungen an die Holztrocknung. Deshalb hat [Glos 1989] in einem Forschungsvorhaben die Rahmenbedingungen für die Trocknung von Schnitthölzern mit großen Abmessungen untersucht. Die Rissbildung in Abhängigkeit von den Schnittholzabmessungen und dem Einschnitt ist in Abb. 14. 64 dargestellt. Die Anzahl rissfreier Kanthölzer ist für die markfrei eingeschnittenen Schnitthölzer am größten. Die markhaltigen oder markgetrennten Kanthölzer unterscheiden sich nicht signifikant voneinander. Bei Schnitthölzern mit gedrungenen Querschnitten (160 x 160 mm²) sind die Risse sehr viel häufiger als bei schlanken Querschnitten (80 x 180 mm²).

Die Rissbreite ist bei markhaltigen Kanthölzern am größten und nimmt zu den markfrei eingeschnittenen Kanthölzern hin sehr stark ab. Auch hier sind die schlankeren Querschnitte gegenüber den gedrungneren im Vorteil.

Die Verdrehung von Kanthölzern nimmt mit der Faserabweichung oder dem Drehwuchs im Rundholz zu (Abb. 14. 32). Eine Faserabweichung von 3° bedeutet marknah eine stärkere Windung der Fasern um die Markröhre als markfern. Dies erklärt zum Teil die stärkere Verdrehung von Kanthölzern mit Markröhre (10 cm/m = 8°) gegenüber denen ohne Markröhre (10 cm/m = 2,5°).

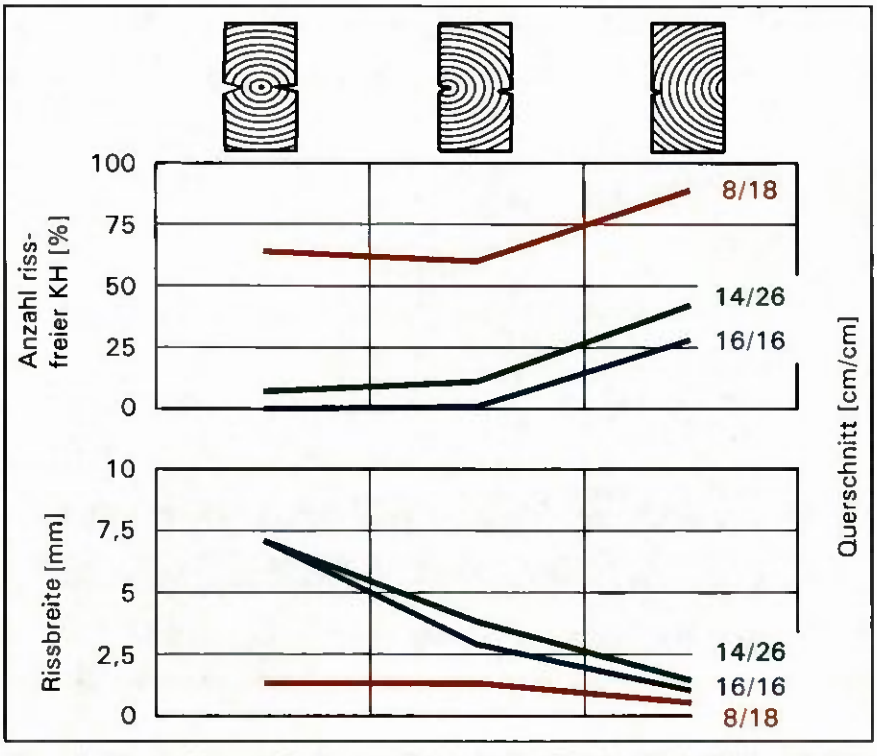


Abb. 14. 64: Anzahl und Breite von Rissen in Kanthölzern [Glos 1989] und [Glos 1991]

6.2.5 Steifigkeit

Die Steifigkeit von Bauprodukten hängt ab von ihrer Form und dem Elastizitäts- bzw. Schubmodul des Holzes. Der Elastizitätsmodul (E-Modul) ist eine formunabhängige Materialkenngröße, die den Zusammenhang zwischen Spannung und Dehnung bei der elastischen Verformung eines Körpers beschreibt [Glos 1991b]. Für einen Zugstab ist die Steifigkeit das Produkt aus E-Modul und Querschnittsfläche, beim Biegebalken ist die Steifigkeit das Produkt aus E-Modul und Flächenträgheitsmoment.

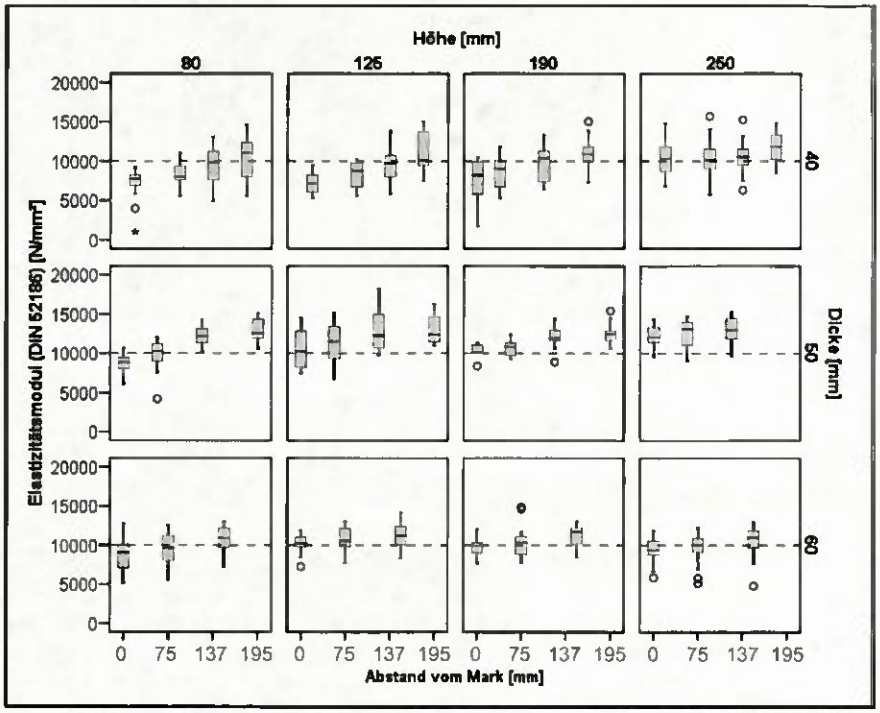


Abb. 14. 65: E-Modulverhältnisse an Schnittholz bei unterschiedlichem Markabstand und verschiedenen Schnittholzabmessungen. Daten aus [Glos 1996]

Nachdem E-Modul und Rohdichte eng miteinander korrelieren, war zu erwarten, dass in starken Stämmen mit der Rohdichte auch der E-Modul vom Mark bis zur Baumkante ansteigt. Für die Daten aus [Glos 1996] sind die E-Modulverhältnisse bei unterschiedlichem Markabstand und verschiedenen Schnittholzabmessungen in Abb. 14. 65 dargestellt. Die statistischen Kennzahlen sind in Anhang A4-6 aufgelistet.

6.2.6 Festigkeit

Die Festigkeit ist für die Bemessung von weit gespannten schlanken Trägern meist die maßgebende Größe. Sie stellt das Maximum der Spannung in einem Bauteil dar, das bis zum Bruch belastet wurde. Da die Festigkeit für Schnittholz in einem weiten Bereich streut, wird aus Sicherheitsgründen bei der Bemessung von Bauwerken eine charakteristische Festigkeit für Schnittholz und entsprechende Sicherheitsbeiwerte verwendet. Die charakteristische Festigkeit ist die 5%-Fraktile der Festigkeiten von repräsentativ ausgewähltem Schnittholz einer Festigkeits- oder Sortierklasse. Die Klassen sind in [DIN 1052] von 2004 Tabelle F.5 näher beschrieben. Die Übereinstimmung mit den gültigen europäischen Normen ist hergestellt. Die in Deutschland und in Europa üblichen Festigkeitsklassen für Nadelschnittholz sind C16, C18, C24, C30, C35 und C40. Die Zahl hinter dem "C" steht für die charakteristische Biegefestigkeit von hochkant belasteten Schnitthölzern.

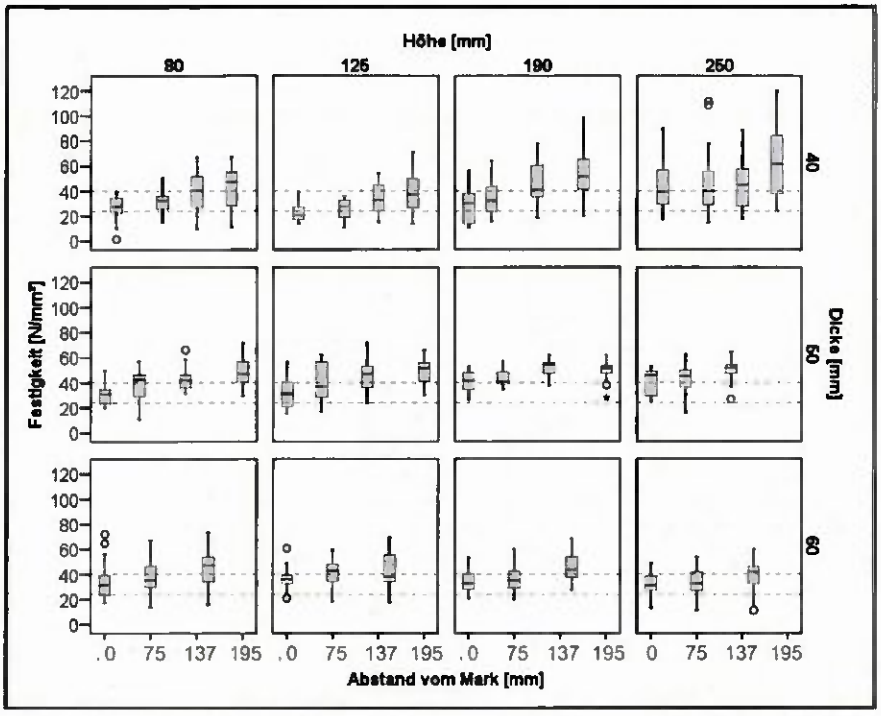


Abb. 14. 66: Festigkeitsverhältnisse an Schnittholz bei unterschiedlichem Markabstand (Flächenschwerpunkt) und verschiedenen Schnittholzabmessungen. Daten aus [Glos 1996]

In Abb. 14. 66 sind die Festigkeiten von Schnittholz mit den Höhen von 80 mm bis 250 mm und mit Dicken von 40 mm bis 60 mm in Form von Boxplots dargestellt. In den Boxes ist der Median (50%-Fraktil) der Festigkeitsverteilung als Querlinie dargestellt. Der Median steigt mit dem Abstand vom Mark für alle 40 mm dicken Schnitthölzer an. Der Anstieg wird mit zunehmender Höhe der Schnitthölzer geringer, da die "marknahen" hohen Schnitthölzer schon eine höhere Festigkeit haben als die marknahen niedrigen Schnitthölzer. Es zeigt sich auch hier der Effekt, dass die höheren Schnitthölzer rechnerisch einen größeren Markabstand haben als die niedrigen Schnitthölzer.

In Abb. 14. 66 sind neben den Boxes die charakteristischen Biegefestigkeiten von C24 und C40 zum Vergleich eingetragen.

Nun steigt nicht nur die Festigkeit mit dem Markabstand an, sondern auch der Elastizitätsmodul und die Rohdichte, während die Ästigkeit abnimmt. Diese Größen beeinflussen aber ihrerseits direkt die Festigkeit. Durch eine vielfache, lineare und schrittweise Regressionsrechnung kann geprüft werden, ob der direkte Einfluss des Abstandes vom Mark auf die Festigkeit in dem indirekten Einfluss über den Elastizitätsmodul, die Ästigkeit und die Rohdichte aufgeht oder erhalten bleibt. In Anhang A4-8 ist das Ergebnis der Regressionsrechnung ausführlich dargestellt. Die Rechnung bricht nach dem 6. Schritt ab und schließt die Variablen Markabstand (m) und Höhe (h) aus. Aufgenommen werden der hochkant (↓) ermittelte Elastizitätsmodul nach DIN 52186, der minimale, flachkant (→) Elastizitätsmodul wie er im Durchlauf von der Sortiermaschine Eurogrecomat 704 ermittelt wird, die Ästigkeiten (a) nach DIN 4074 (Einzelast, Kantholz) und nach ECE (Astflächenanteil), die Rohdichte (ρ) (u = 12%) des Gesamtschnittholzes und dessen Dicke (d).

Die Gleichung, mit der die Festigkeit (f) aus den genannten Größen mit einem Restfehler (1-R^2) von 31,4 % berechnet werden kann, lautet (Anhang A4-8):

$$f_{m,0,mean} = a_1 \cdot E_{0,mean,\downarrow} + a_2 \cdot E_{0,mean,\rightarrow} + a_3 \cdot \rho_{u=12} + a_4 \cdot a_{ECE} + a_5 \cdot a_{DEK} + a_6 \cdot d + a_7;$$

wobei[13]

$$a_1 = 0{,}004073$$
$$a_2 = 0{,}001003$$
$$a_3 = -52{,}51$$
$$a_4 = -22{,}34$$
$$a_5 = -13{,}67$$
$$a_6 = -0{,}307$$
$$a_7 = 37{,}39$$

Der Einfluss des Abstandes vom Mark (m) auf die Festigkeit geht indirekt über den Einfluss der anderen Größen, der durch die folgenden Gleichungen repräsentiert ist, in die Festigkeitsgleichung ein:

$E_{0,mean,\downarrow}$	=	14,4 · m	+	49,4 · d	+	6,82 · h	+	5503		Anhang A4-6
$\rho_{u=12}$	=	0,000223 · m	+	0,000476 · d			+	0,388		Anhang A4-5
a_{ECE}	=	-0,000703 · m	-	0,000393 · d	-	0,00178 · h	+	0,459		Anhang A4-4
a_{DEK}	=	-0,000481 · m	-	0,00562 · d	+	0,000211 · h	+	0,649		Anhang A4-4

Dass beide Elastizitätsmoduln einen signifikanten Beitrag zur Erklärung der Streuung der Biegefestigkeiten liefern, weist auf die ausgeprägte Anisotropie des Schnittholzes hin. Bei schlanken Bohlen, die hochkant auf Biegung beansprucht werden, ist die Steifigkeit flachkant wichtig, um das Ausknicken der Bohle bei Last zu verhindern. Bei Kanthölzern kann es bei geringer Steifigkeit quer zur Belastungsrichtung zur schiefen Biegung (Verdrehung) [Assmann 1995] der Kanthölzer kommen. Dies bedeutet für eine der unteren Kanten des Schnittholzes eine erhöhte Spannung (ca. 15 %), die zum Bruch an dieser Kante führen kann [Glos 1994].

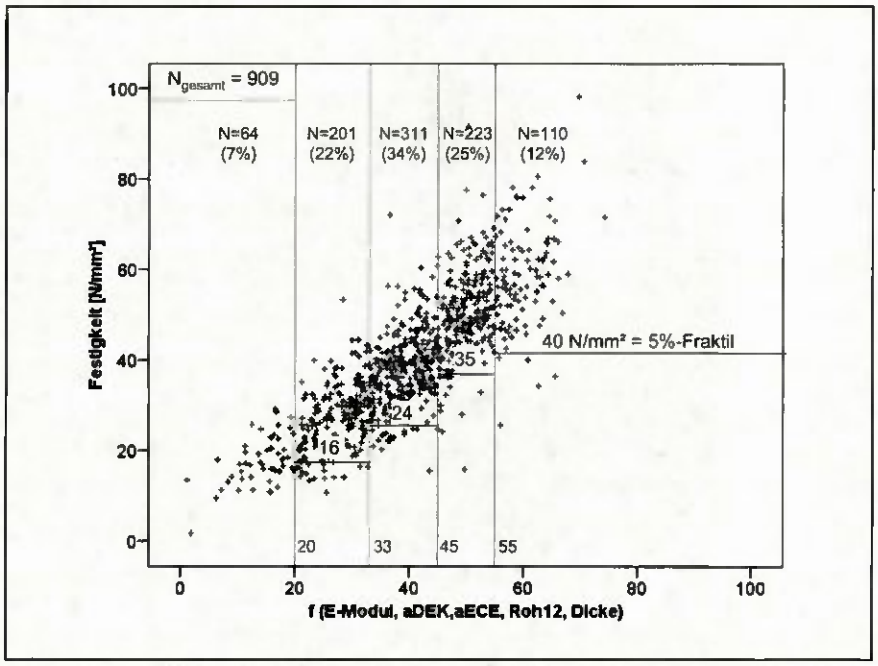


Abb. 14. 67: Maschinelle Sortierung von Schnittholz aus Starkholz in die Festigkeitsklassen C40M, C35M, C24M und C16M. Daten aus [Glos 1996]

Für die Sortierung von hochkant belasteten Lamellen für Balkenschichtholz kann es daher nützlich sein, beide Elastizitätsmoduln zerstörungsfrei zu ermitteln. Die maschinelle Sortierung der Schnitthölzer aus [Glos 1996] nach der oben ermittelten Gleichung ist graphisch in Abb. 14. 67 dargestellt. Man erhält 37 % Schnitthölzer mit hoher Tragfähigkeit (MS13 und MS17), 34 %

[13] Angaben auf 4 Stellen genau und nach Komma ausgerichtet

Schnitthölzer mit mittlerer Tragfähigkeit und 22 % Schnitthölzer mit geringer Tragfähigkeit.

Ein Vergleich der Sortierergebnisse von [Glos 1996] mittels Grecomat 704 und Biegefestigkeit, mit denen von Teischinger mittels Grecomat und Zugfestigkeit und denen von [Glos 1996] mittels hoch- und flachkant Elastizitätsmodul ist in Abb. 14. 68 zu sehen. Man erkennt deutlich die bessere Ausbeute in den höheren Sortierklassen bei Teischinger, aber auch den sehr hohen Anteil an nicht "klassifizierbaren" Schnitthölzern. Der Anteil an Schnitthölzer mit der Sortierklasse MS10 und besser liegt um 10% höher als bei [Glos 1996] und um 5% über dem mittels hoch- und flachkant Elastizitätsmodul gewonnenen Ergebnis. Wesentlich ist der Unterschied beim Anteil an MS17-Schnitthölzern, der bei Teischinger etwa doppelt so hoch ist wie bei den beiden anderen Sortierungen. Dieser Anteil wäre noch höher wenn die markfernen Schnitthölzer, die Teischinger nicht zu Lamellen sondern zu Seitenware gesägt hat, mit berücksichtigt worden wären.

Eine weitere Möglichkeit für das gute Sortierergebnis von Teischinger könnte eine hohe Rundholzqualität gewesen sein. Dies ist bei dem hohen Anteil von C× Stämmen, die Teischinger eingeschnitten hat, nicht anzunehmen.

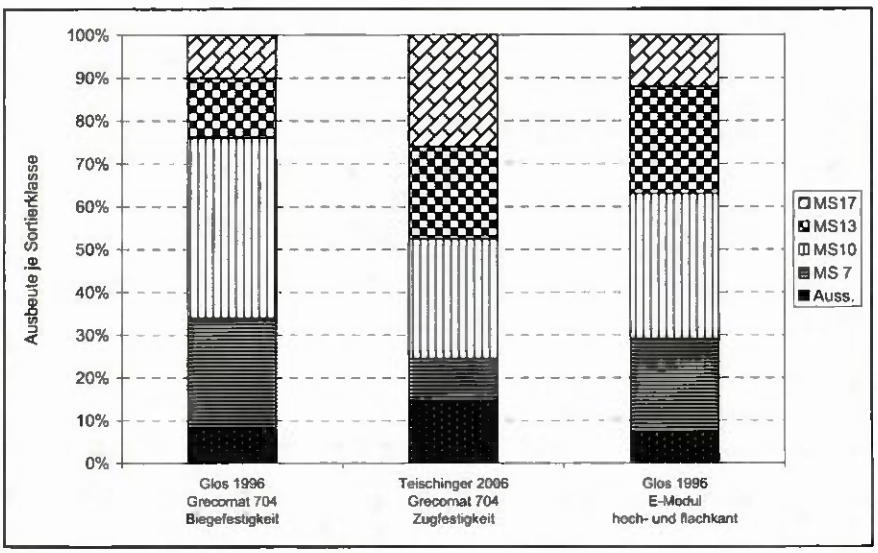


Abb. 14. 68: Sortierausbeuten bei maschineller Sortierung nach Biege- und Zugfestigkeit

Dieser Vergleich weist darauf hin, dass es nicht vorteilhaft ist, Bauholz aus Starkholz, das mit liegenden Jahrringen eingeschnitten wurde, zu hochkant belasteten Lamellen für Balkenschichtholz zu verarbeiten. Dagegen ist die maschinelle Sortierung von markfern eingeschnittenen Brettern für die Brettschichtholzherstellung vorteilhaft.

Der Anteil von Schnitthölzern mit einer tatsächlichen Festigkeit von 40 N/mm² und mehr liegt bei 50 %. Davon werden je nach Sortierung nur 12 % oder 26 % erkannt. Hier liegt noch ein erhebliches Potential zur Verbesserung der Sortierung. Der Anteil an Schnitthölzer die eine Festigkeit von weniger als 24 N/mm² haben liegt bei etwa 10 % bis 15 %. Von der Sortierung werden aber 25 % bis 35 % in diese Kategorie eingestuft. Auch hier besteht ein wichtiges Potential zur Verbesserung.

6.3 Eigenschaften von Schnittholz mit verschiedener Herkunft

Die Herkunft des Rundholzes bestimmt dessen Qualität:

- In der Praxis wird "Nordische Ware" als besonders hochwertig angesehen. Sie hat feine Jahrringe und kleine fest verwachsene Äste.

- Bayerisches Rundholz dagegen hat große Durchmesser und Längen aus denen breites und langes Schnittholz gesägt werden kann. Die Erdstücke der starken Stämme weisen astfreie Bereiche auf, aus denen Schnitthölzer für sichtbare Anwendungen gewonnen werden können.

- Das Rundholz aus Plantagen ist wegen der kurzen Umtriebszeiten preisgünstig, hat aber sehr breite Jahrringe und große Äste.

6.3.1 Einheimische Wuchsgebiete

Die Rohdichten nehmen mit der kürzer werdenden Vegetationsperiode ab. In größeren Höhenlagen sind die Sommer kurz und die Bäume können kaum Spätholz mit seiner hohen Dichte bilden. Die Jahrringe sind zwar fein, aber von geringer Dichte [Bernhardt 1964].

Tab. 14. 7: Wuchsgebiete in Bayern und ihre Zahl der Vegetationstage und Meereshöhe [Rittershofer 2007]

Nr.	Name des Wuchsgebietes	Vegetationstage pro Jahr	Meereshöhe über NN [m]
12	Tertiäres Hügelland	150	300-650
6	Frankenalb und Oberpfälzer Jura	148	340-730
13	Schwäb.-bayer. Schotterplatten und Altmoränenlandschaft	140	400-770
11	Bayerischer Wald	135	310-1450
14	Schwäb.-bayer. Jungmoräne und Molassevorberge	130	380-1050

Glos et. al. haben 1996 und 1999 Schnittholz aus unterschiedlichen Wuchsgebieten Bayerns untersucht. Die Meereshöhe der Wuchsgebiete 12 (Tertiäres Hügelland), 13 (Schwäbisch-bayerische Schotterplatten und Altmoränenlandschaft) und 14 (Schwäbisch-bayerische Jungmoräne und Molassevorberge) nimmt kontinuierlich zu und die Zahl der Vegetationstage ab (Tab. 14. 7). Das Wuchsgebiet 6 (Frankenalb und Oberpfälzer Jura) gleicht dem Wuchsgebiet 12 und das Wuchsgebiet 11 (Bayerischer Wald) hat je nach Berg- oder Tallage eine sehr weite Streuung in den Vegetationstagen.

Nimmt man in die Auswertung die Rohdichten der 403 Kanthölzer von [Reiter 2005] aus dem Wuchsgebiet 14 (130 Vegetationstage) mit hinzu, so ergibt sich die Regressionsbeziehung wie sie in Abb. 14. 69 dargestellt ist.

Bei einer Verlängerung der Vegetationszeit von 20 Tagen ergibt sich im Mittel eine Rohdichteerhöhung von 20 kg/m³ dies entspricht etwa 5 %. Markferne Schnitthölzer haben eine Rohdichteerhöhung von 34 kg/m³ was etwa 8 % entspricht. Damit liegt die Rohdichteerhöhung bei einer Verlängerung der Vegetationszeit um 20 Tage in der gleichen Größenordnung wie die Rohdichteerhöhung von 7,5 % bei einer Markabstandszunahme von 150 mm (Anhang A4-5). Aufsummiert kann der Rohdichteunterschied von marknahem Schnittholz aus hoch gelegenen Herkünften zu markfernem Schnittholz aus niedrig gelegenen Herkünften 15 % betragen.

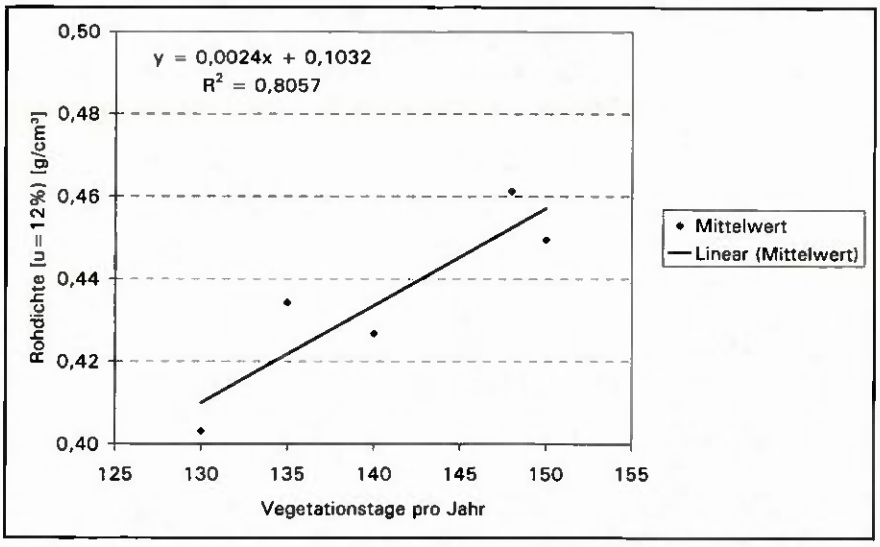


Abb. 14. 69: Rohdichte von Schnittholz mit unterschiedlicher Vegetationszeit einschließlich der 403 Hölzer von [Reiter 2005] aus Wuchsgebiet 14 (130 Vegetationstage)

[Teischinger 2006] stellt eine Abnahme der Rohdichte von 17 kg/m³ mit einer Zunahme der Meereshöhe von 400 m auf 750 m fest.

Eine Rohdichtezunahme mit der Zahl der Vegetationstage müsste eine Zunahme des Elastizitätsmoduls nach sich ziehen. Die hier untersuchten Schnitthölzer aus den Wuchsgebieten 12, 6, 11, 13 und 14 zeigen deutliche Unterschiede im Elastizitätsmodul (Abb. 14. 70). Der Einfluss der Länge der Vegetationszeit ist deutlicher als bei der Rohdichte und die Elastizitätsmodulunterschiede von etwa 20 % zwischen den Wuchsgebieten sind erheblich. Zusammen mit dem Einfluss des Markabstandes können Elastizitätsmodulunterschiede von 45 % auftreten.

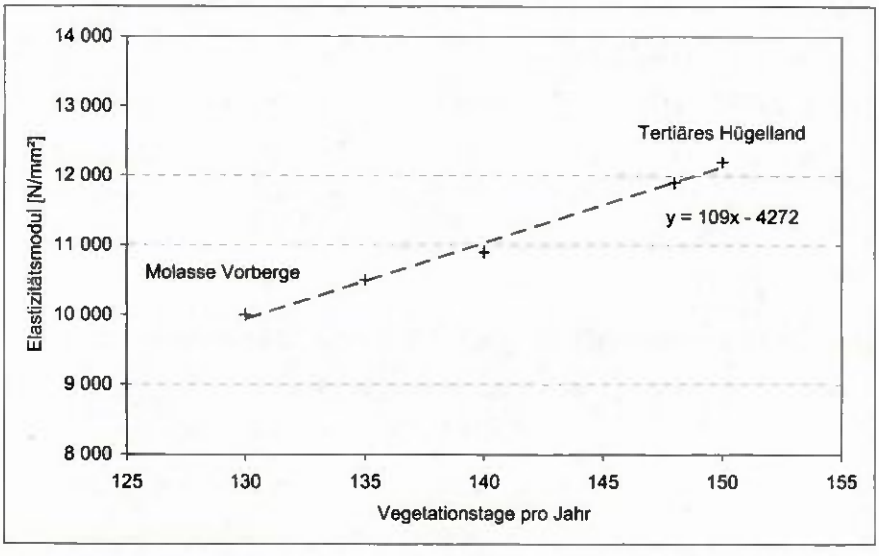


Abb. 14. 70: Elastizitätsmodul von Schnittholz in Abhängigkeit von der Vegetationsdauer

6.3.2 Nordische Wuchsgebiete

Die Rohdichte ist seit [Bauschinger 1887] und [Hartig 1898] eine wichtige Materialeigenschaft. Dass die Rohdichte mit zunehmender Jahrringbreite abnimmt, ist seither bekannt. [Bernhardt 1964] hat die ihm aus Mittel- und Nordeuropa bekannten Daten zur Beziehung von Rohdichte und Jahrringbreite verglichen. Die Regressionsgeraden für Schweden und Mitteleuropa aus

dieser Untersuchung sind in Abb. 14. 71 den Werten von Glos und Reiter gegenübergestellt. Ebenso ist die Regressionsgerade von [Teischinger 2006] in die Abbildung mit aufgenommen.

[Perstorper 1995] hat in seiner Untersuchung von schnell gewachsenen Fichten aus Südschweden die Jahrringbreite und die Rohdichte über dem Markabstand ermittelt. Aus diesen Angaben wurde eine Rohdichte-Jahrringbreite-Beziehung abgeleitet und in die Abbildung aufgenommen. Diese Beziehung entspricht weitgehend der Beziehung wie sie [Bernhardt 1964] aus den Daten von [Ericson 1960] für Südschweden berechnet hat. Der Wertebereich ist bei [Perstorper 1995] allerdings hin zu größeren Jahrringbreiten verschoben.

Die Werte für Mitteleuropa liegen nahe bei den Werten wie sie schon [Hartig 1898] ermittelt hat. Davon weichen die Werte von [Glos 1996] und von [Reiter 2005] erheblich ab. Die Schnitthölzer von [Glos 1996] stammten zwar aus dem Bayerischen Wald wie die Hölzer von [Hartig 1898], es ist aber nicht auszuschließen, dass die Schnitthölzer von [Glos 1996] aus Hochlagenbeständen stammten. Die Vegetationsdauer in diesen Lagen des Bayerischen Waldes kann durchaus gleich lang sein wie in Südschweden. Die Rohdichten der Schnitthölzer von [Reiter 2005] weisen ein noch niedrigeres Verhältnis der Rohdichte zur Jahrringbreite auf und liegen damit im Bereich für Schnittholz aus Mittelschweden.

Besonders gut stimmen die Regressionsgeraden der Hölzer von [Hartig 1898] und von [Teischinger 2006] überein.

Das Verhältnis von Rohdichte und Jahrringbreite ist für die nordischen Hölzer zwar niedriger als für die mitteleuropäischen Hölzer, ihre mittlere Jahrringbreite ist aber im allgemeinen gering, so dass die Rohdichte der nordischen Hölzer in etwa der von mitteleuropäischen Hölzern entspricht. Die mitteleuropäischen Fichten produzieren damit mehr Masse pro Jahr als die nordischen Fichten.

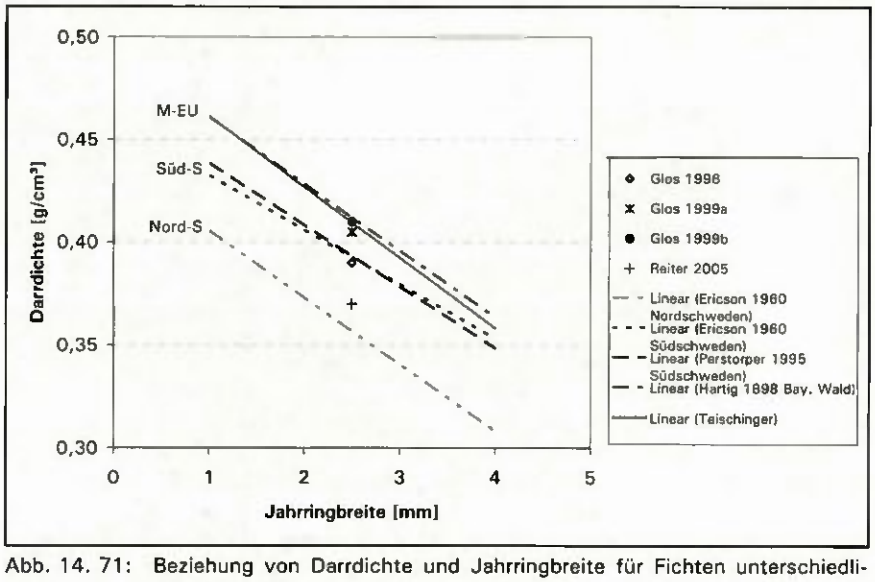


Abb. 14. 71: Beziehung von Darrdichte und Jahrringbreite für Fichten unterschiedlicher Herkunft

Neben Jahrringbreite und Rohdichte hat [Perstorper 1995] den Astflächenanteil KAR ermittelt. Dieser Astflächenanteil in Abhängigkeit vom Markabstand und von der Stammlage ist dem Astflächenanteil der Schnitthölzer von [Glos 1996] wie er sich aus der Regressionsgleichung in Anhang A4-4 ergibt in Tab. 14. 8 gegenübergestellt. Die Werte von [Perstorper 1995] entsprechen denen von [Glos 1996] bis auf den Wert der marknahen Schnitthölzer aus dem 1. Bloch. Hier haben die schwedischen Hölzer eine um 30 % geringere Ästigkeit als die bayerischen Hölzer. Da bei [Glos 1996] nicht nur 1. und 2.

Bloche, sondern auch 3. und 4. Bloche eingeschnitten wurden, sind die marknahen Werte höher als beim 1. Bloch von [Perstorper 1995] und gleichen mehr denen des 2. Bloches.

Tab. 14. 8: Vergleich des Astflächenanteils (KAR) der marknahen Schnitthölzer von [Perstorper 1995] und [Glos 1996] (Dicke 45 mm, Höhe 70 mm, Schnittfuge 4 mm)

	Knot-area-ratio		
Markabstand	Perstorper 1995		Glos 1996 Anhang A4-4
[mm]	Bloch 1	Bloch 2	BL 1 bis 4
22,5	0,19	0,24	0,25
51,5	0,26	0,27	0,28
100,5	0,31	0,32	0,30

Das marknahe Schnittholz von [Glos 1996] entspricht damit in drei wichtigen Materialeigenschaften dem Schnittholz aus gepflanzten südschwedischen Fichten.

6.3.3 Plantagen - Pflanzverband

Ein wichtiges Kennzeichen von Plantagen ist der weite Pflanzverband. Um Kosten zu sparen werden die Bäume in weitem Abstand zueinander gepflanzt. Je mehr Abstand die Bäume von einander haben, umso länger können ihre Äste werden. Mit der Astlänge nimmt in strenger Korrelation auch der Astdurchmesser zu [Seifert 2003]. Die Beziehung von Astdurchmesser und Astlänge für die Lichtkrone ist in Abb. 14. 72 zu sehen. In der Lichtkrone können sich Äste praktisch ungehindert entwickeln und folgen nach [Seifert 2003] der Beziehung:

$$AD = a_1 \cdot (1 - e^{(-a_2/AL)}) + 5;$$

$a_1 = 114{,}6$; $a_2 = 566{,}4$; Mittelwert

für AD_{max}:

$a_{1,max} = 125{,}8$; $a_{2,max} = 476{,}5$; oberer Grenzwert des 95-%-Signifikanzintervalls

AD: Astdurchmesser [mm]; AL: projizierte Astlänge [cm];

Bei einer Länge von 250 cm haben Äste einen mittleren Durchmesser von 46 mm und einen maximalen Astdurchmesser von 56 mm. Bei dieser Astlänge können 460 Bäume pro ha ohne Kronenspannung nebeneinander stehen (Verband: 5 m x 4,3 m = 5 x sin 60° · 5 m). Dies entspricht der Stammzahl von 100-jährigen Fichten nach [Assmann 1963] OH 40, mittleres Ertragsniveau. Die Durchmesser der unteren Äste der Lichtkrone dieser Bäume liegen damit deutlich über dem Grenzwert der Güte C nach [EN 1927] von 40 mm. Dies entspricht der bisherigen Erfahrung. Abschnitte nach Heilbronner Sortierung haben in der Regel die Güteklasse C.

Das Ergebnis der Abb. 14. 72 lässt sich aber auch auf Bäume anwenden, die ihr gesamtes Leben kronenspannungsarm erwachsen sind. Der Unterschied besteht darin, dass diese Bäume auf ihrer gesamten Länge Äste mit großem Durchmesser haben, da ihre grüne Krone fast bis zum Boden reicht. Bäume aus Plantagen sind im Anhalt daran ein Beispiel für kronenspannungsarm erwachsene Bäume.

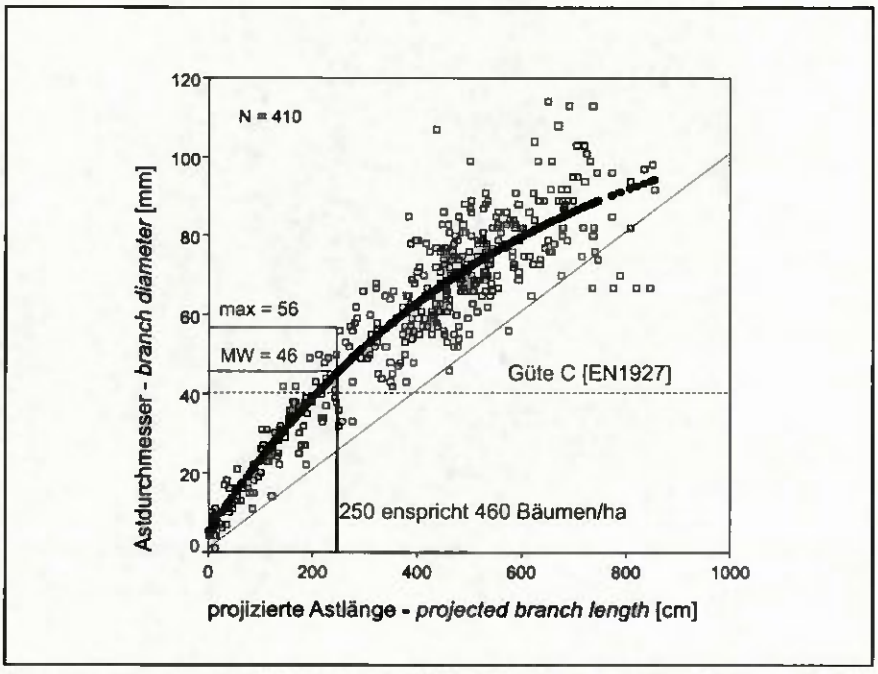


Abb. 14. 72: Astdurchmesser und Astlänge der Lichtkrone (Abb. 4-70 in [Seifert 2003])

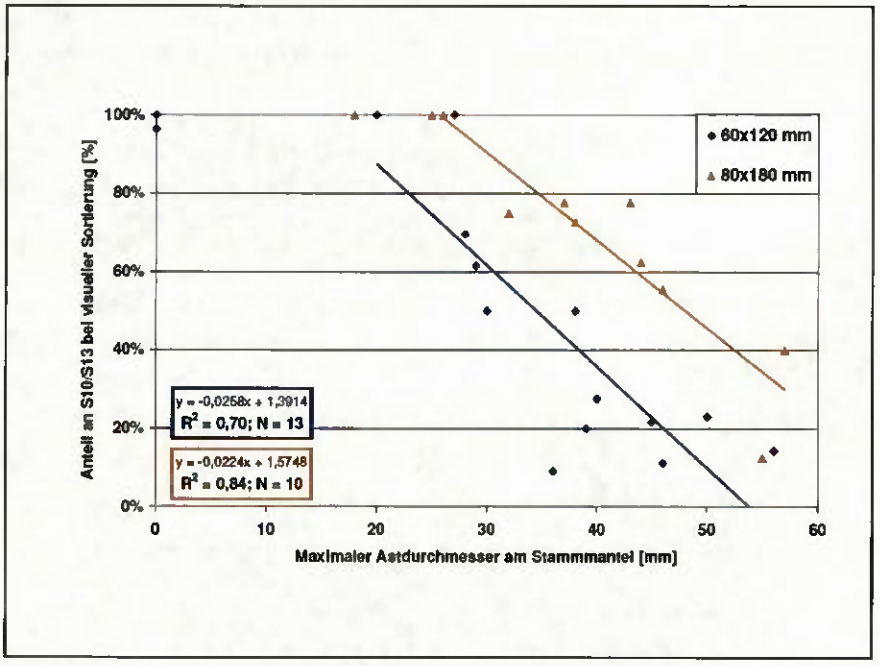


Abb. 14. 73: Maximaler Astdurchmesser und Anteil Bauholz der Sortierklasse S10 und besser [Reiter 2005]

Werden Bäume mit solchen Astdurchmessern eingeschnitten, so ergeben sich unterschiedliche Anteile an Bauhölzern der Güteklasse S10 [DIN 4074] (Abb. 14. 73). Danach erhält man mit einem maximalen Astdurchmesser von 40 mm am Baum einen Anteil von 70 % Bauholz der Sortierklasse S10 und besser (Kantholzabmessungen von 80 x 180 mm²). Steigt der Durchmesser auf 56 mm an, so geht der Anteil auf etwa 30 % zurück (Abb. 14. 74).

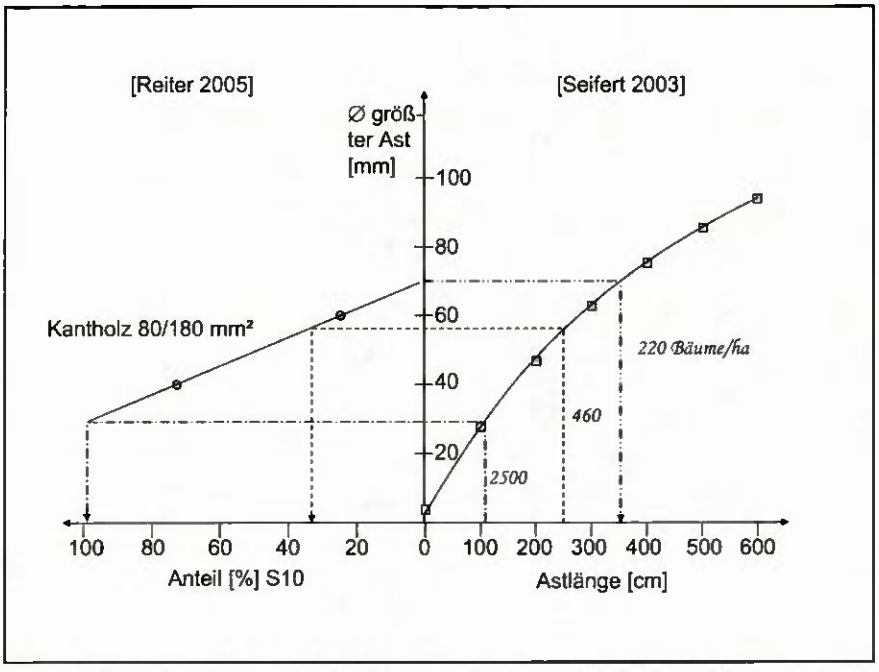


Abb. 14. 74: Auswirkung der Astlänge auf den Anteil an Bauholz der Sortierklasse S10 nach DIN 4074 nach [Seifert 2003] und [Reiter 2005]

Setzt man in die Regressionsgleichung von [Reiter 2005] in Abb. 14. 73 den maximalen Astdurchmesser von [Seifert 2003] ein, so erhält man eine direkte Beziehung von Astlänge (AL) und Anteil an Bauholz der Sortierklasse S10 nach [DIN 4074]:

$$S_{10} = -2{,}82 \cdot (1 - e^{(-AL/476{,}5)}) + 1{,}46;\ \text{Kanthölzer } 80 \times 180\ \text{mm}^2$$

Diese Beziehung bedeutet für eine Astlänge von 350 cm und mehr, dass kein Bauholz der Sortierklasse S10 mehr erzeugt werden kann. Andererseits besagt die Beziehung, dass aus Erdstämmen aus Beständen mit einer Ausgangsstammzahl von 2500 Bäumen 100 % Bauhölzer der Sortierklasse S10 erzeugt werden können (Abb. 14. 74). Diese Aussagen unterliegen selbstverständlich den angegebenen statistischen Unsicherheiten.

6.4 Eigenschaften bei stehenden und liegenden Jahrringen

Starkes Stammholz ermöglicht den Einschnitt von Brettern und Bohlen mit stehenden Jahrringen (Abb. 14. 75). Der Winkel α wird gebildet von der Tangente an den Jahrring und der Parallelen zur Breitseite des Schnittholzes. Für Rifthölzer ist der Winkel α zwischen 60° und 90° [Lohmann 2003].

6.4.1 Ästigkeit

Nicht nur die Jahrringlage wird durch den Riftschnitt beeinflusst, sondern auch die Ästigkeit. In Abb. 14. 76 sind vier Rundholzquerschnitte mit jeweils 6 Ästen und dem gleichen Einschnittbild dargestellt. Zwischen den 6 Ästen eines Astquirls ist jeweils ein 60° Winkel. Die vier Rundholzquerschnitte unterscheiden sich durch den Drehwinkel des Astquirls zur vertikalen Achse. Der Astquirl des ersten Rundholzquerschnittes ist der Ausgangszustand und die drei anderen Astquirle sind jeweils um 15° gedreht. Eine Drehung um 60° entspricht wieder dem Ausgangszustand. Eine Vorzugsrichtung gibt es nach [Seifert 2003] nicht. Alle Drehwinkel kommen etwa gleich oft vor.

Links in Abb. 14. 76 sind die Rifts und rechts die Flader dargestellt. Die marknahen Flader weisen immer mehrere Äste aus einem Quirl auf. Der Astflächenanteil der beiden inneren Flader ist sehr hoch. Bei den Rifts liegt nur dann ein hoher Astflächenanteil vor, wenn der Ast mehr oder weniger direkt von einer Schmalseite zur anderen verläuft. Ein solcher einzelner Ast kann durch einen kurzen Kappschnitt entfernt werden.

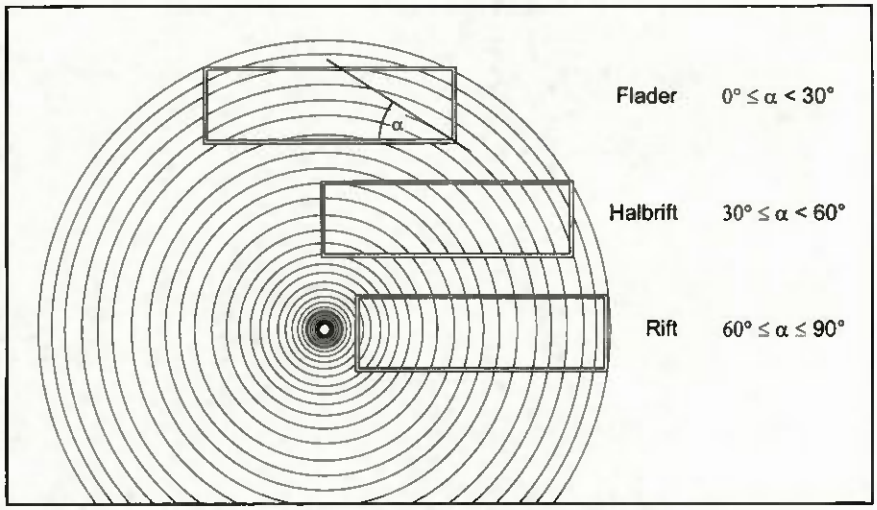


Abb. 14. 75: Schnitthölzer mit stehenden und liegenden Jahrringen

In den Rifts treten nur sehr selten 2 und mehr Äste in einem Brettabschnitt von 150 mm Länge auf (Abb. 14. 76). Astansammlungen wie sie nach [DIN 4074] berücksichtigt werden müssen und wie sie in marknahen Fladern die Regel sind, kommen kaum vor. Die Bereiche mit Faserstörungen um und zwischen den Ästen wirken sich daher weniger stark aus.

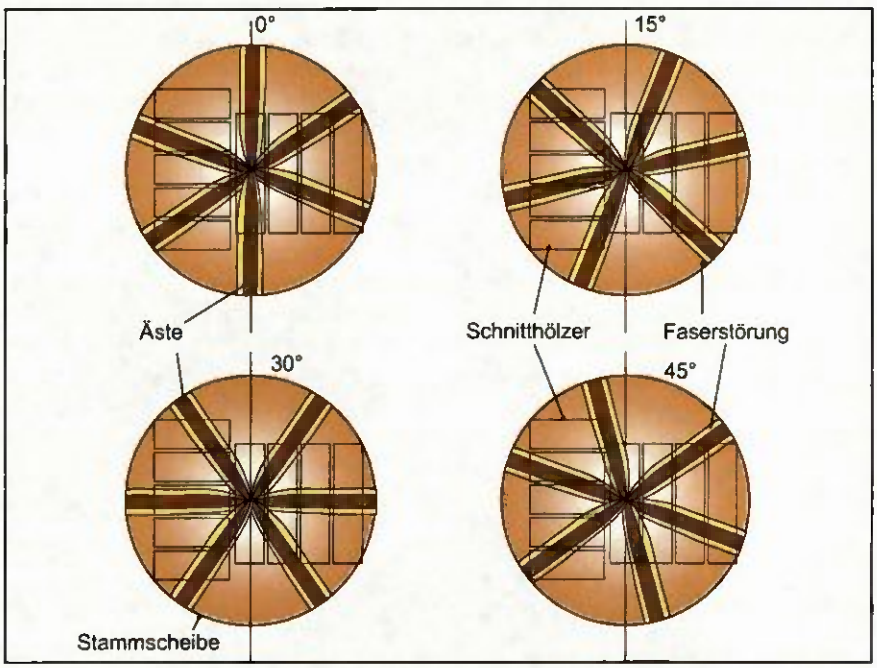


Abb. 14. 76: Lage von Schnitthölzern mit stehenden und liegenden Jahrringen im Stammquerschnitt und zu den Astquirlen

6.4.2 Rohdichte

Durch den Riftschnitt werden nur markferne Schnitthölzer mit überdurchschnittlicher Rohdichte erzeugt. Innerhalb der Rifts bildet sich der Rohdichtegradient wie er im Stammholz vorliegt ab. Es entsteht dadurch ein eigener Rohdichteverteilungstyp (Abb. 14. 77). Diese Rohdichteverteilung wirkt sich auf die Biegesteifigkeit der Schnitthölzer aus [Glos 1994]. Werden die Rifts oder Halbrifts hochkant mit der höheren Rohdichte in der Zugzone belastet, so wirken sie weicher als Flader mit der gleichen Rohdichte [Assmann 1995].

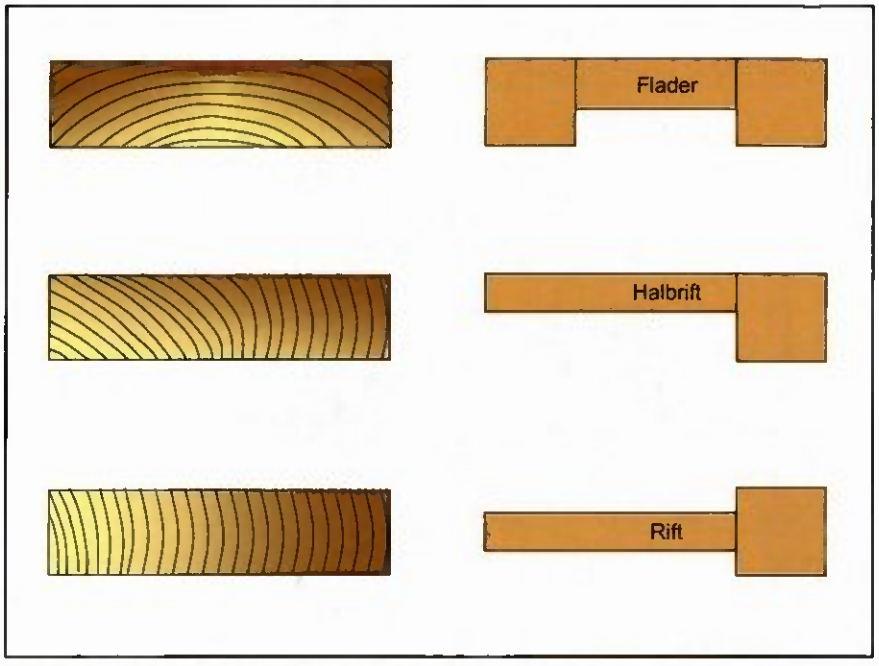


Abb. 14. 77: Rohdichteverteilungstypen von Flader, Halbrift und Rift

6.4.3 Maßhaltigkeit und Formstabilität

Rifts zeichnen sich durch ein gleichmäßiges Schwindverhalten aus, so dass Schüsselung und Verdrehung kaum vorkommen [Merforth 2000] und [Mehlin 2001]. [Mehlin 2001] gibt für die Rifts eine Verdrehung von 1,1 mm/m und für die Flader eine Verdrehung von 2,7 mm/m bei Kanteln und 3,0 mm/m bei Dielen an (Tab. 14. 9).

Die Faserneigung gibt [Mehlin 2001] bei den Rifts mit 6,7 mm/m und bei den Fladern mit 12,5 mm/m bei den Kanteln und mit 32,5 mm/m bei den Dielen an. [Merforth 2000] gibt die Faserneigung mit 25 mm/m an.

[Mehlin 2001] stellte an 35 % der Rifthölzer nach dem Trocknen Risse fest. An den Fladern stellte sie an 100 % der Kanteln und an 71 % der Dielen nach dem Trocknen Risse fest. Rifthölzer haben demnach nur halb so viele Risse wie Flader.

Längskrümmungen wie Kurve und Bogen können aufgrund von einseitigem Druckholzanteil dennoch auftreten. [Mehlin 2001] gibt für die Rifts eine Längskrümmung der Schmalseite (Kurve) von 3,3 mm/m und ein Kurve von 2,3 mm/m bei Kanteln und 2,2 mm/m bei Dielen an. Die Kurve von Rifts ist zwar höher als bei Fladern, sie liegt aber noch deutlich unter dem Grenzwert von 8 mm/m nach [DIN 4074] für die Sortierklasse S10.

Tab. 14. 9: Maßhaltigkeit und Formstabilität von Rifthölzern gegenüber Fladerhölzern

	Einheit	Rifts	Flader	
			Kanteln	Dielen
Verdrehung	mm/m	1,1	2,7	3,0
Faserabweichung	mm/m	6,7	12,5	32,5
Längskrümmung	mm/m	3,3	2,3	2,2
Risse	%	35	100	71

Die Dickenschwindung ist bei Rifthölzern durch das hohe tangentiale Schwindmaß besonders ausgeprägt und muss beim Einschnitt durch eine Maßzugabe berücksichtigt werden.

6.4.4 Steifigkeit und Elastizitätsmodul

Vorbemerkung: Der Elastizitätsmodul in [N/mm²] lässt sich statisch oder dynamisch ermitteln. Dabei entspricht dem durch Ziehen oder Biegen ermittelten E-Modul (E_{stat}) der E-Modul aus Längsschwingung (dynamischer E-Modul: E_{dyn}). Der Unterschied besteht darin, dass die Kräfte und Verformungen beim Ziehen und Biegen größer sind als beim Schwingen. Der Unterschied wird durch eine Umrechnung von statischem zu dynamischem E-Modul der Form:

$E_{stat} = 0{,}971 \cdot E_{dyn}$; nach [Glos 2004] Beratungsausschuss DIN 4074

berücksichtigt.

Der Einfluss der Holzfeuchte auf den dynamischen E-Modul wurde durch folgende Umrechnung berücksichtigt:

$E_{12\%} = E_{\omega} / (1 - 0{,}01 \cdot (\omega - 12)$; [Rautiainen 2007]

wobei $\omega :=$ aktuelle Feuchte des Schnittholzes [%]

Zug-E-Modul und Biege-E-Modul sind so lange gleich, wie die verglichenen Stichproben großen Umfang haben und die darin vorkommenden Schnitthölzer ein weites Spektrum an Abmessungen, Herkunft und Einschnitt aufweisen [Glos 1994].

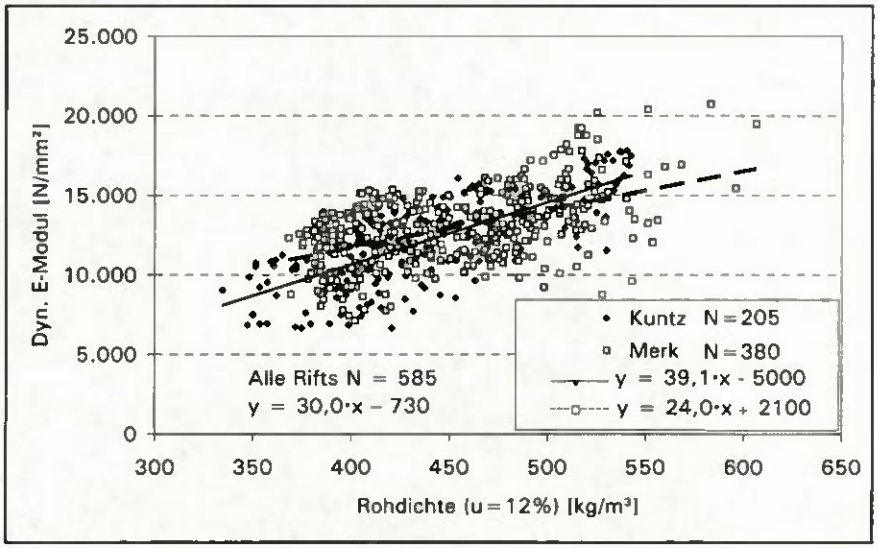


Abb. 14. 78: Rohdichte und dynamischer E-Modul von Rifthölzern aus Starkholz

Um den Einfluss des Einschnitts auf den dynamischen E-Modul zu untersuchen, wurde an Schnittholz mit stehenden Jahrringen aus starkem Stammholz aus zwei Betrieben in Süd- und Westdeutschland der dynamische E-Modul und die Rohdichte nach der technischen Trocknung ermittelt. Die Schnitthölzer hatten die Abmessungen 34 x 134 mm² (380 Stück) und 45 x 110 mm² (205 Stück) und waren zwischen 4 m und 5 m lang. Das Ergebnis ist in Abb. 14. 78 dargestellt. Die Werte der Rohdichte (ρ_{12}) streuen zwischen 300 kg/m³ und 600 kg/m³ und die Werte des dynamischen E-Moduls streuen zwischen 6.500 N/mm² und 21.000 N/mm². Die Streubereiche der beiden Herkünfte überlappen sich weitgehend. In die Abbildung sind die beiden Regressionsgeraden nebst Gleichung eingetragen. Die beiden

Geraden schneiden sich etwa bei mittleren Rohdichte- und E-Modulwerten der beiden Stichproben. Die gemeinsame Regressionsgerade hat die Gleichung:

$$E_{dyn} = 30{,}0 \cdot \rho_{12} - 730.$$

Zum Vergleich mit dem herkömmlichen Fladerschnitt ist die Regressionsgerade zwischen Rohdichte und dynamischem E-Modul von 2369 Schnitthölzern verschiedenster Abmessungen aus [Glos 1996], [Glos 1999a] und [Glos 1999b] der Regressionsgerade für die Rifthölzer in Abb. 14. 79 gegenübergestellt.

Die Gleichung für die herkömmlich eingeschnittenen Hölzer lautet:

$$E_{dyn} = 31{,}7 \cdot \rho_{12} - 3.445;$$

Um diese Regressionsgerade sind die Geraden des 95%-Konfidenzintervalls eingezeichnet. Sie haben die Gleichungen:

$$E_{dyn,95,oben} = 33{,}0 \cdot \rho_{12} - 2.817;$$

$$E_{dyn,95,unten} = 30{,}3 \cdot \rho_{12} - 4.073;$$

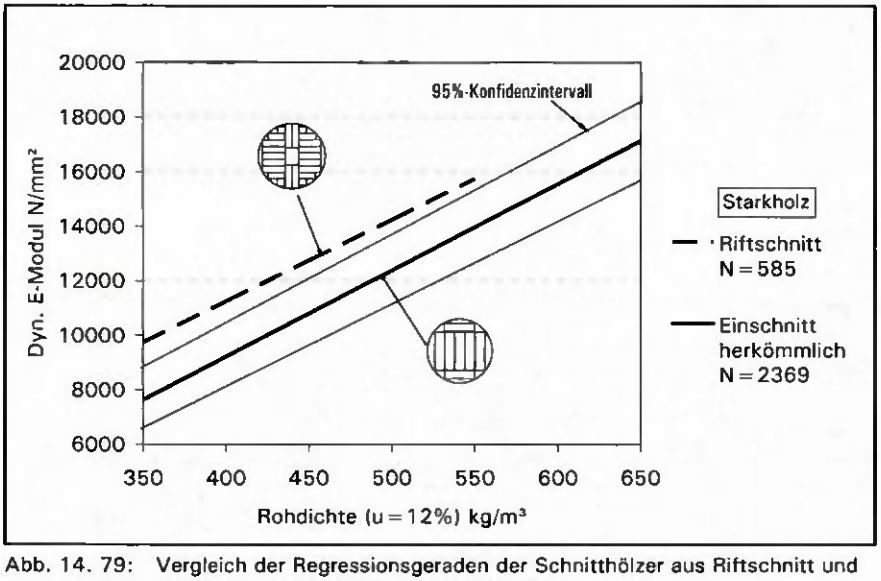


Abb. 14. 79: Vergleich der Regressionsgeraden der Schnitthölzer aus Riftschnitt und aus herkömmlichem Einschnitt (Flader)

Die Regressionsgerade der Schnitthölzer mit stehenden Jahrringen liegt vollständig außerhalb des Konfidenzintervalls. Dafür kann es zwei Ursachen geben. Entweder die beiden Stichproben sind tatsächlich verschieden voneinander, oder die Schnitthölzer mit stehenden Jahrringen waren aus Rundholz mit geringer Ästigkeit.

Um dies zu überprüfen, wurden an den Stammabschnitten der Stichprobe "Kuntz" die Durchmesser des größten Astes gemessen. Die Rohdichte und der dynamische E-Modul der beiden Schnittholzgruppen sind in Abb. 14. 80 dargestellt. Die Rohdichte- und E-Modulwerte der Schnitthölzer aus den normalastigen Stämmen liegen über denen der Schnitthölzer aus den grobastigen Stämmen. Dies drückt sich in der Lage der beiden Regressionsgeraden aus. Die beiden Geraden haben zwar nahezu die gleichen Steigungen, aber die konstanten Glieder unterscheiden sich um 1.230 N/mm².

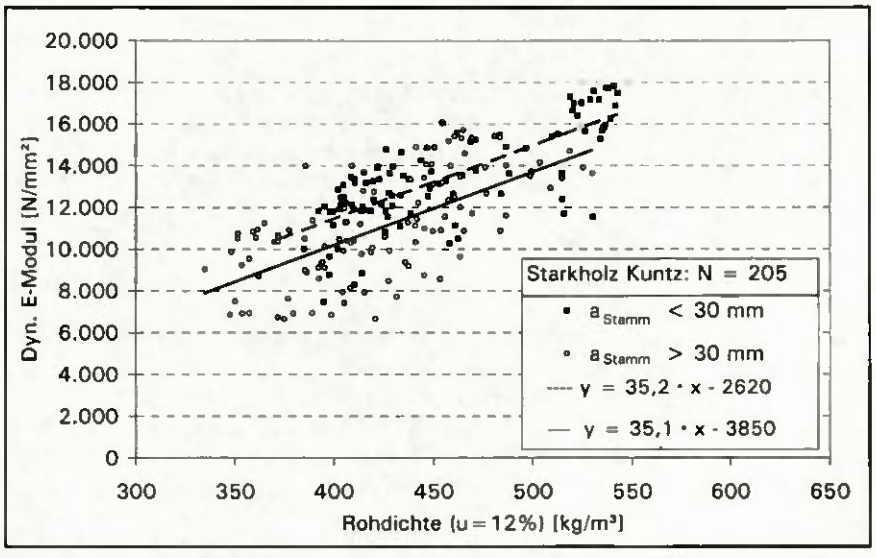


Abb. 14. 80: Rohdichte und dynamischer E-Modul der Schnitthölzer der Stichprobe "Kuntz" getrennt nach dem größten Astdurchmesser des Rundholzabschnittes

Die beiden Regressionsgeraden sind in **Abb. 14. 81** der Regressionsgerade und dem 95%-Konfidenzintervall der Schnitthölzer aus herkömmlichem Einschnitt gegenübergestellt. Die Regressionsgerade für die Schnitthölzer aus normalastigem Rundholz liegt deutlich außerhalb des 95%-Konfidenzintervalls, während die Regressionsgerade für die Schnitthölzer aus grobastigem Rundholz zum Teil innerhalb des 95%-Konfidenzintervalls liegt.

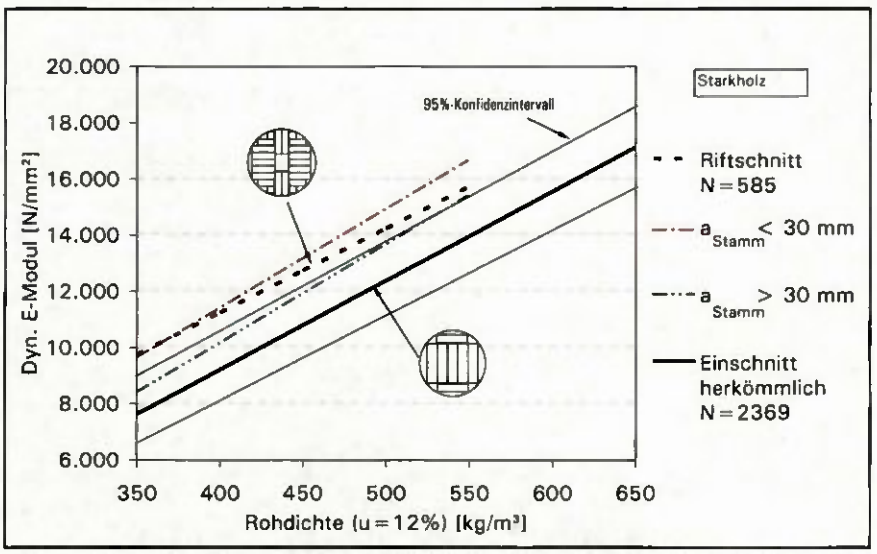


Abb. 14. 81: Vergleich der Regressionsgeraden der Schnitthölzer aus Riftschnitt aus unterschiedlichen Rundholzqualitäten mit denen von Schnittholz aus herkömmlichem Einschnitt (Flader)

Da die herkömmlich eingeschnittenen Rundhölzer normale Astigkeit hatten, sollte deren Regressionsgerade mit der von den Rifthölzern aus normalastigem Rundholz verglichen werden. Bei einer mittleren Rohdichte von 450 kg/m³ haben die herkömmlich eingeschnittenen Hölzer einen dynamischen E-Modul von 10.800 N/mm² und die Rifthölzer aus normalastigem Rundholz einen E-Modul von 13.200 N/mm². Der Unterschied beträgt 2.400 N/mm² oder 22 %.

Der Unterschied zwischen den beiden Stichproben aus Riftschnitt und herkömmlichem Einschnitt ist demnach nicht auf die gute Rundholzastigkeit, sondern auf die Einschnittart zurück zu führen.

7 Zuordnung von Massivholz aus starkem Stammholz zur optimalen Verwendung

Nachdem die Anforderungen an Bauprodukte aus Massivholz und Holzwerkstoffen analysiert und das Potential von Schnittholz aus Starkholz aufgezeigt worden ist, kann dieses Wissen zur Zuordnung von Massivholz aus starkem Stammholz zur optimalen Verwendung herangezogen werden. Die Zuordnungen werden für die Bauproduktgruppen "Kanthölzer und Träger" und "Bretter und Brettbauteile" getrennt vorgenommen.

7.1 Kanthölzer und Träger

Die Bauproduktgruppe "Kanthölzer und Träger" ist bisher aus Bauholz nach Liste gefertigt worden. Dabei wurde nur normale Tragfähigkeit (S10 nach DIN 4074) und nicht sichtbare Oberfläche unterstellt. Die Vielfalt an Querschnitten und Längen stand im Vordergrund. Damit können aber Anforderungen der Kunden an filigrane Konstruktion und sichtbare Oberflächen nicht befriedigt werden.

Daher wird die Bauproduktgruppe "Kanthölzer und Träger" einerseits nach Oberflächenqualität in die drei Untergruppen "verdeckt", "sichtbar" und "erlesen" untergliedert und andererseits nach Tragfähigkeit in die Untergruppen mit geringer, normaler und hoher Festigkeitsklasse getrennt (Tab. 14. 10).

Damit einerseits die Anforderungen der Kunden erfüllt werden können und andererseits die Menge an verschiedenen Produkten durch die Zahl der verschiedenen Abmessungen nicht unüberschaubar wird, muss sich die Auswahl auf Standardabmessungen beschränken [DIN 4070] und (Abb. 14. 30).

Tab. 14. 10: Gliederung der Bauproduktgruppe "Kanthölzer und Träger" nach Tragfähigkeit und Oberflächenqualität

Tragfähigkeit	Oberflächenqualität		
	Verdeckt	Sichtbar	Auslese
gering C16/C18	•Stiele in Holzrahmenbau, •Unterkonstruktion im Innenausbau	•Balkenstapeldecke in Einfamilienhaus	•Kanthölzer an Fassade
mittel C24	•Kanthölzer und Balken in verkleideter Decke, •Dachlatten	•Sichtbare Balkendecke	•Sichtbare Pfette in Einfamilienhaus
hoch C35/C40	•Träger für Messehalle	•Deckengleicher Unterzug, •Zuggurte in HBV-System - Mehrgeschossbauweise	•Filigrane Pfosten-Riegel-Konstr. für Holzleichtbeton oder Glasfassade - Mehrgeschoßbauweise

7.1.1 Kanthölzer mit geringer Tragfähigkeit

Anforderungsprofil

Schnittholz mit geringer Tragfähigkeit muss in Deutschland der Sortierklasse MS7/S7 nach DIN 4074 entsprechen. Für den europäischen Bereich sind die Anforderungen der Festigkeitsklasse C18 nach EN 338 zu erfüllen.

Potenzial von starkem Stammholz

Bei der Sortierung von Schnittholz aus starken Stämmen fallen 25 % bis 30 % Hölzer mit geringer Tragfähigkeit an (Abb. 14. 68). Ein Teil dieser Kanthölzer entstammt dem marknahen Bereich der unteren Stammabschnitte. Die Äste sind mittelgroß und fest verwachsen. Für eine normale Tragfähigkeit fehlt die nötige Rohdichte. Ein anderer Teil stammt aus dem oberen Stammbereich und hat hohe Rohdichte mit fest verwachsenen sehr großen Ästen. Der dritte Teil dieser Kanthölzer stammt aus dem mittleren Stammbereich mit mittlerem Markabstand und hat normale Rohdichte aber große lose Äste. Diese Hölzer lassen sich auf die drei Oberflächengüteklassen folgendermaßen aufteilen:

Auslesequalität

Anforderungsprofil				
Tragfähigkeit		*Oberflächenqualität*		
		verdeckt	sichtbar	erlesen
		lose Äste krumm rissig	fest verw. Äste leicht gekrümmt rissarm	einzelne Äste gerade rissfrei
gering	astig (S7) leicht weich			X
mittel	astig (S10) mittelschwer biegsam			
hoch	nahezu astfrei schwer steif			

Nach [EN 1611] sind die Hölzer der Güteklasse G-0 und G-1 und nach [Nordisches Holz 1994] sind die Hölzer der Güteklasse A von erlesener Qualität (***Anforderungen in Teilprojekt 5***). Nach [EN 1611] sind bei Kanthölzern der Güteklasse G-1 noch einzelne lose Äste mit einem Durchmesser bis 33 mm zulässig. Der größte fest verwachsene Ast darf sogar bis 43 mm Durchmesser haben. Diese Anforderungen werden selbst von MS/S7-Kanthölzern noch erfüllt (Abb. 14. 40). Für die Sorte A4 nach [Nordisches Holz 1994] darf der größte lose (tote) Ast eines Kantholzes mit 44-50 mm Dicke einen Durchmesser von 20 mm haben.

Potenzial von starkem Stammholz

Äste von Erdstämmen aus Beständen mit herkömmlichem Pflanzverband haben im Mittel die geforderten Durchmesser (Abb. 14. 74).

Bauprodukt aus Starkholz

Um die Verdrehung der Hölzer aus Marknähe gering zu halten, sollten die Kanthölzer als Kreuzhölzer oder Halbrifts geschnitten sein. Eine Fassade mit hochwertigen Kanthölzern zeigt Abb. 14. 82.

Sollten die Astdurchmesser, die Astzahlen oder die Verformungen größer sein, als für Auslesequalität gefordert, so können diese Hölzer dennoch für sichtbare Oberflächen eingesetzt werden.

Oberfläche sichtbar

Anforderungsprofil				
Tragfähigkeit		*Oberflächenqualität*		
		verdeckt	sichtbar	erlesen
		lose Äste krumm rissig	fest verw. Äste leicht gekrümmt rissarm	einzelne Äste gerade rissfrei
gering	astig (S7) leicht weich		X	
mittel	astig (S10) mittelschwer biegsam			
hoch	nahezu astfrei schwer steif			

Für Hölzer mit sichtbarer Oberfläche sind die Güteklasse G-2 und G-3 nach [EN 1611] und die Güteklasse B nach [Nordisches Holz 1994] erforderlich, um im internationalen Wettbewerb bestehen zu können.

Abb. 14. 82: Fassade mit Kanthölzern mit Auslesequalität [Kaufmann 2005]

Ein interessantes Beispiel für eine sichtbare Oberfläche ist die Brett-/Balkenstapeldecke für ein Ein-/Zweifamilienhaus. Da für diese Deckenart viel Schnittholz benötigt wird, die Tragfähigkeit wegen der begrenzten Stützweiten aber nicht besonders hoch sein muss, können Schnitthölzer mit geringer Tragfähigkeit verwendet werden. Sichtbar ist nur die untere Schmalseite der Kanthölzer. Es kann somit die bessere Seite nach unten gedreht werden (Abb. 14. 83).

Potenzial von starkem Stammholz

Bisher werden nur visuell sortierte Kanthölzer bis zu einer Dicke von 60 mm verwendet. Dies schränkt den Einsatz von Schnittholz aus Starkholz mit den größeren fest verwachsenen Ästen erheblich ein.

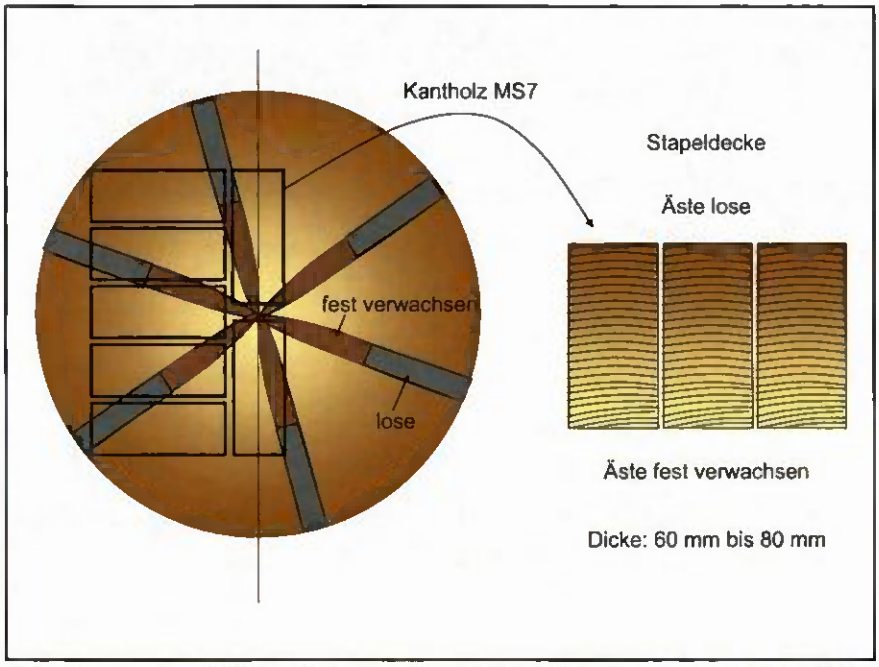


Abb. 14. 83: Stapeldecken aus marknah geschnittenen Kanthölzern mit stehenden Jahrringen und fest verwachsenen Ästen

Bauprodukt aus Starkholz

Die höhere Rohdichte und damit die höhere Festigkeit dieser Schnitthölzer werden nicht berücksichtigt. Dies kann durch den Einsatz von maschineller Sortierung geschehen (Abs. 3.1.2, Abb. 14. 34, Abs. 3.2.2).

Oberfläche verdeckt

Die Kanthölzer geringer Tragfähigkeit aus dem mittleren Stammabschnitt mit mittlerem Markabstand und losen Ästen können meist nicht sichtbar eingesetzt werden. Für diese Kanthölzer kommt die Verwendung in verkleideten Konstruktionen mit geringen Anforderungen an die Tragfähigkeit in Frage. Beispiele für solche Anwendungen sind Stiele für den Holzrahmenbau und leichte Rahmen für Unterkonstruktionen für den Innenausbau.

7.1.2 Kanthölzer mit mittlerer Tragfähigkeit

Anforderungsprofil

Der größte Teil der Kanthölzer aus Starkholz, etwa 30 % bis 35 %, besitzt mittlere Tragfähigkeit (C24).

Potenzial von starkem Stammholz

Diese Kanthölzer stammen meist aus mittleren Stammhöhen und haben mittleren Markabstand. Damit weist die marknahe Seite der Kanthölzer hauptsächlich fest verwachsene Äste auf. Dies gilt besonders für die Kanthölzer mit stehenden Jahrringen (Abb. 14. 84).

Auslesequalität

Anforderungsprofil				
Tragfähigkeit		*Oberflächenqualität*		
		verdeckt	sichtbar	erlesen
		lose Äste krumm rissig	fest verw. Äste leicht gekrümmt rissarm	einzelne Äste gerade rissfrei
gering	astig (S7) leicht weich			
mittel	astig (S10) mittelschwer biegsam			X
hoch	nahezu astfrei schwer steif			

Bisher werden hochwertige Brettschichtholzträger für die Nutzungsklasse 3 aus "Nordischer Ware" hergestellt [HUF 2005]. Die Oberfläche muss frei von Rissen und Astlöchern sein, damit die Beschichtung auch bei Bewitterung erhalten bleibt. Lose Äste oder Risse im Schnittholz sind daher nicht zulässig.

Potenzial von starkem Stammholz

Marknah haben die Schnitthölzer aus Starkholz ebenso fest verwachsene Äste wie nordische Ware. Durch den Riftschnitt sind die Schnitthölzer weitgehend frei von Rissen und Verdrehung. Der äußere Teil der Rifts hat hohe Rohdichte, die zusammen mit den mittelgroßen Ästen eine mittlere Tragfähigkeit ergibt.

Bauprodukt aus Starkholz

Dreht man die Seite mit den fest verwachsenen Ästen nach außen, so erhält man zum Beispiel Brettschichtholz mit gewöhnlicher Tragfähigkeit und hoher Qualität der Oberfläche. Durch die stehenden Jahrringe ist die Formstabilität der Lamellen besonders hoch. Diese Formstabilität und Rissfreiheit überträgt sich auch auf die Binder. Neben der hohen Formstabilität und Rissfreiheit wird mitunter auch das günstige Verhältnis von Rohdichte und Elastizitätsmodul übertragen. Der innere Bereich der Pfette mit seiner höheren Rohdichte

hat im Brandfall eine höhere Resttragfähigkeit als herkömmliches Brettschichtholz (F30-B+).

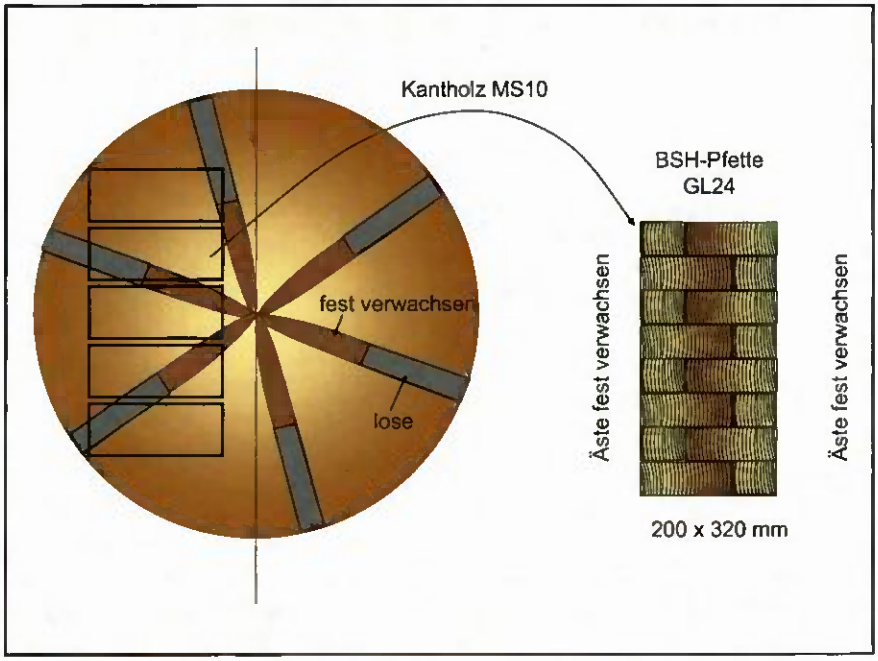


Abb. 14. 84: Sichtbares Brettschichtholz aus Lamellen mit stehenden Jahrringen und fest verwachsenen Ästen

Durch den Einsatz von Kanthölzern aus Starkholz mit stehenden Jahrringen können die nordischen Hölzer ersetzt, oder das Ausflicken zum größten Teil eingespart werden. Ein Einsatz solcher Binder in der Nutzungsklasse 3 nach DIN 1052 ist auch denkbar (Abb. 14. 85).

Abb. 14. 85: Hochwertiges Brettschichtholz im Einfamilienhaus mit Niedrigenergiestandard [HUF 2005]

Oberfläche sichtbar

Anforderungsprofil				
Tragfähigkeit		*Oberflächenqualität*		
		verdeckt	sichtbar	erlesen
		lose Äste krumm rissig	fest verw. Äste leicht gekrümmt rissarm	einzelne Äste gerade rissfrei
gering	astig (S7) leicht weich			
mittel	astig (S10) mittelschwer biegsam		X	
hoch	nahezu astfrei schwer steif			

Für Hölzer mit sichtbarer Oberfläche sind die Güteklasse G-2 und G-3 nach [EN 1611] und die Güteklasse B nach [Nordisches Holz 1994] erforderlich.

Abb. 14. 86: Holzbalkendecke in einem ausgebauten Dachgeschoß [HAF 2005]

Potenzial von starkem Stammholz

Sind die Astdurchmesser im Starkholz größer als 30 mm (Güteklasse C nach [EN 1927]), so ist für Kanthölzer mit mittlerem Markabstand eine größere Dicke notwendig, um mittlere Tragfähigkeit zu erreichen. Es bietet sich eine Dicke von 80 mm bis 100 mm an. Bewährt ist der Einschnitt für markfreies Bauholz.

Bauprodukt aus Starkholz

Die so erhaltenen Kanthölzer mit stehenden Jahrringen können zu sichtbarem KVH verarbeitet werden (Abb. 14. 86). Um größere Trägerhöhen zu erhalten, können zwei oder drei der Kanthölzer zu Balkenschichtholz verklebt werden (Abb. 14. 87). Durch die stehenden Jahrringe lassen sich auch Kanthölzer mit 80 mm bis 100 mm gut technisch trocknen. Rifts und Halbrifts sind deutlich weniger verformt und haben sehr viel weniger Risse als Flader.

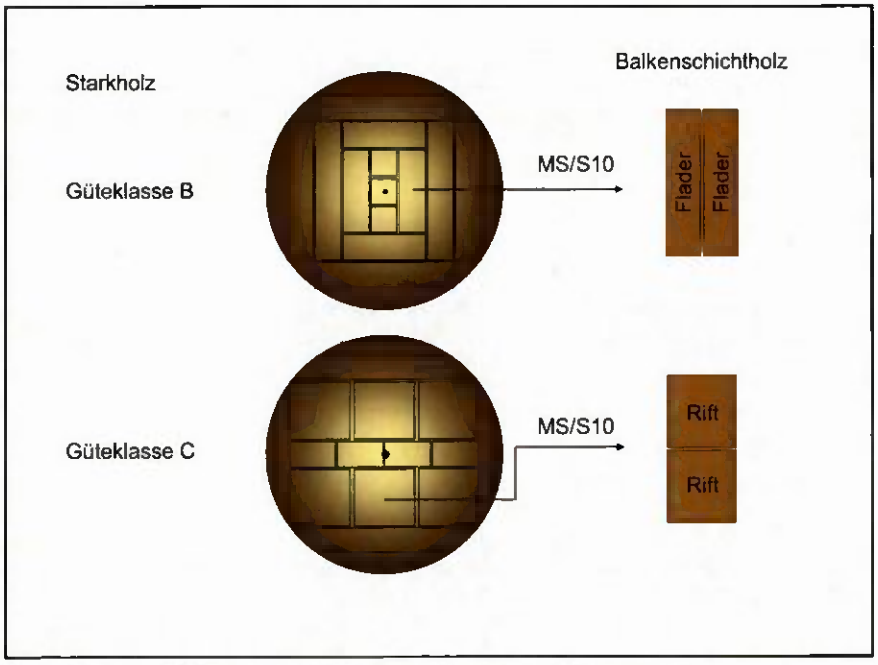


Abb. 14. 87: Balkenschichtholz aus Starkholz der Güteklasse B und C

Oberfläche verdeckt

Sind die Äste der Stammabschnitte mit Güteklasse C nicht fest verwachsen, so können die daraus erzeugten Kanthölzer in verkleideten Balkendecken oder Wänden (F60-B) eingesetzt werden. Sind die losen Äste mittlerer Größe in kleinen Schnitthölzern mit hoher Rohdichte, so sind sie zwar tragfähig (MS10), aber nicht im sichtbaren Bereich einsetzbar. Solche Schnitthölzer können als Dachlatten eingesetzt werden. Beim Einschnitt ist jedoch darauf zu achten, dass die breite Seite der Latten zum Mark weist [Reiter 2005].

7.1.3 Kanthölzer mit hoher Tragfähigkeit

Kanthölzer mit hoher Tragfähigkeit können auf zweierlei Art aus starkem Stammholz gewonnen werden. Entweder aus Stammabschnitten mit geringen Astdurchmessern oder aus markfernen Bereichen des Querschnitts von Stammabschnitten mit mittleren Astdurchmessern. Die letztere Variante ist nur durch eine maschinelle Sortierung der Kanthölzer möglich.

Auslesequalität

Anforderungsprofil				
Tragfähigkeit		*Oberflächenqualität*		
		verdeckt	sichtbar	erlesen
		lose Äste krumm rissig	fest verw. Äste leicht gekrümmt rissarm	einzelne Äste gerade rissfrei
gering	astig (S7) leicht weich			
mittel	astig (S10) mittelschwer biegsam			
hoch	nahezu astfrei schwer steif			X

Potenzial von starkem Stammholz

Nahezu astfreies Schnittholz mit hoher Rohdichte und hohem Elastizitätsmodul findet sich nur in besseren Erdstücken im markfernen Bereich des Querschnitts.

Bauprodukt aus Starkholz

Für den Verbund mit anderen Baustoffen wie Glas oder Leichtbeton (TP 5, TP 16, TP 17, TP 19 und TP 20) sind Schnitthölzer von hoher Tragfähigkeit und Formstabilität ohne Äste oder nur mit kleinen fest verwachsenen Ästen notwendig [Pollux 2003], [Niedermaier 2005] und [Schober 2006]. Insbesondere [Niedermaier 2005] ist bei seinen Untersuchungen von einem Elastizitätsmodul von 16.000 N/mm² für das verwendete Holz ausgegangen. Er hat hier Werte für Kiefernholz angesetzt. Die gleiche Konstruktion ist aber auch mit Fichten-, Tannen-, Lärchen-, Douglasien- oder Buchenholz von ähnlich hohem Elastizitätsmodul (Abb. 14. 81) möglich.

Abb. 14. 88: Glasscheibe, die auf einen Holzrahmen aufgeklebt wurde [Pollux 2003]

Der entscheidende Unterschied zu den herkömmlichen Holz-Glas-Verbundkonstruktionen ist die aussteifende Wirkung der Glasscheibe, die zu einer erheblichen Holzeinsparung beiträgt. Nachdem die Holzkosten etwa 50 % der Gesamtkosten für den Rahmen ausmachen, erhöhen filigrane Querschnitte die Konkurrenzfähigkeit der Holzkonstruktion erheblich gegenüber Konstruktionen aus anderen Baustoffen wie Aluminium oder Kunststoff. Dies gilt besonders für Pfosten-Riegel-Konstruktionen für ganze Fassaden (Abb. 14. 89).

Oberfläche sichtbar

Anforderungsprofil				
Tragfähigkeit		*Oberflächenqualität*		
		verdeckt	sichtbar	erlesen
		lose Äste krumm rissig	fest verw. Äste leicht gekrümmt rissarm	einzelne Äste gerade rissfrei
gering	astig (S7) leicht weich			
mittel	astig (S10) mittelschwer biegsam			
hoch	nahezu astfrei schwer steif		X	

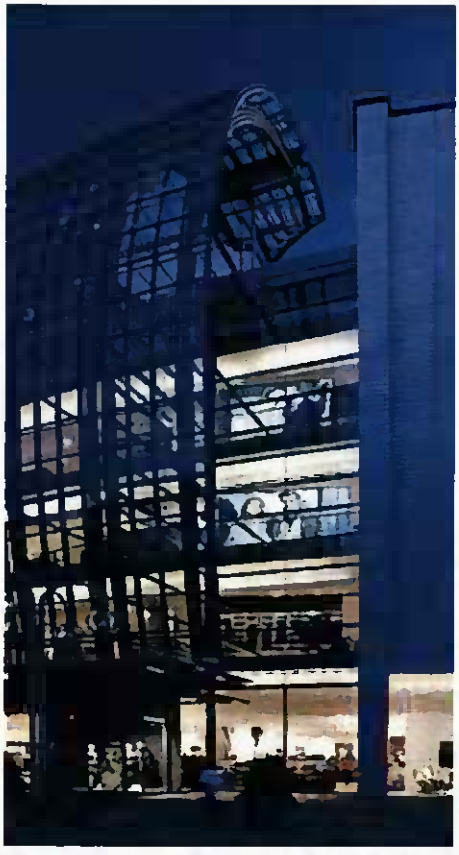


Abb. 14. 89: Gebogene Holz-Glas-Konstruktion für die Fassade eines Kaufhauses [Peek 2006]

Potenzial von starkem Stammholz

Kanthölzer aus Nadelholz mit hoher Tragfähigkeit haben oft zu viele Äste, um diese durch Kappschnitte wirtschaftlich zu entfernen. Für sichtbare Oberflächen ist es aber ausreichend, die losen Äste zu entfernen, oder die Kanthölzer so zu drehen, dass die fest verwachsenen Äste sichtbar bleiben.

Bauprodukt aus Starkholz

Eine sichtbare Balkendecke kann als herkömmliches gerichtetes System oder als ungerichtetes System gestaltet werden, bei dem Haupt- und Nebentragsystem in einer Ebene liegen. Das Erscheinungsbild ist **flächiger**, die gesamte **Konstruktionshöhe geringer**. Diese Art von Tragsystem animiert zu einer additiven Grundrissgestaltung [Holzbauhandbuch 2005].

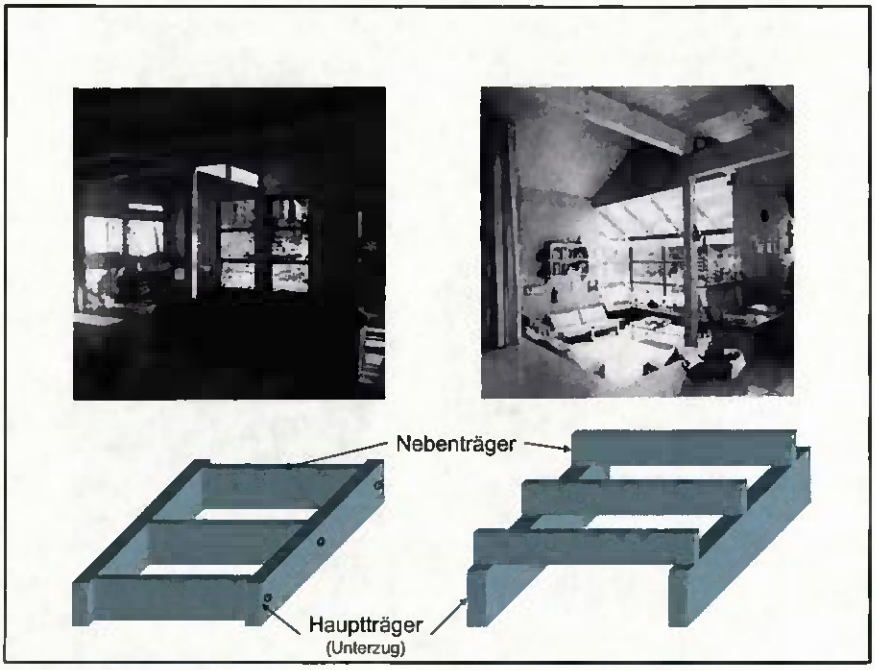


Abb. 14. 90: Sichtbare Balkendecke mit deckengleichem Unterzug [Holzbauhandbuch 2005]

Bei gleicher Bauhöhe können auf diese Art größere Stützweiten erzeugt werden. Daneben kann dieses System auch zur Materialersparnis verwendet werden. In Abb. 14. 91 ist ein Beispiel für eine sichtbare Balkendecke in einem Raum von 5 x 4 m² mit und ohne deckengleichen Unterzug dargestellt. Ohne Unterzug werden 8 Kanthölzer der Festigkeitsklasse C24 mit 8 x 24 cm² Querschnitt und 4 m Länge benötigt. Dies entspricht einem Volumen von 0,614 m³. Mit Unterzug werden 6 Kanthölzer der Festigkeitsklasse C18 mit 6 x 24 cm² Querschnitt und 4,9 m Länge und ein Unterzug der Festigkeitsklasse C35 mit 12 x 24 cm² Querschnitt und 4 m Länge benötigt. Dies entspricht einem Volumen von 0,538 m³. Damit kann mit dem Unterzug 14 % Material gespart werden.

Der Unterzug sollte aus Balkenschichtholz mit dem in Abb. 14. 92 dargestellten Aufbau hergestellt sein[14]. Der Unterzug hat einen Querschnitt von 12 x 24 cm². Massivholz dieser Größe weist trotz kerngetrenntem Einschnitt deutlich mehr Risse und Verformungen auf als ein Balkenschichtholz von gleicher Abmessung. Zudem kann das Balkenschichtholz inhomogen aufgebaut werden. Dies hat drei Vorteile:

1. Die Kanthölzer mit der höheren Festigkeitsklasse können in die Druck- und Zugzone gebracht werden und die mittlere Lamelle darf eine Festigkeitsklasse niedriger sein.

2. Die Seite mit den fest verwachsenen Ästen kann zur sichtbaren Oberfläche hin gedreht werden

3. Durch Lamellierung des unteren Kantholzes kann eine Vergütung erreicht werden, so dass die Festigkeitsklasse C30 mit einem Elastizitätsmodul von 14.000 N/mm² ausreicht, um die nötige Tragfähigkeit auch im Brandfall zu gewährleisten (Abb. 14. 48). Hier weicht der Aufbau in Abb. 14. 92 rechts entscheidend von dem von [Sandoz 1992] ab. Der Unterschied ist ähnlich dem zwischen Brettschichtholz nach [DIN 1052] und Balkenschichtholz gemäß bauaufsichtlicher Zulassung [DIBt Z-9.1-440]. Für den

[14] Nach [Sandoz 1993] ist der Aufbau mit 3 Lamellen und mehr oberhalb der senkrechten Lamellen patentrechtlich geschützt. Dieser Aufbau hat nur 2 Kanthölzer oberhalb der 4 senkrechten Lamellen.

Aufbau in Abb. 14. 92 rechts ist demnach eine eigene bauaufsichtliche Zulassung notwendig.

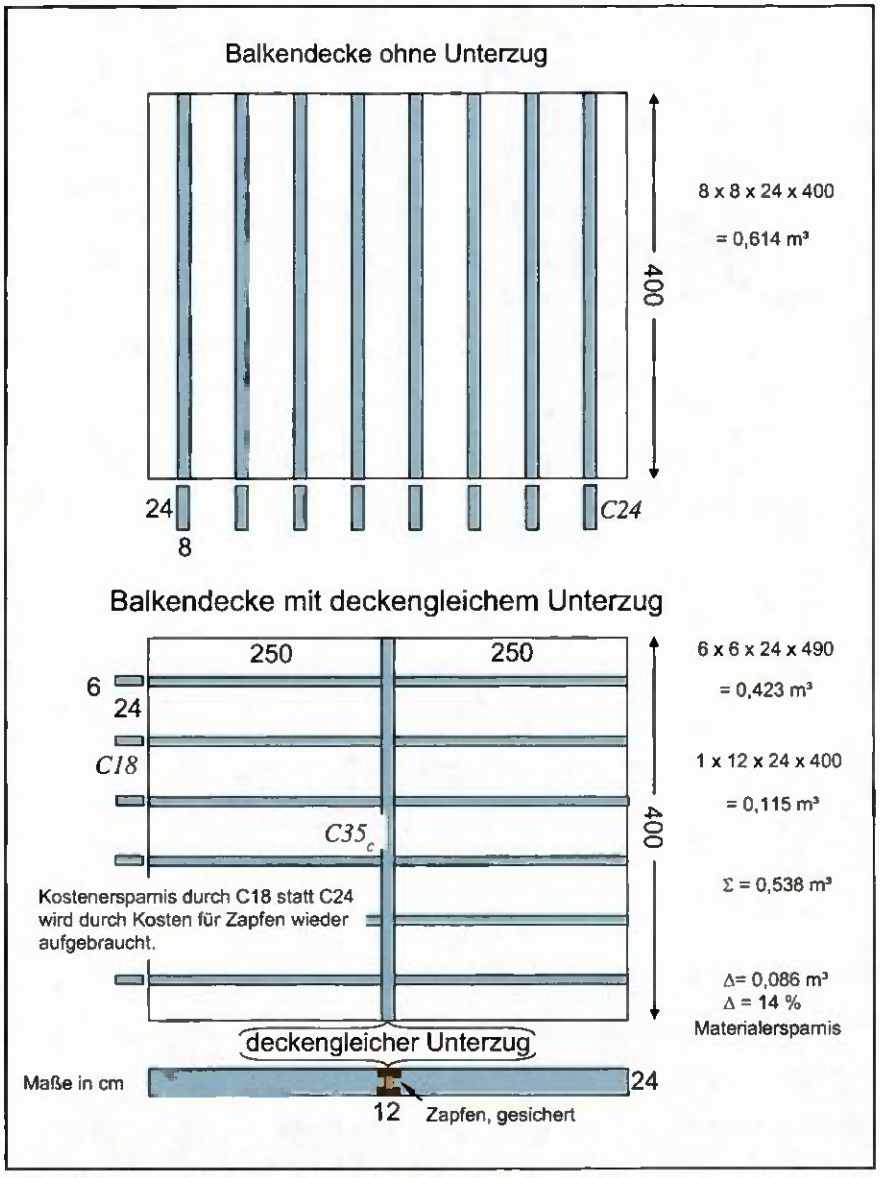


Abb. 14. 91: Beispiel für den Einsatz eines deckengleichen Unterzuges in einer sichtbaren Balkendecke

Für Unterzüge werden oft Stahlträger nach DIN 1025 und DIN 1024 eingesetzt [Zimmermeister 2008]. Zu diesen Stahlträgern stellen die oben beschriebenen Balken- und Brettschichthölzer aus Starkholz eine kostengünstige Alternative dar (Tab. 14. 11). Ein Unterzug aus IPE-Stahl nach DIN 1025 kostet mehr als viermal soviel wie ein Unterzug aus Balken- oder Brettschichtholz. Die geringere Bauteilhöhe muss mit einem erheblichen Aufpreis bezahlt werden.

Tab. 14. 11: Vergleich von Unterzügen aus verschiedenen Trägermaterialien

Trägerart	Breite [cm]	Höhe [cm]	Länge [cm]	Flä-Last q [N/cm]	E-Modul [N/cm²]	W_{max}<L/300 [cm]	Volumen bzw. lfm	Preis pro Einheit	Trägerpreis
IPE-Stahl	8,2	16	400	50	21.000.000	0,91	4,00	133 €	532 €
BS11	12	24	400	50	1.160.000	1,04	0,12	1.000 €	115 €
BS16	10	24	400	50	1.370.000	1,06	0,10	1.200 €	115 €
BS18	9	24	400	50	1.470.000	1,09	0,09	1.300 €	112 €
BS18+	8	24	400	50	1.670.000	1,08	0,08	1.500 €	115 €

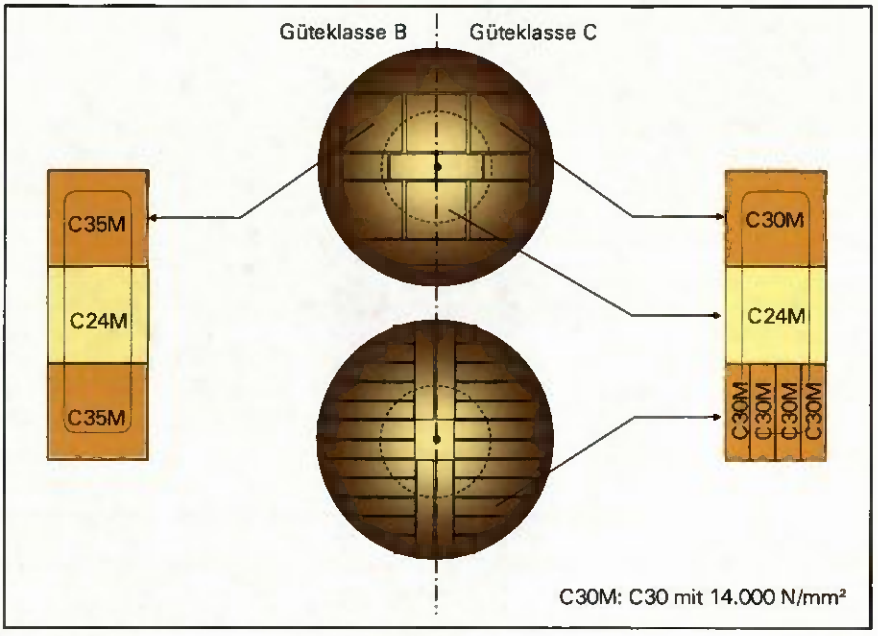


Abb. 14. 92: Unterzüge aus inhomogen aufgebautem Balkenschichtholz aus Rifts und Halbrifts aus Starkholz unterschiedlicher Güte

Balken- und Brettschichthölzer mit hohen Tragfähigkeiten eignen sich gut für den Einsatz als Zuggurte in Holzbeton-Verbund-Systemen. Dort können sie ebenfalls die Stahlkomponente ersetzen.

Abb. 14. 93: Dachkonstruktion der Messehallen Karlsruhe [Studiengemeinschaft Holzleimbau 2003]

Oberfläche verdeckt

Markfern erzeugte Kanthölzer aus dem Totastbereich von Bäumen (Güteklasse C nach EN 1927) weisen zwar eine hohe Tragfähigkeit auf, aber auch große lose Äste, die oft aus dem Holz fallen. Diese Kanthölzer oder Bohlen sind nicht im sichtbaren Bereich einsetzbar. Aus ihnen können Balkensichthölzer oder Brettschichthölzer für weit gespannte Hallendecken hergestellt

werden, da die Oberflächen dieser Träger weit vom Betrachter entfernt sind (Abb. 14. 93).

7.2 Bretter und Brettbauteile

Die Bauproduktgruppe "Bretter und Brettbauteile" für den flächigen Einsatz wurde bisher in sichtbare Hobelware und nichtsichtbare Schalung unterteilt. Besonders gute Hobelware wurde aus "Nordischer Ware" hergestellt. Die Tragfähigkeit spielte kaum eine Rolle, da diese Funktion in der Regel von der verdeckten Unterkonstruktion übernommen wurde.

In den letzten Jahren haben sich Bauprodukte entwickelt, die Oberflächenqualität und Tragfähigkeit in einem Bauteil vereinen. In Tab. 14. 12 sind wichtige Beispiele der Bauproduktgruppe "Bretter und Brettbauteile" nach diesen beiden Funktionen gegliedert. Anhand der Beispiele soll gezeigt werden, wie die Potenziale von Brettern aus starkem Stammholz hier zur Weiterentwicklung eingesetzt werden können.

Tab. 14. 12: Gliederung der Bauproduktgruppe "Bretter und Brettbauteile" nach Tragfähigkeit und Oberflächenqualität

Tragfähigkeit	Oberflächenqualität		
	Verdeckt	Sichtbar	Auslese
gering	•Leichte Trennwand für Innenausbau	•Landhausdielen mit großen fest verwachsenen Ästen	•Akustikdecke Ligno light alpha
mittel	•Brettsperrholz Lenotec	•Brettsperrholz aus Rifts	•Lignotrend Decke Q3
hoch	•Brettlagenholz für Brücken	•Brettstapel aus Flader	•Brettlagenholz aus Rifts für HBV-System

7.2.1 Bretter mit geringer Tragfähigkeit

Anforderungsprofil

Schnittholz mit geringer Tragfähigkeit muss in Deutschland der Sortierklasse MS7/S7 nach DIN 4074 entsprechen. Für den europäischen Bereich sind die Anforderungen der Festigkeitsklasse C18 nach EN 14081 zu erfüllen.

Potenzial von starkem Stammholz

In starkem Stammholz ist der marknahe Bereich mit der niedrigen Rohdichte und dem jugendlichen Holz eine Zone für Schnittholz mit geringer Tragfähigkeit. Auch die Stammabschnitte aus Baumhöhen über 15 m mit den großen fest verwachsenen Ästen liefern nur Schnittholz von geringer Tragfähigkeit.

Die Bretter und Leisten aus starkem Stammholz mit geringer Tragfähigkeit können für verdeckte und sichtbare Oberflächen verwendet werden. Die sichtbaren Oberflächen können in normaler und in Auslesequalität ausgeführt werden.

Auslesequalität

Anforderungsprofil				
Tragfähigkeit		*Oberflächenqualität*		
		verdeckt	sichtbar	erlesen
		lose Äste krumm rissig	fest verw. Äste leicht gekrümmt rissarm	einzelne Äste gerade rissfrei
gering	astig (S7) leicht weich			X
mittel	astig (S10) mittelschwer biegsam			
hoch	nahezu astfrei schwer steif			

Für Oberflächen in Auslesequalität (G0 bis G1 nach [EN 1611] und Güte A nach [Nordisches Holz 1994]) sind Bretter ohne Äste oder mit kleinen fest verwachsenen Ästen gefordert.

Potenzial von starkem Stammholz

Bretter mit kleinen fest verwachsenen Ästen finden sich in Erdstämmen in Marknähe. Astfreie Bretter finden sich nur in den markfernen Schichten von guten Erdstämmen mit hoher Rohdichte.

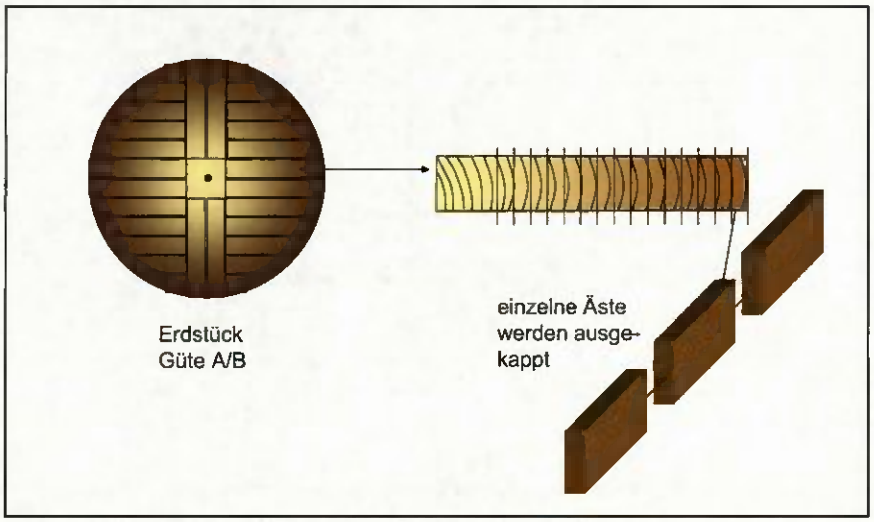


Abb. 14. 94: Astfreie Leisten aus Riftbrettern aus Erdstücken von Starkholz

Diese Bretter weisen besonders hohe Tragfähigkeit auf. Sie sollten daher auch konstruktiv zur Lastabtragung genutzt werden, oder zu dünnen Leisten und Friesen verarbeitet werden, bei denen schon kleinste Äste unzulässig wären (Abb. 14. 94).

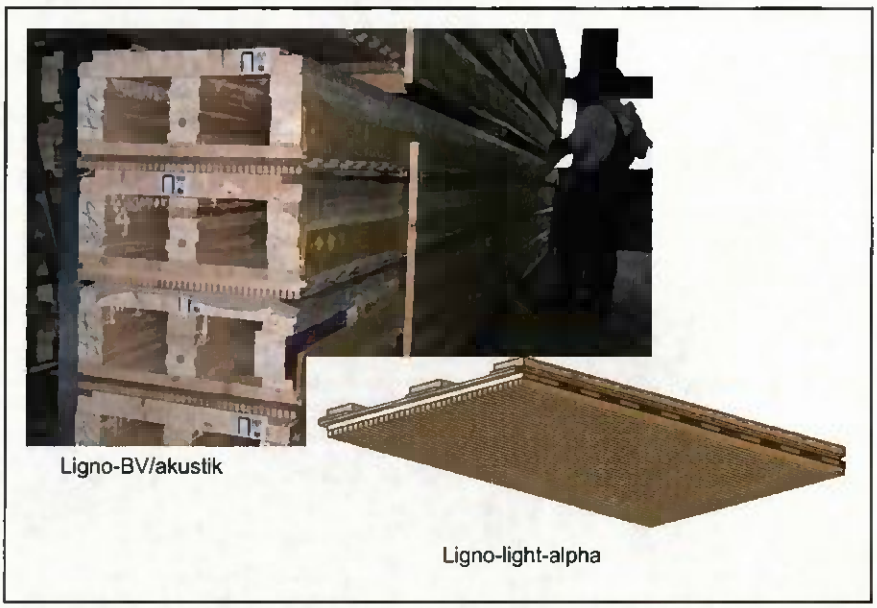


Abb. 14. 95: Deckenelemente der Firma Ligno-Trend vom Typ "Ligno BV/akustik" und Ligno-light-alpha

Bauprodukt aus Starkholz

Ein Beispiel für eine solche Verwendung ist das Akustikdeckenelement "Ligno light alpha" von der Firma Ligno-Trend. Die akustisch wirksame Unterseite des Deckenelements ist aus astfreien Leisten, die durch Keilzinkenverbindun-

gen in beliebiger Länge hergestellt werden können. Die flachen Deckenelemente eignen sich besonders zum Schallschutz bei bestehenden Decken. In Neubauten kommen die Akustikprofile in den Deckenelementen "Ligno-BV/akustik" zum Einsatz (Abb. 14. 95).

Oberfläche sichtbar

Anforderungsprofil				
Tragfähigkeit		*Oberflächenqualität*		
		verdeckt	sichtbar	erlesen
		lose Äste krumm rissig	fest verw. Äste leicht gekrümmt rissarm	einzelne Äste gerade rissfrei
gering	astig (S7) leicht weich		X	
mittel	astig (S10) mittelschwer biegsam			
hoch	nahezu astfrei schwer steif			

Für sichtbare Oberflächen sind Bretter der Sortierklassen G-2 bis G-3 nach [EN 1611] und Güte B nach [Nordisches Holz 1994] gefordert. Die Durchmesser von fest verwachsenen Ästen dürfen auch etwas größer sein.

Potenzial von starkem Stammholz

Starkholzabschnitte aus der grünen Krone eines Baumes ergeben nach dem Einschnitt "saw around the log" gefladerte Bretter oder Dielen mit großen fest verwachsenen Ästen. Diese Oberfläche ist als Dielenboden in vielen alten Landhäusern zu finden und genießt daher am Markt einen guten Ruf. Die gefladerten Dielen haben liegende Jahrringe und schüsseln daher erheblich. Neben dem Schüsseln treten auch feine Risse auf und an den Stößen der Dielen entstehen Fugen.

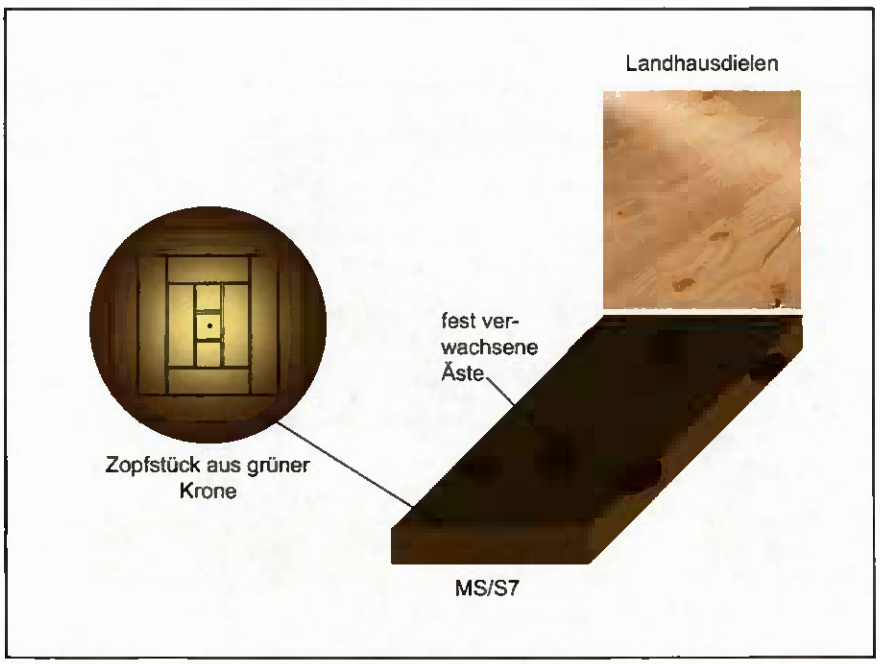


Abb. 14. 96: Landhausdielen mit sichtbarer Oberfläche aus Brettern oder Dielen mit geringer Tragfähigkeit aber fest verwachsenen Ästen

Bauprodukt aus Starkholz

Die negativen Effekte werden durch einen gesperrten dreischichtigen Aufbau der modernen Landhausdielen aufgehoben (Abb. 14. 96). Die getrockneten Bretter und Bohlen werden mit einer Trennbandsäge in 6 mm dicke Bretter aufgeteilt. Die Bretter mit der besten Oberflächenqualität werden gehobelt

und bilden die Decklage. Die anderen Bretter werden zu Querlagen oder zu Unterlagen. Diese Einzelteile werden zu zimmerlangen Dielen verklebt und können dann wie Parkett fugenlos verlegt werden (Abb. 14. 97).

Oberfläche verdeckt

Anforderungsprofil				
Tragfähigkeit		*Oberflächenqualität*		
		verdeckt	sichtbar	erlesen
		lose Äste krumm rissig	fest verw. Äste leicht gekrümmt rissarm	einzelne Äste gerade rissfrei
gering	astig (S7) leicht weich	X		
mittel	astig (S10) mittelschwer biegsam			
hoch	nahezu astfrei schwer steif			

Leichte Trennwände für den Innenausbau (TP 9) werden oft aus Tischlerplatten hergestellt. Die Tischlerplatten sind entweder als Stab- oder als Stäbchenplatten aufgebaut. Damit die Tischlerplatten eine glatte Oberfläche haben, werden Dünn-MDF-Platten aufgeklebt. Diese Dünn-MDF-Platten erhöhen aber das Gewicht. Die Schäl- oder Sägefurniere für die Stäbe oder Stäbchen werden aus markfernen Schichten der Stämme gewonnen. Dies erhöht ebenfalls das Gewicht der Platte. Um dieses Übergewicht auszugleichen, wird in der Mittellage ein besonders leichtes Tropenholz eingesetzt. Diese leichte Platte kommt dann auf eine Dichte von 470 kg/m³ [Moralt 2007].

Potenzial von starkem Stammholz

Es gibt zwei Ansatzpunkte, um diese Platte leichter zu machen. Zum einen können leichte Stammabschnitte für das Schälen ausgewählt werden, oder es können nur die marknahen Schichten des Stammes verwendet. Diese weisen eine Rohdichte von weniger als 400 kg/m³ auf. Viele dieser marknahen Schichten werden aber nach dem Schälen mit der Restrolle entsorgt.

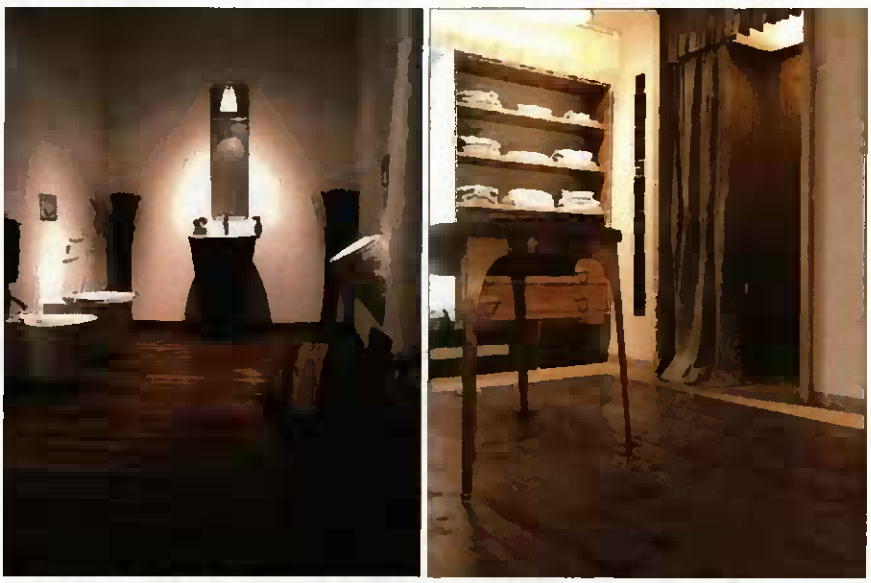


Abb. 14. 97: Bad und Verkaufsraum mit Fußboden aus Landhausdielen mit großen fest verwachsenen Ästen [Boxler 2007] links, [Admonter 2007]

Bauprodukt aus Starkholz

Nimmt man diese Restrolle und sägt sie in 8 Teile wie in **Abb. 14. 98** dargestellt und trennt die Dreiecke in zwei gleich hohe Teile, so erhält man nach dem Verkleben der Teile eine Platte mit einer Rohdichte von 370 kg/m³. Diese

Platte kann dann mit einer Dünn-MDF-Platte beschichtet werden. Zusammen haben die drei Komponenten eine Dichte von 385 kg/m³. Diese Dichte liegt um 85 kg/m³ oder 18 % unter der Platte mit dem Tropenholzkern.

Durch dieses Vorgehen hat man zwei Dinge erreicht. Einmal wurde eine einfachere und leichtere Tischlerplatte erzeugt und zum anderen wurde die sonst schwer verwertbare Restrolle zu einem hohen Anteil wieder verwendet.

Für den Fall, dass es nicht genügend Restrollen gibt, kann das Verfahren auf schwaches Stammholz übertragen werden.

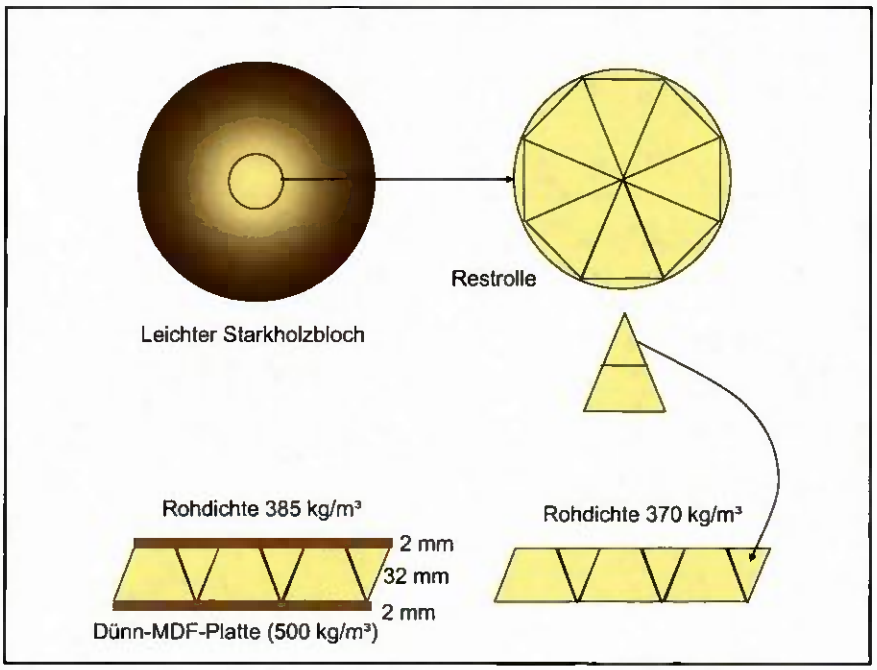


Abb. 14. 98: Leichte Trennwand aus der Restrolle von geschälten Starkhölzern

7.2.2 Bretter mit mittlerer Tragfähigkeit

Anforderungsprofil

Werden großformatige Bauteile aus Brettern gefertigt, wird auf hohe Formstabilität und mittlere Tragfähigkeit Wert (MS10/S10 nach [DIN 4074]) gelegt. Die nötige Formstabilität wird durch kreuzweises verbinden der Bretter in 3 und mehr Lagen erreicht. Die Oberfläche kann dabei in Auslesequalität, Sichtqualität und Verdecktqualität gehalten werden.

Auslesequalität

Anforderungsprofil				
Tragfähigkeit		*Oberflächenqualität*		
		verdeckt	sichtbar	erlesen
		lose Äste krumm rissig	fest verw. Äste leicht gekrümmt rissarm	einzelne Äste gerade rissfrei
gering	astig (S7) leicht weich			
mittel	astig (S10) mittelschwer biegsam			X
hoch	nahezu astfrei schwer steif			

Für Deckenelemente als tragende Schicht in Auslesequalität können Bretter ohne oder mit nur kleinen Ästen (Abb. 14. 94) eingesetzt werden. Ein Beispiel für ein solches Deckenelement ist Ligno Block Q3 der Firma Ligno-Trend (Abb. 14. 99).

Potenzial von starkem Stammholz

Astfreie Bretter finden sich nur in den markfernen Schichten von guten Erdstämmen mit hoher Rohdichte (Ausnahme Tonholz).

Abb. 14. 99: Deckenelement aus astfreien keilgezinkten Brettern und Friesen aus Tannenstarkholz [Ligno Block Q3]

Der Elementaufbau entspricht dem in (Abb. 14. 95) links gezeigten. Drei Brettschichtholzträger werden oben und unten mit zwei Brettsperrholzplatten [Echtle 2007] verbunden. Dadurch entsteht ein Hohlkastenelement von mittlerer Tragfähigkeit.

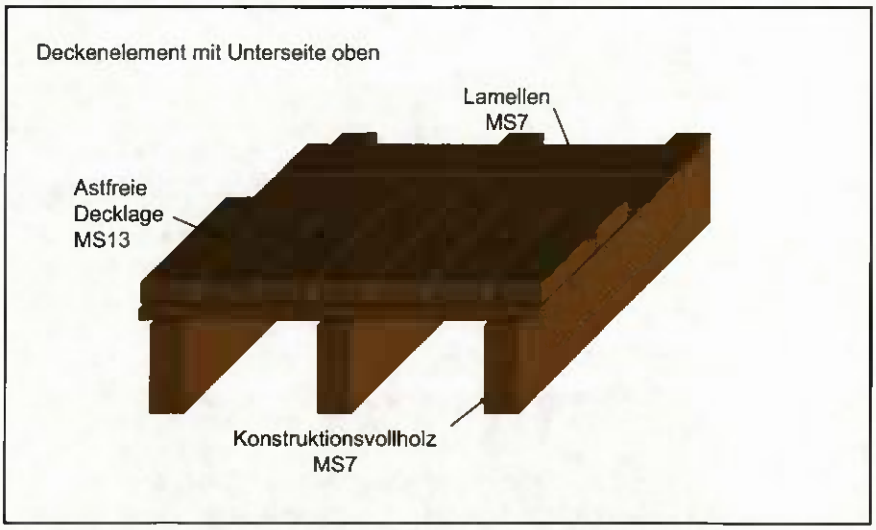


Abb. 14. 100: Ligno-Block Q3 mit KVH und maschinell sortierten Lamellen

Bauprodukt aus Starkholz

Statt der 3 Brettschichtholzträger kann KVH verdeckt aus Rifts aus starkem Stammholz verwendet werden. Dies spart Klebstoff, Schnittholz und Arbeitszeit. Für normale Tragfähigkeit können Kanthölzer der Klasse MS7 für das KVH verwendet werden. Die Platten dagegen sollten aus MS13 Riftlamellen bestehen.

Abb. 14. 101: Brettsperrholz mit Oberflächen für sichtbare und verdeckte Anwendung

Oberfläche sichtbar

Anforderungsprofil				
Tragfähigkeit		*Oberflächenqualität*		
		verdeckt	sichtbar	erlesen
		lose Äste krumm rissig	fest verw. Äste leicht gekrümmt rissarm	einzelne Äste gerade rissfrei
gering	astig (S7) leicht weich			
mittel	astig (S10) mittelschwer biegsam		X	
hoch	nahezu astfrei schwer steif			

Soll die Oberfläche von Bauelementen sichtbar bleiben, so sind Fugen zu vermeiden und Äste zu beschränken. Sichtbare Decklagen für Brettsperrholz werden daher in Standardformaten vorgefertigt und dienen als Grundlage für den weiteren Aufbau der Platten. Als Standardlänge für Brettsperrholzelemente bieten sich 5 m an. Die Breite kann 62,5 cm sein.

Potenzial von starkem Stammholz

Schneidet man 5 m lange Starkholzbloche von guter bis schlechter Qualität ein, so erhält man ein breites Spektrum an Rifthölzern (Abb. 14. 80). Aus diesem Spektrum lassen sich genügend Rifthölzer mit einem Elastizitätsmodul über 14.000 N/mm² und mit der Güteklasse G2-0 bis G2-1 nach EN 1611 auswählen, um 5-lagige Platten, wie in Abschnitt 3.2.3.1 beschrieben, herzustellen [Mestek 2007] (Teilprojekt 15).

Bauprodukt aus Starkholz

Ein Vorteil von Standardplatten ist der Einsatz von deckengleichen besonders steifen Unterzügen aus Brettlagenholz. Für diese Unterzüge gilt das gleiche wie für die stabförmigen Unterzüge in Abschnitt 5.1.3. Sie verringern die Bauteilhöhe ähnlich wie Mehrfeldträger/-platten.

Die randständigen Standardplatten müssen an die Raummaße angepasst werden, was zu Schnittverlusten führt. Andererseits können mit Standardplatten Aussparungen für Türen, Treppen und Fenster mit geringeren Schnittverlusten hergestellt werden als mit großformatigen Platten.

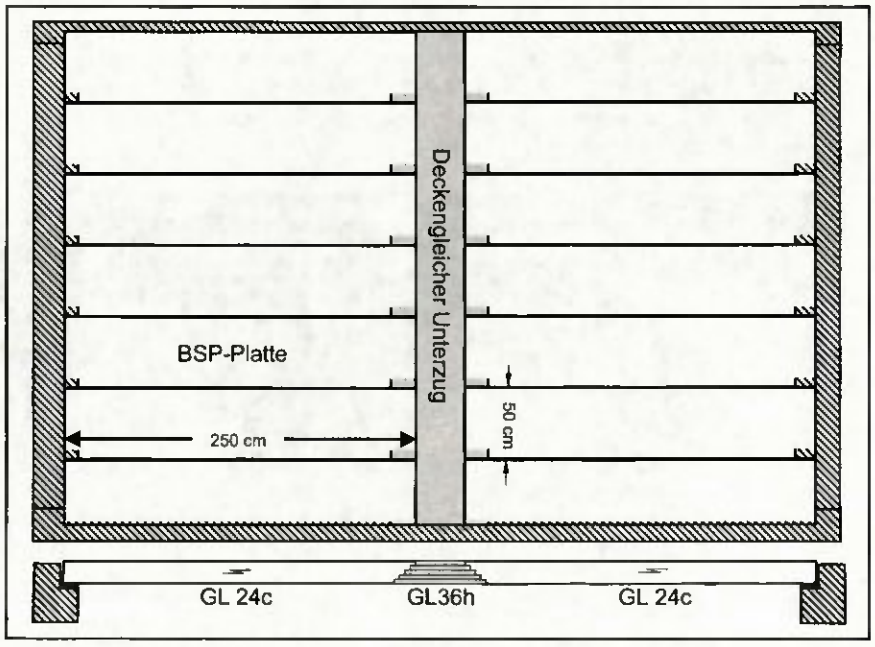


Abb. 14. 102: Einsatz von deckengleichen besonders steifen Unterzügen aus Brettlagenholz zusammen mit Brettsperrholz in Standardabmessungen (Draufsicht und Seitenansicht)

Oberfläche verdeckt

Anforderungsprofil				
Tragfähigkeit		*Oberflächenqualität*		
		verdeckt	sichtbar	erlesen
		lose Äste krumm rissig	fest verw. Äste leicht gekrümmt rissarm	einzelne Äste gerade rissfrei
gering	astig (S7) leicht weich			
mittel	astig (S10) mittelschwer biegsam	X		
hoch	nahezu astfrei schwer steif			

Schnittholz von mittlerer Tragfähigkeit (MS10/S10 nach [DIN 4074]) mit begrenzter Anzahl und Größe von losen Ästen (G-4 nach [EN 1611] und Güte C nach [Nordisches Holz 1994]

Potenzial von starkem Stammholz

Bisher wurde Seitenware von Stammholz mittlerer bis größerer Dimension verwendet. Diese Bretter wurden nur visuell nach [DIN 4074] sortiert. Die hohe Rohdichte und der hohe E-Modul dieser Bretter wurden nicht berücksichtigt.

Bauprodukt aus Starkholz

Die Seitenbretter können vorher maschinell sortiert werden. Die Bretter mit höherer Tragfähigkeit werden den Decklagen zugeordnet und die Bretter mit geringer Tragfähigkeit mit den losen Ästen werden den Querlagen oder der Mittellage zugeordnet.

Einzelne Hersteller von Brettsperrholz haben sich auf Objektbau spezialisiert. Die Brettsperrhölzer werden individuell nach Plan in möglichst großen noch transportierbaren Platten gefertigt und abgebunden. Die Platten werden dann auf der Baustelle zügig montiert (Abb. 14. 103). Zudem können große Formate als Mehrfeldträger/-platte bemessen und damit dünner ausgelegt werden.

Die Herstellung solcher Platten erfordert ein spezielles Pressensystem, das nur wenig Druck quer zu den Lagen liefert. Es entstehen dadurch in den Decklagen Fugen, die eine sichtbare Verwendung oft verhindert. Ist zur Einhaltung der Brandschutzbestimmungen eine Verkleidung der Platten notwendig, sind die Fugen ohne Bedeutung.

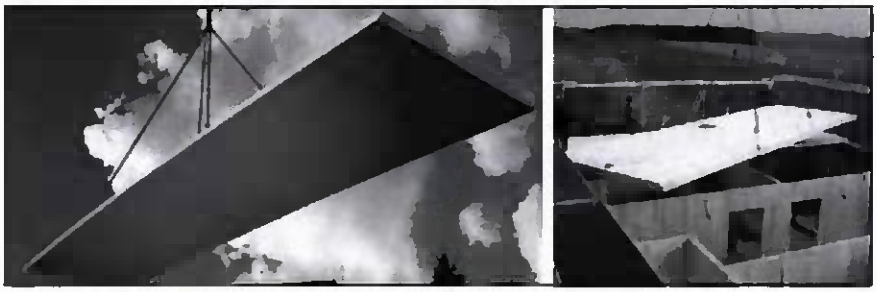


Abb. 14. 103: Großformatige Brettsperrholzplatten bei der Montage [Finnforest Merk 2006]

7.2.3 Bretter mit hoher Tragfähigkeit

Hohe Tragfähigkeit wird in Deckenbauteilen mit großer Spannweite wie im Geschossbau gefordert. Aber auch für flächige Brückenbauteile wird hohe Tragfähigkeit benötigt (TP 15).

Auslesequalität

Anforderungsprofil				
Tragfähigkeit		*Oberflächenqualität*		
		verdeckt	sichtbar	erlesen
		lose Äste krumm rissig	fest verw. Äste leicht gekrümmt rissarm	einzelne Äste gerade rissfrei
gering	astig (S7) leicht weich			
mittel	astig (S10) mittelschwer biegsam			
hoch	nahezu astfrei schwer steif und fest			X

Durch die Kombination von Holz und Beton können Deckenbauteile mit hoher Steifigkeit und Festigkeit hergestellt werden [Schänzlin 2003]. Die Anforderungen an die Tragfähigkeit der Holzkomponente sind hoch, da das Holz im Zugbereich der Deckenbauteile den Stahl ersetzt [DIBt Z-9.1-557]. Gleichzeitig ist das Holz nach unten sichtbar (Abb. 14. 104).

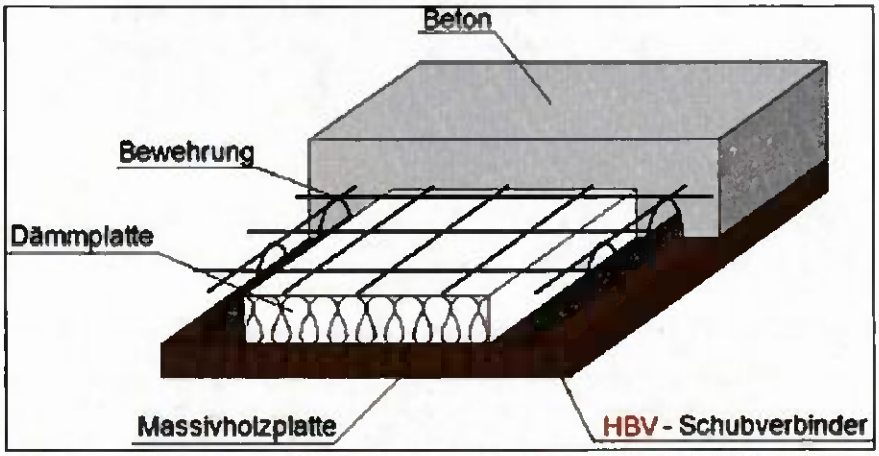


Abb. 14. 104: Holzbetonverbundsystem mit eingeklebten Schubverbindern (HBV-Lizenz von Bathon und Bahmer).

Potenzial von starkem Stammholz

Durch den Einsatz von Rifts oder Halbrifts kann eine Zugschicht für das HBV-System mit hoher Steifigkeit, Formstabilität und Rissfreiheit erzeugt werden. Werden die Lamellen für die Zugschicht maschinell sortiert, so können Elastizitätsmoduln von 14.000 N/mm² und mehr erreicht werden.

Bauprodukt aus Starkholz

Die bisherigen Holzbetonverbundsysteme eignen sich wenig für Mehrfeldträger. Hier kann der Einsatz von vorgespannten Brettspannbeton-Elementen aus drei Lagen erfolgen (Abb. 14. 105). Ein solches Brettspannbeton-Element besteht aus zwei Decklagen aus Brettlagenholz, die durch die Vorspannung auf Zug beansprucht werden, während die Mittellage aus Beton durch Vorspannung auf Druck beansprucht wird. Die Brettlagenhölzer haben eine hohe Zugfestigkeit und einen hohen Zug-Elastizitätsmodul. Beton hat eine hohe Druckfestigkeit und Druck-Elastizitätsmodul. Die beiden Eigenschaften ergänzen sich vorteilhaft. Das Brettspannbeton-Element ähnelt Stahlspannbeton, wobei das Brettlagenholz die Funktion des Stahls übernimmt. Die Kräfte können über Bolzen und Nagelplatten übertragen werden. Die Vorspannung wird durch das Schwinden der Brettlagenhölzer von 20 % auf 10 % Holzfeuchte erreicht. Bei einem 14 m langen Element entsteht eine Verkürzung um 10 mm. Dies entspricht einer Dehnungszahl $\varepsilon = \Delta l/l_0 = 1/1400$. Die Vorspannung ergibt sich zu $\sigma = E \cdot \varepsilon = 10\ N/mm^2$ ($E = 14.000\ N/mm^2$). Dabei sind Setzungen im Bereich der Bolzen und Nagelplatten nicht berücksichtigt. Die Vorspannung bewirkt eine Wölbung des Elements nach oben, die durch eine Verkehrslast zurück gebogen wird und das Element fast gerade wird.

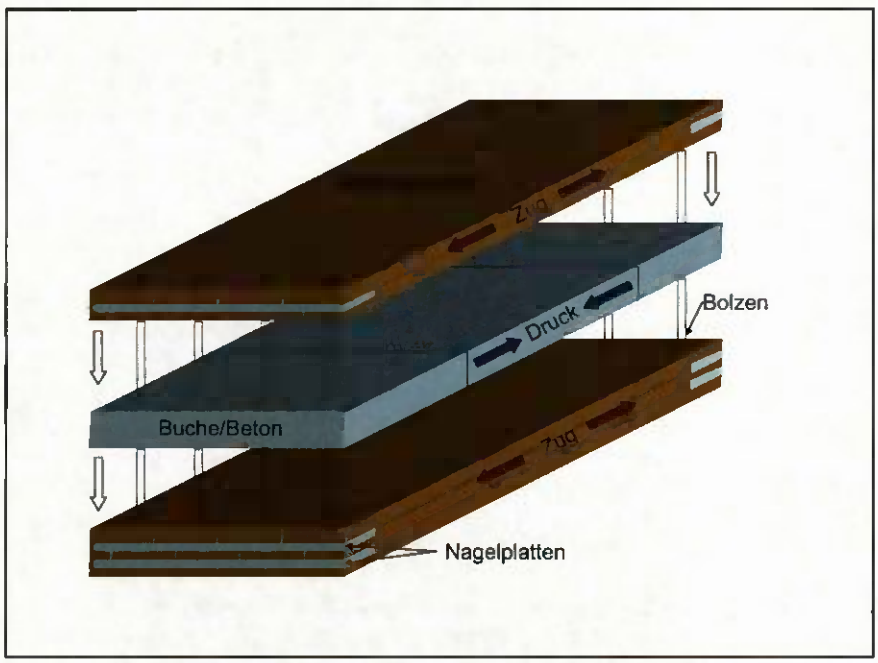


Abb. 14. 105: Skizze des Aufbaus eines vorgespannten Brettspannbeton-Elementes (ohne Krümmung)

Dieses neue Brettspannbeton-Element hätte günstige Schall- und Brandschutzeigenschaften. Die Oberflächen wären in sichtbarer oder Auslese-Qualität ausführbar, was eine weitere Verkleidung erübrigt.

Eine Substitution der Betonmittellage durch eine Buchenmittellage könnte die Vorspannung noch erhöhen. Die Buchenmittellage könnte besonders trocken (etwa 6 % Holzfeuchte) mit den feuchten Decklagen aus Fichte (etwa 20 % Holzfeuchte) verbunden werden. Die Buchenmittellage würde im Mittel 6 % Holzfeuchte aufnehmen und die Fichtendecklagen würden im Mittel um 8 % Holzfeuchte abgeben. Der Unterschied der Holzfeuchte von 14 % ließe die Buchenmittellage quellen und die Fichtendecklagen schwinden. Die Dehnungszahl ε wäre dann 1/1000 und die Vorspannung $\sigma = 14\ N/mm^2$.

Derartig vorgespannte Deckenelemente könnten in den unteren Geschossen von 7-geschossigen Gebäuden eingesetzt werden, um die mittleren Stützen zu entlasten. Die Lasten würden auf diese Weise zum Teil in die Gebäudehülle umgeleitet werden. Die Hülle wird wegen der Wärmedämmung ohnehin dicker dimensioniert und kann die größeren Lasten aufnehmen.

Das Buchenholz könnte auch rotkernig sein, da die Belastung auf Druck erfolgt, was ein Abscheren der Keilzinkenverbindungen ausschließt.

Die Umsetzung des Brettspann-Elementes in die Praxis würde ein eigenes Forschungsvorhaben erfordern und wird daher im Rahmen dieses Vorhabens nicht weiter verfolgt.

Oberfläche sichtbar

Anforderungsprofil				
Tragfähigkeit		*Oberflächenqualität*		
		verdeckt	sichtbar	erlesen
		lose Äste krumm rissig	fest verw. Äste leicht gekrümmt rissarm	einzelne Äste gerade rissfrei
gering	astig (S7) leicht weich			
mittel	astig (S10) mittelschwer biegsam			
hoch	nahezu astfrei schwer steif und fest		X	

Für Brettstapeldecken werden Bretter mit mindestens mittlerer Tragfähigkeit gefordert. Für sichtbare Oberflächen werden fest verwachsene Äste benötigt. Die Krümmung darf nur leicht sein, damit sich keine großen Fugen zwischen den Brettern bilden.

Potenzial von starkem Stammholz

Durch markfernen Einschnitt von Bohlen (Abb. 14. 96) aus starken Stammabschnitten mit Güteklasse B lassen sich Lamellen mit hoher Tragfähigkeit (MS13/17) für Stapeldecken gewinnen. Die Ästigkeit von solchen Lamellen ist gering und einzelne lose Äste lassen sich durch Schiffchen ersetzen.

Bauprodukt aus Starkholz

Durch das Verkleben der Lamellen entsteht ein Laminierungseffekt, der zu einem deutlichen Anstieg der 5%-Fraktile der Biegefestigkeit und dem mittleren Elastizitätsmodul führt. Gleichzeitig wird eine hochwertige Oberfläche erzeugt. Voraussetzung für diese Produktentwicklung ist die maschinelle Festigkeitssortierung und der Einschnitt von starkem Stammholz.

Entscheidend für die weitere Entwicklung ist die Antwort auf die Frage, welche Anordnung der Bretter die höhere Qualität der Brettbauteile liefert und wie die Rohstoffquelle ausgenutzt wird. Werden die Bretter hochkant angeordnet, so wird an die schmalen Bretter eine hohe Anforderung an die Ästigkeit gestellt. Schon mittelgroße Äste auf der Schmalseite führen zur Abwertung der Einzellamelle. Diese Abwertung wird aber durch den Laminierungseffekt zum Teil wieder ausgeglichen.

Werden die Bretter flachkant angeordnet, so kann nach dem wesentlich günstigeren Sortierkriterium Astansammlung sortiert werden. Gerade markferne Bretter haben geringe Ästigkeit nach [DIN 4074] Astansammlung. Auch die maschinelle Sortierung erbringt für die markfernen flachkant eingesetzten Bretter hohe Ausbeuten an hochtragfähigen Lamellen. In Brettlagenholz können wie bei Brettschichtholz die besonders hochwertigen Lamellen in die Decklagen sortiert werden, was bei hochkant eingesetzten Brettern nicht möglich ist.

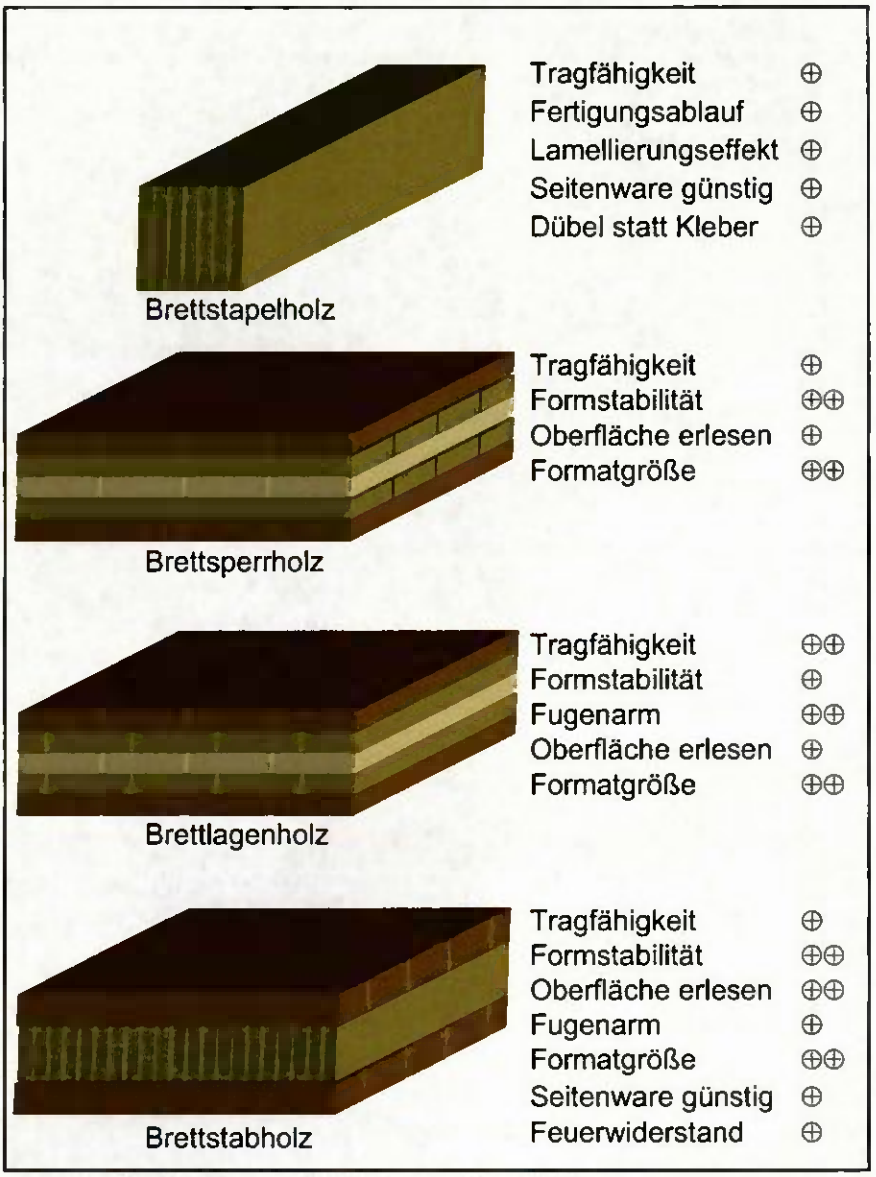


Abb. 14. 106: Vergleich von vier Massivholzdeckensystemen

Für die Erzeugung von Brettlagenholz ist jedoch ein anderer Produktionsablauf notwendig wie für Brettstapelholz. Das Brettlagenholz muss in ähnlicher Form produziert werden wie das Brettsperrholz, während Brettstapel wie liegendes Brettschichtholz produziert werden. Brettschichtholzhersteller werden Brettstapelholz bevorzugen, während Brettsperrholzhersteller Brettlagenholz den Vorzug geben. Brettlagenholz ist immer dann im Vorteil, wenn es um große Formate, insbesondere große Breiten, bei den Bauteilen geht. Brettstapelholz kann zwar in großen Längen hergestellt werden, bleibt aber auf relativ schmale Elemente beschränkt.

Aus den Elementen Brettstapelholz und Brettsperrholz lässt sich das Brettstabholz ableiten. Es besteht aus drei Lagen, die kreuzweise miteinander verbunden sind. Die mittlere Lage ist eine Brettstapellage und die Decklagen sind Riftlagen, die an den Kantseiten verbunden sind.

Einen Vergleich der vier Massivholzsysteme zeigt (Abb. 14. 106).

Aus Sicht der Ausnutzung des Potenzials des Rohstoffes Starkholz ist Brettlagenholz dem Brettstapelholz überlegen. Noch vorteilhafter ist das Brettstabholz. In Zeiten von knappen Rohstoffen wird sich das Produkt durchsetzen, das diese Rohstoffe am besten ausnutzt.

Den Massivholzdeckensystemen stehen die leichten Hohlkastensysteme gegenüber (Abb. 14. 107). Sie kommen mit besonders wenig Material aus, was allerdings beim Schall-, Wärme- und Brandschutz weitere Vorkehrungen erfordert. Zum einen müssen die Hohlräume mit Dämmmaterial gefüllt werden, zum anderen muss auf der Oberseite mehr Estrich und Dämmmaterial für den Schallschutz aufgebracht werden. Die Unterseiten müssen mit eigenen dem Feuer widerstehenden Schichten geschützt werden.

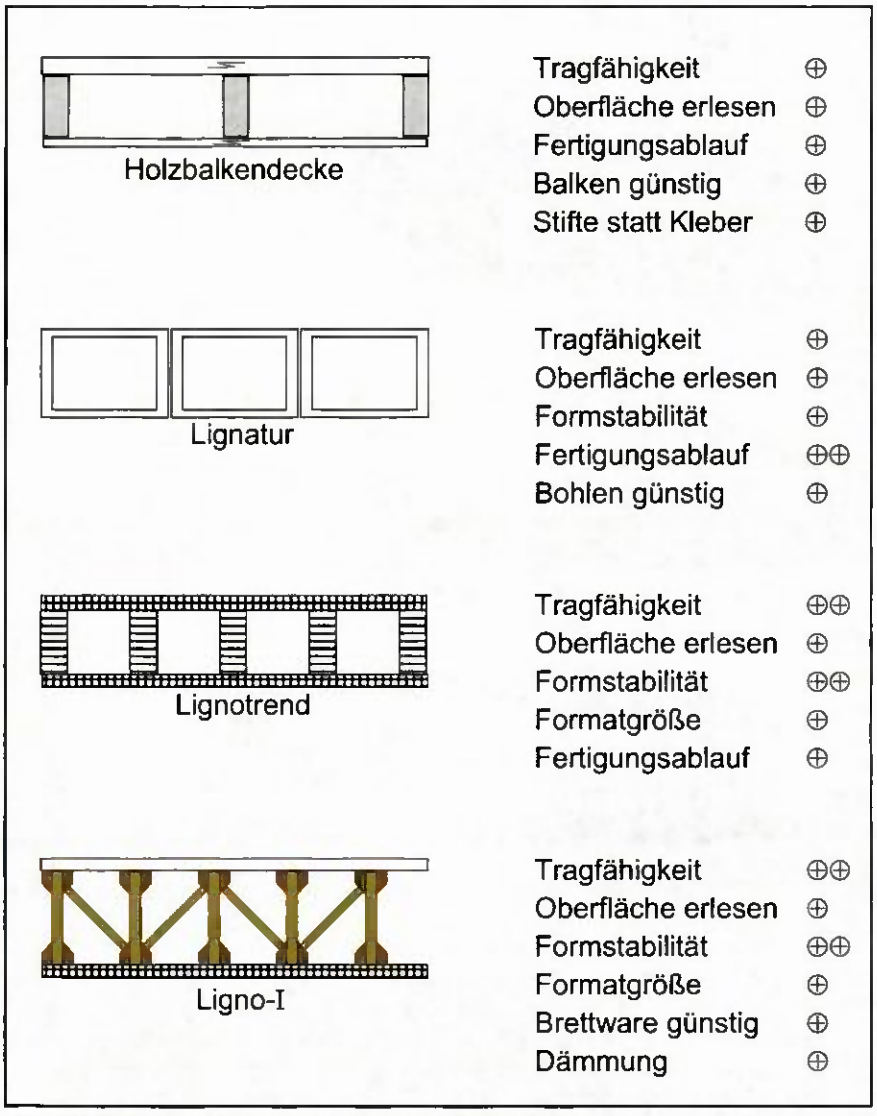


Abb. 14. 107: Vergleich von vier Hohlkastendeckensystemen

Da die Holzkosten bei den Decken- und Wandsystemen einen hohen Anteil ausmachen, ist auf eine hohe Ausnutzung des knappen Rohstoffs zu achten. Eine Möglichkeit Decken- und Wandsysteme mit hoher Ausnutzung des Rohstoffs zu erzeugen, ist in Abb. 14. 108 dargestellt. Das Rundholz wird zu einem Achteck geformt, aus dem dann 2 x 8 Trapeze und 8 Dreiecke mit stehenden Jahrringen gesägt werden. Die Trapeze haben dort wo die Äste ihren größten Durchmesser haben ihre breite Seite. Dies bedeutet, dass ein Ast von sehr viel ungestörtem Holz umgeben ist. Dadurch haben die Trapeze eine hohe Steifigkeit und Festigkeit. Diese Eigenschaften können durch eine maschinelle Sortierung gewährleistet werden. Dieser Einschnitt erbringt auch für grobastige Stammstücke ein brauchbares Ergebnis.

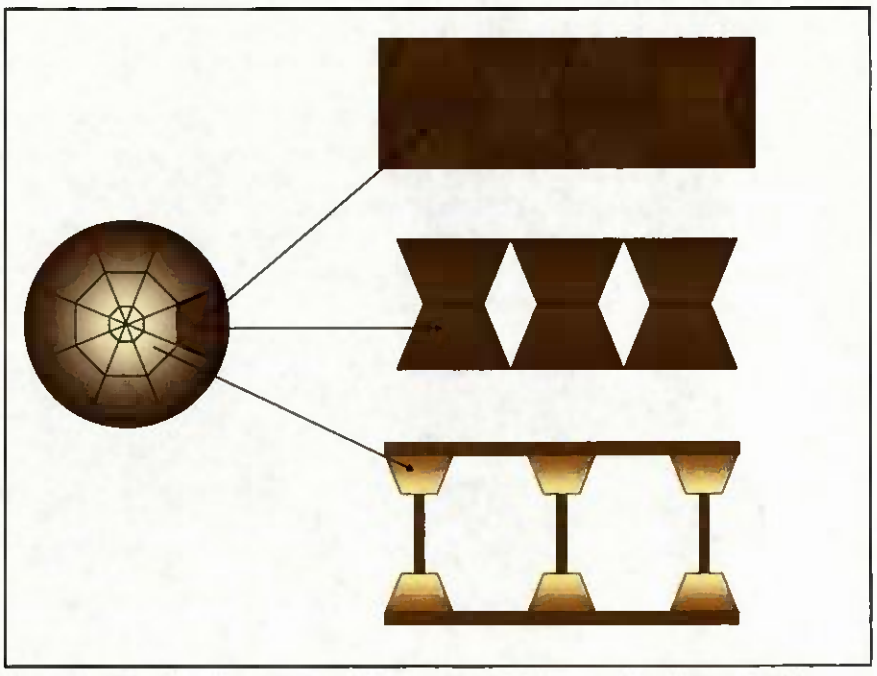


Abb. 14. 108: Decken- und Wandsysteme mit hoher Ausnutzung des Rohstoffs

Oberfläche verdeckt

Wird Brettlagenholz mit verdeckter Oberfläche eingesetzt, können auch Schnitthölzer aus den mittleren Stammbereichen der starken Stämme mit den mittelgroßen losen Ästen ohne Sortierung eingesetzt werden. Bei Brückenbauteilen, die an der Oberfläche mit Asphalt bedeckt werden, ist in erster Linie die Tragfähigkeit der Bauteile entscheidend.

Tab. 14. 13: Grad der Erfüllung der Anforderungen durch Brettbauteile

Anforderung	Massive Elemente				Hohlkastenelemente			
	BST	BSP	BSL	BSS	HBD	Lignatur	Lignotrend	Ligno-I
Tragfähigkeit	⊕	⊕	⊕⊕	⊕	⊕	⊕	⊕⊕	⊕⊕
Oberflächenqualität		⊕	⊕	⊕⊕	⊕	⊕	⊕	⊕
Formstabilität		⊕⊕	⊕	⊕⊕		⊕	⊕⊕	⊕⊕
Risse/Fugen			⊕⊕	⊕			⊕	⊕
Verbindung	⊕				⊕			⊕
Formatgröße		⊕⊕	⊕⊕	⊕⊕			⊕	⊕
Ausbeute	⊕			⊕	⊕	⊕		⊕
Feuerwiderstand				⊕				
Schalldämmung		⊕	⊕	⊕				
Wärmedämmung					⊕	⊕	⊕	⊕⊕
Fertigung	⊕				⊕	⊕⊕	⊕	
Lamellierungseffekt	⊕⊕	⊕	⊕	⊕⊕				
Summe	6	8	10	13	6	7	9	11
Grad der Erfüllung	**25%**	**33%**	**42%**	**54%**	**25%**	**29%**	**38%**	**46%**

BST: Brettstapel; BSP: Brettsperrholz; BSL: Brettlagenholz; BSS: Brettstabholz
HBD: Holzbalkendecke im Holzrahmenbau; Lignaturhohlkastenelement; Lignotrend: Ligno-Block Q3;

In Tab. 14. 13 ist der Grad der Erfüllung der Anforderung durch Brettbauteile in einfacher übersichtlicher Weise hergeleitet. Eine Quantifizierung ließe die Abstände zwischen den Bauprodukten genauer aufscheinen, würde aber an der Reihenfolge nichts grundsätzlich ändern. Sowohl bei den massiven Elementen als auch bei den Hohlkastenelementen sind Produkte mit hohem und niedrigem Grad der Erfüllung der Anforderungen vorhanden. Die Produkte mit 25% Erfüllung der Anforderungen sind selbstverständlich bautechnisch

ausreichend. Die endgültige Wahl des Bauteils hängt mit dem konkreten Bauvorhaben zusammen und muss daher fallweise entschieden werden.

Abschließend soll in diesem Kapitel die mögliche Aufteilung von starkem Nadelstammholz nach Tragfähigkeit und Oberflächenqualität des erzeugten Bauproduktes zusammenfassend dargestellt werden. Links in Abb. 14. 109 ist die Veränderung der Qualität in Stammlängsrichtung, im Querschnitt und von Stamm zu Stamm (B- oder C-Stamm) dargestellt. Der jeweiligen Qualität ist ein Einschnittmuster zugeordnet und eine Reihe möglicher Bauprodukte aufgezeigt, die daraus hergestellt werden können (vgl. Tab. 14. 2 in der Zusammenfassung).

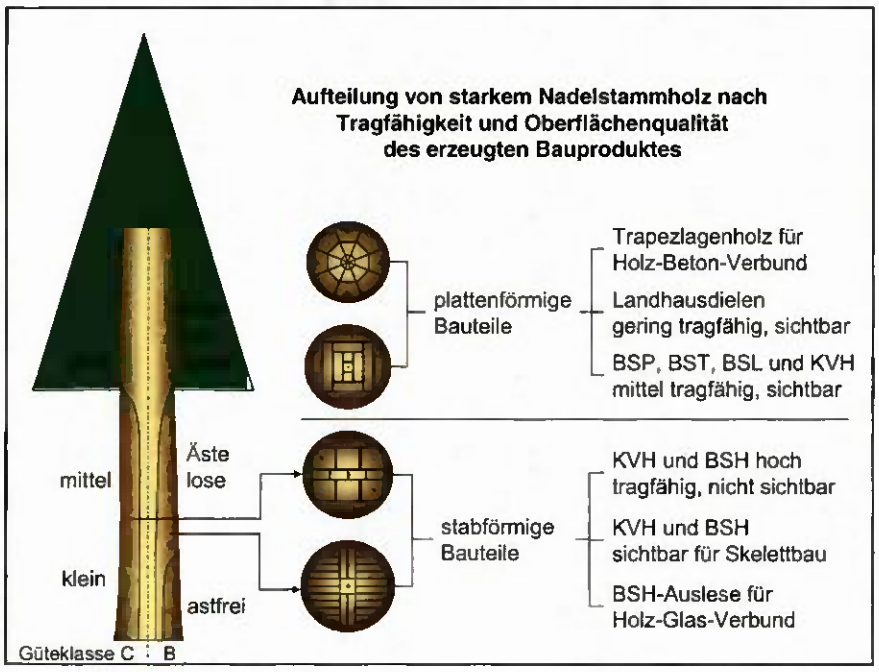


Abb. 14. 109: Aufteilung von starkem Nadelstammholz nach Tragfähigkeit und Oberflächenqualität des erzeugten Bauproduktes

8 Entwicklung von Markt-Produkt-Strategien

In diesem Abschnitt soll gezeigt werden, welche Ansätze zur Vermarktung der oben gezeigten Produkte bestehen und wie sich diese durch die Einflüsse des Marktes und der technischen Entwicklungen weiter entwickeln können. Es werden derzeit drei Markt-Produkt-Strategien unterschieden. Zum einen die der Marktspezialisierung durch eine breite Produktpalette, zum zweiten die Produktspezialisierung des Kostenführers oder Nischenanbieters und zum dritten die selektive Spezialisierung des Komplettanbieters.

Der Marktspezialist versucht einen begrenzten Markt für Bauprodukte aus Holz wie zum Beispiel Oberbayern möglichst stark zu durchdringen. Er bietet daher mehrere Produkte genau nach Kundenwunsch an. Ein Beispiel hierfür ist Bauholz nach Liste. Der Kunde, meist ein Zimmermann, gibt für sein Bauprojekt eine detaillierte Liste für Balken, Dielen, Bretter und Latten beim Säger ab. Der Säger setzt diese Liste zusammen mit anderen Listen in einen Einschnittplan um. Mit dem nötigen Rundholz wird anschließend das vom Kunden gewünschte Bauholz gesägt.

Der Produktspezialist versucht ein Produkt mit wenig Varianten auf einem möglichst großen Markt abzusetzen. Ein Beispiel hierfür ist ein großes Sägewerk, das sich auf die Herstellung von Brettern und Kanthölzern mit wenigen verschiedenen Querschnittsabmessungen und einheitlicher Qualität (S10) spezialisiert hat und diese Bretter und Kanthölzer auf dem ganzen

europäischen Markt absetzt. Voraussetzung dafür ist die Kostenführerschaft auf dem Markt.

Der selektive Spezialist stellt ein Produkt für einen begrenzten Markt her. Beispiele hierfür sind Morali für den italienischen Markt, Brettschichtholz für den Norddeutschen Markt, oder Balkenschichtholz für den bayerischen Markt. (Abb. 14. 110).

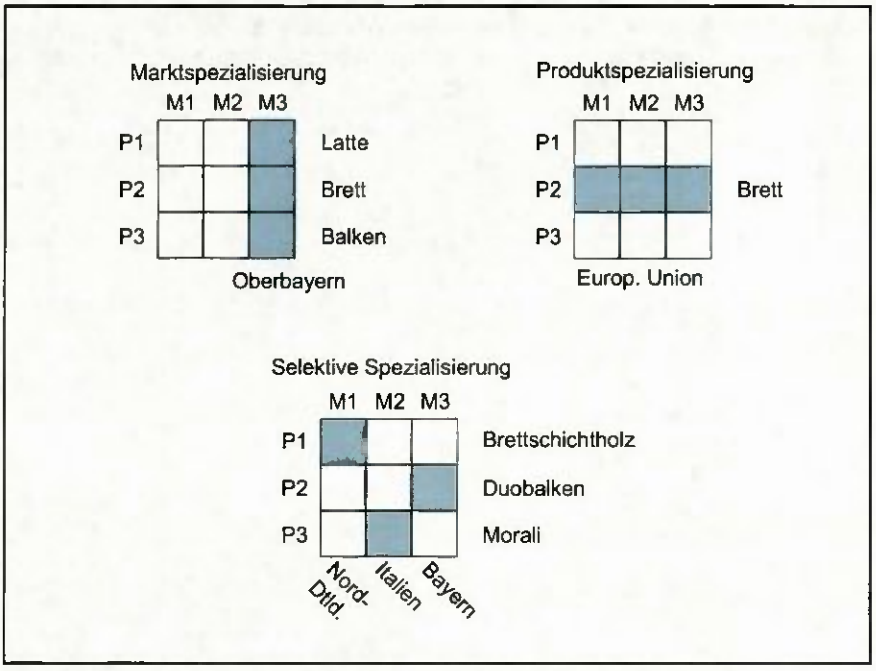


Abb. 14. 110: Markt-Produkt-Strategien von holzbearbeitenden Betrieben

Diese Strategien bleiben aber nicht unveränderlich bestehen, sondern passen sich im Laufe der Zeit den Marktveränderungen an. Besonders im Bereich der Sägewerke herrscht seit Jahren ein beständiger Strukturwandel, der von den Marktveränderungen und von den technischen Entwicklungen vorangetrieben wird [Niemelä 1996], [Roos 2005].

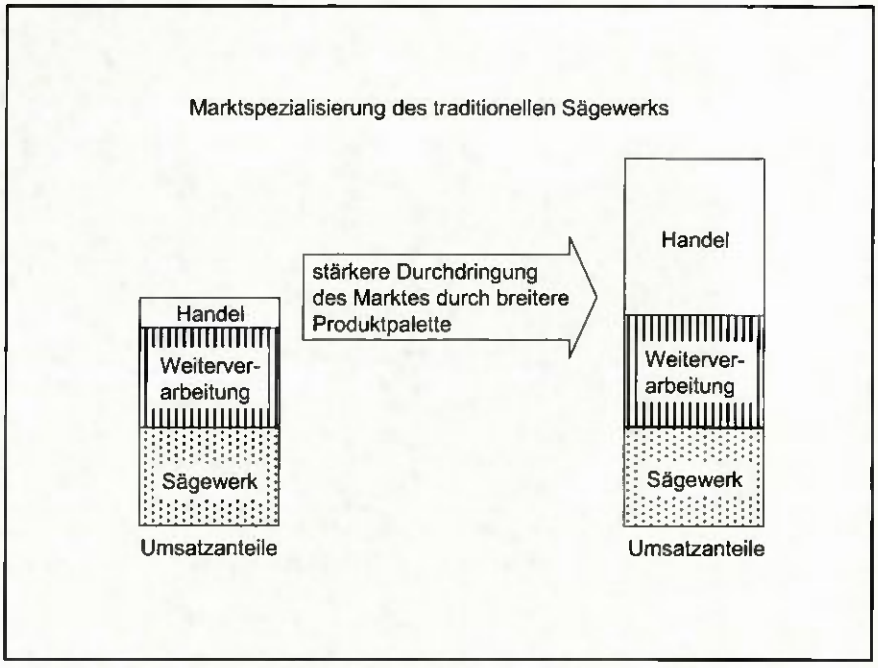


Abb. 14. 111: Marktspezialisierung des traditionellen Sägewerks

8.1 Marktspezialisierung durch breite Produktpalette

Bauprodukte aus Massivholz werden auf regionalen Märkten den Kunden angeboten. Traditionell sind die Sägewerke die Anbieter solcher Bauprodukte aus Massivholz. Ihr Produktspektrum ist jedoch auf die selbst hergestellten Massivholzprodukte beschränkt. In den letzten Jahren traten auf den regionalen Märkten neue Anbieter mit günstigen Standardprodukten auf und erhöhten dadurch den Wettbewerbsdruck auf die Sägewerke. Zum anderen stiegen die Kosten der Sägewerke für Personal und Abgaben weiter an. Damit entstand eine Schere zwischen sinkendem Ertrag und steigendem Aufwand. Die erfolgreichen Unternehmen haben daraufhin ihre Ertragsseite durch eine Umsatzerhöhung verbessert.

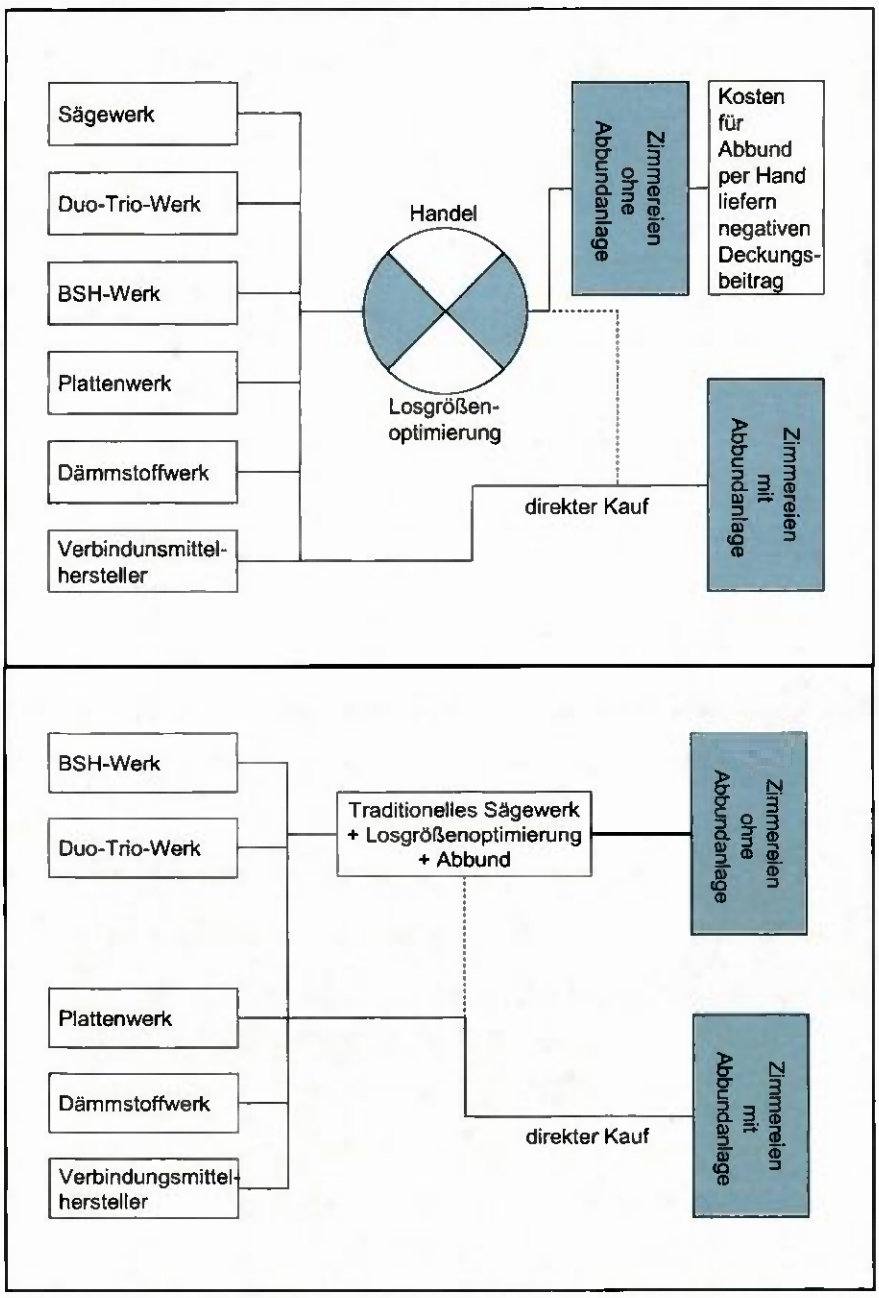


Abb. 14. 112: Schnittholzproduktion mit und ohne Handel mit weiteren Bauprodukten mit Losgrößenoptimierung zur Ertragssteigerung sowie Abbund für die Zimmereien ohne eigene Anlage.

Dies konnten sie durch eine stärkere Marktdurchdringung mittels einer breiteren Produktpalette erreichen (Abb. 14. 111). Die breitere Produktpalette erreichten sie hauptsächlich durch Handel mit neuen Produkten und durch Weiterverarbeitung der bisherigen Produkte.

8.1.1 Schnittholzproduktion und Handel mit weiteren Bauprodukten

Ein Beispiel für die Erweiterung der Produktpalette ist der Handel mit Brettschichtholz oder Balkenschichtholz durch die Sägewerke. Einzelne dieser Betriebe bieten zusätzlich die Dienstleistung des Abbunds der Stangenware an.

Ein weiteres Beispiel ist die Erweiterung der Produktpalette durch hochwertige Bodenbeläge, Wandverkleidungen und andere Produkte für den fachmännischen Innenausbau (Sägewerk Suttner in Dietramszell, Sägewerk Müller in Allershausen, Sägewerk Ziegenaus Aichach u. a. m.). Die Entwicklung kann soweit gehen, dass der Handel mit Bauprodukten aus Holz vorherrschend wird (Holz Denzel in Wertingen) (Abb. 14. 112).

8.1.2 Schnittholzproduktion und Weiterverarbeitung

Die Weiterverarbeitung von Schnittholz zu besonders tragfähigen und formstabilen Bauprodukten wie oben beschrieben erhöht die Wertschöpfung und verbessert die Ertragssituation [Roos 2002]. Ein Teil des Personals und der Einrichtungen des Sägewerks kann für die Weiterverarbeitung genutzt werden. Noch wichtiger ist die sichere Versorgung der Weiterverarbeitung mit dem Rohmaterial. Ein Betrieb mit eigener Schnittholzproduktion ist weniger von Marktschwankungen abhängig als ein reiner Weiterverarbeiter. Beispiele für solche erfolgreichen weiterverarbeitenden Sägewerke sind die Holzwerke Gmach in Pösing, Holzwerke Pröbstl in Fuchstal-Asch, Stora Enso Pfarrkirchen, u. a. m. Dabei spielt die räumliche Nähe des Sägebetriebes zwar eine Rolle, ist aber nicht zwingend, wie das Beispiel Stora Enso Pfarrkirchen zeigt.

8.2 Produktspezialisierung des Kostenführers und Nischenanbieters

Die Produktspezialisierung kann auf zweierlei Art erfolgen. Entweder der Hersteller von Bauprodukten optimiert seine Prozesse so, dass er zu niedrigsten Kosten ein Standardprodukt produzieren kann, oder er optimiert seine Prozesse so, dass seine Produkte Spitzenqualität erreichen und eine bestimmte Kundenschicht, die durchaus weltweit verteilt sein kann, ansprechen.

8.2.1 Produktspezialisierung des Kostenführers

Entscheidet sich ein Unternehmen für ein enges Produktspektrum (z. B. Massivholz, MDF-Platten o. a.), so wird es einen weit verbreiteten Qualitätsstandard (S10 nach DIN 4074, No. 2 nach US-Standard) umsetzen und die Produktion auf den neuesten Stand der Technik bringen. Zu dieser zweiten Generation Spaner-Kreissägen-Technik gehören hydraulisch gesteuerte Teleskop-Doppelwellen und Schnittbahnoptimierung sowie Rundholzplätze mit Blockzügen mit über 80 Abwurfboxen. Das Unternehmen wird möglichst günstige Rohstoffe wie z. B. Schwachholz oder Stammholz von geringer Qualität einkaufen. Damit die Produkte möglichst weit verbreitet werden können, werden sie zu Halbfertigwaren (Konstruktionsvollholz, BSH-Stangen) weiterverarbeitet. Die großen Ausbringungsmengen können meist nicht an einzelne Kunden geliefert werden, so dass ein oder mehrere Großhändler oder Makler für den Vertrieb eingeschaltet werden. Die eigene Handelstätigkeit geht auf ein Minimum zurück (Abb. 14. 113).

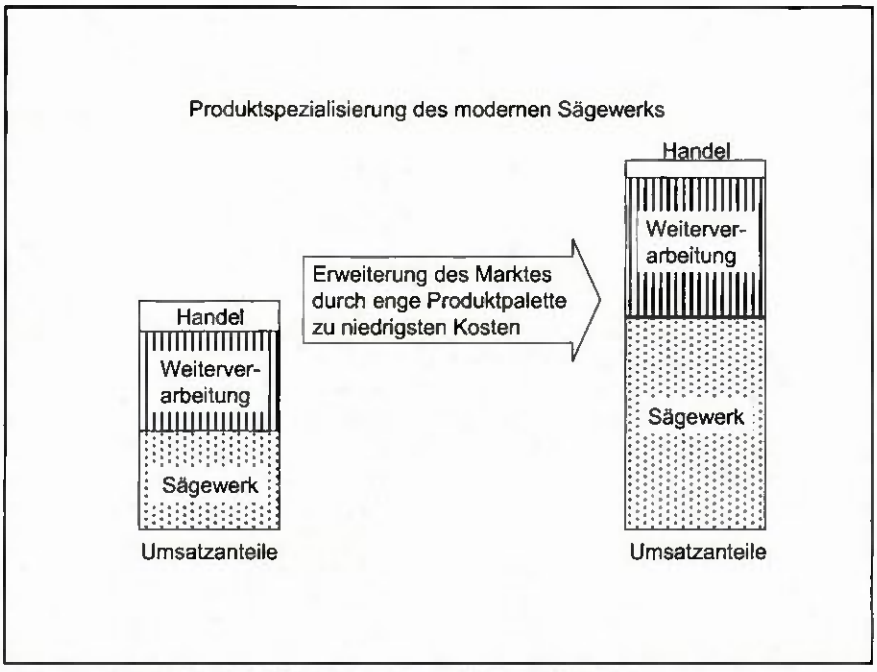


Abb. 14. 113: Produktspezialisierung des modernen Sägewerks

Beispiele für Produktspezialisierung in Bayern sind Sägewerke wie Binder, Klausner, Rettenmeier, Ziegler, u. a. Ihr Kennzeichen ist die hohe Sägekapazität und der hohe Exportanteil. Die hohe Sägekapazität bedeutet zwar geringe Stückkosten aber andererseits die Notwendigkeit große Mengen Schnittholz zu vermarkten. Andere Beispiele für Produktspezialisierung sind die Plattenindustrie (Pfleiderer) oder die Fertighausindustrie (WeberHaus, Hanse-Haus, Kampa-Haus, Bien-Zenker AG u. a.).

8.2.2 Produktspezialisierung des Nischenanbieters

Der Nischenanbieter hat nicht die Notwendigkeit große Mengen eines Produktes zu vermarkten. Er bietet nur kleine Mengen seiner Produkte an. Diese Produkte erbringen aber aufgrund ihrer Spitzenqualität oder Alleinstellung am Markt hohe Erlöse. Der Nischenanbieter kann daher mit wenig Umsatz und mit wenig Personal- und Verwaltungsaufwand einen hohen Gewinn erwirtschaften.

Kennzeichen des Nischenanbieters ist die Marktnische. Diese Marktnische kann sich aus der räumlichen Begrenzung des Marktes (Allgäu, Chiemgau, Rottal, Spessart u. ä.) oder aufgrund der speziellen Eigenschaften der Produkte (Patente, Design u. ä.) oder aufgrund von Käuferwünschen ergeben. Gerade die Spitzenqualität eines ansonsten weit verbreiteten Produktes (Markenware wie "Nordische Ware", "Allgäuer Friese", "Hetzerträger", "Moralt Tischlerplatten", "Merk Dickholz", "Lignotrend") kann den Hersteller zum Nischenanbieter machen (Tab. 14. 14). Diese Nischenanbieter sind in der Lage Starkholz von mittlerer bis geringer Qualität so zu bearbeiten, dass daraus Bauprodukte mit Spitzenqualität entstehen.

Eine Gruppe von Nischenprodukten gehört zu den stabförmigen Bauprodukten oder zu den "Hetzerträgern" wie sie nach ihrem Entwickler genannt werden. Bei diesen stabförmigen Bauprodukten nimmt innerhalb einer Produktgruppe wie BSH-Stangenware, Fachwerkträger aus Massivholz, Spezialbinder oder Fachwerkträger aus BSH-Stangen der Produktionsaufwand mit der Stützweite zunächst ab, da die Stückkosten sinken (Abb. 14. 114). Die Stückkosten sinken, da die Fertigungskosten für einen Träger aus schmalen Lamellen nahezu gleich den Fertigungskosten für einen Träger aus breiten Lamellen sind, aber die erzeugte Trägermenge erheblich ansteigt.

Tab. 14. 14: Markennamen und Nischenanbieter in Bayern und Baden-Württemberg

Nordische Ware	Molfenter & Co.
Allgäuer Friese	Fickler
Hetzerträger	Hirtreiter Zeh Schiller Feyler Henfling
Tischlerplatten	Moralt GmbH
Merk Dickholz	Finnforest Merk Kreuzlagenholz Binder Holzsysteme Massivholzmauer HMS-Bausysteme
Lignotrend	Lignotrend GmbH Sägewerk Echtle

Gleichzeitig steigt der Aufwand für Abbund und Montage mit der Stützweite an. Auf diese Weise ergibt sich ein Minimum für das Verhältnis aus Produktionsaufwand und Stützweite für jede Produktgruppe. Dieses Minimum liegt für die verschiedenen Produktgruppen in unterschiedlichen Stützweitebereichen. Diese unterschiedliche Lage ist ein wesentlicher Grund für die Entstehung von Nischenprodukten wie Unterzüge aus Brettschichtholz, Nagelplattenbinder, inhomogene Bogenbinder und Fischbauchträger.

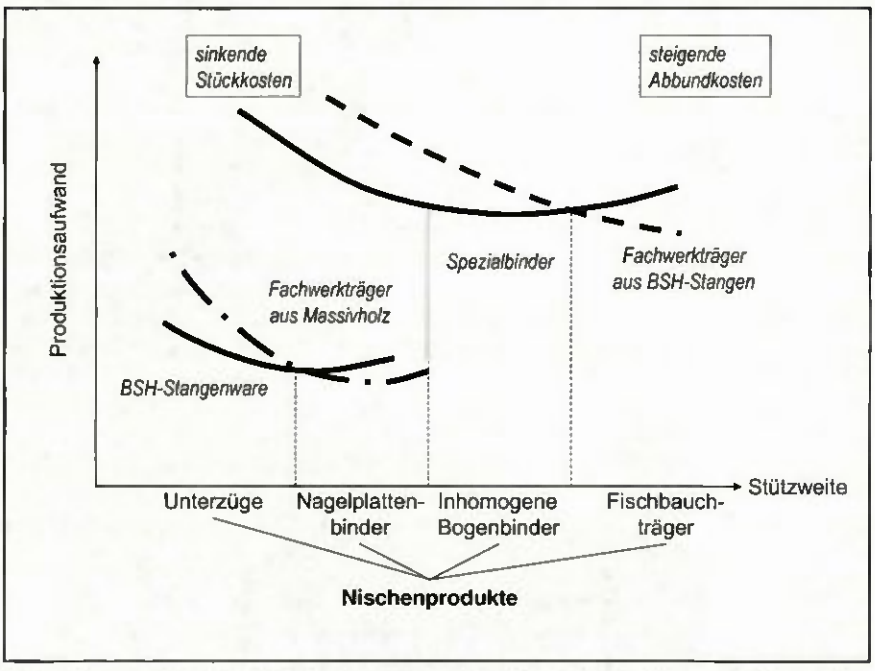


Abb. 14. 114: Nischenprodukte bei stabförmigen Bauprodukten aufgrund des Verhältnisses von Produktionsaufwand und Stützweite

Aus einem Nischenanbieter kann auch ein Kostenführer mit großem Marktanteil werden. Das Instrument für eine solche Entwicklung ist die Lizenzvergabe und gemeinsames Marketing (Lignotrend GmbH). Die Kooperation kann so weit gehen, dass verschiedene Nischenanbieter, seien sie durch verschiedene Marktregionen oder Produkte definiert, sich zu einer Strategieholding mit Portfoliomanagement zusammenschließen (Abb. 14. 115, Haas-Gruppe).

In einer Strategieholding behält jeder Betrieb seine Kernkompetenzen wie Betriebsleitung, Beschaffung und Herstellung der Nischenprodukte. Er gibt

jedoch die Zuständigkeit für Absatz, Marketing und Finanzen an die Holding ab. Organisationsteile wie Forschung und Entwicklung, Logistik und Qualitätssicherung lässt die Holding von externen Dienstleistern wie Hochschulen, Speditionen oder Materialprüfanstalten erledigen.

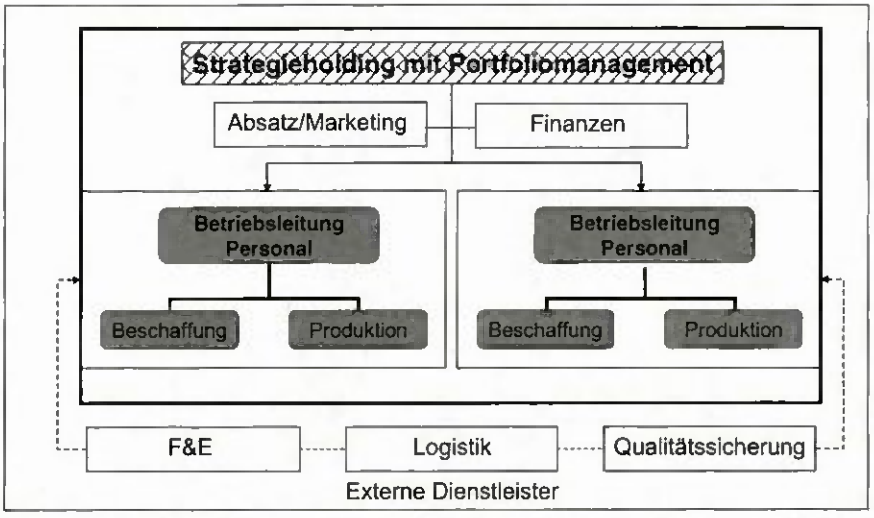


Abb. 14. 115: Organisationsstruktur von Nischenanbietern in einer Strategieholding mit Portfoliomanagement

8.3 Selektive Spezialisierung des Komplettanbieters

Komplettanbieter übergeben den Bauherren standardisierte Häuser oder individuell geplante Objekte. Sie stellen jedoch nicht alle Bauteile für die Objekte selber her. Sie haben sich vielmehr auf eine bestimmte Bauteilgruppe spezialisiert. Die anderen Bauteile werden zu gekauft.

8.3.1 Standardisierte Häuser

Standardisierte Häuser können mit unterschiedlichem Vorfertigungsgrad hergestellt werden. Dieser reicht vom traditionellen Zimmermannsbau (Moser, Rottaler Holzhäuser) bis hin zum modernen Holzrahmenbau mit eigenen Fertigungsstraßen für Wand, Decke und Dach (Weber-Haus). Einzelne Unternehmen mit einem höheren Vorfertigungsgrad haben sich auf die Herstellung von Baustoffen für ihre Produktion spezialisiert. Sie stellen eine Produktgruppe für sich und einen begrenzten Markt her. Dies können Fensterkanteln, Brettschichtholz, Balkenschichtholz, abgebundenes Konstruktionsvollholz oder ein Dämmstoff sein. Die Produktion für den begrenzten Markt dient dabei zur besseren Kapazitätsauslastung der eigenen Anlagen. Beispiele für solche Unternehmen sind die Haas-Gruppe (Fenster, BSH), Schwörer-Haus (BSH), Huber in Bachmering (Fenster) oder Baufritz (Dämmstoff). Diese Unternehmen sind in der Lage hochwertige Bauprodukte aus Massivholz aus starkem Stammholz in ihrer eigenen Produktion und für einen begrenzten Markt herzustellen. Die Anforderungen sind bei der Oberflächenqualität höher als bei der Tragfähigkeit.

8.3.2 Individuelle Objekte

Objektbauer stellen in der Regel nur Kleinserien oder Einzelbauwerke her. Die Anforderungen an die Tragfähigkeit der Baustoffe und Bauteile sind hierbei hoch, während eine durchschnittliche Oberflächenqualität oft ausreicht. In Bauprodukten wie Brettsperrholz könnten Unternehmen wie Finnforest Merk neben hochwertigen Decklamellen auch astige Lamellen mit niedriger Oberflächenqualität in den Quer- und Mittellagen verwenden. Derzeit ist gemäß bauaufsichtlicher Zulassung für alle Lamellen die Sortierklasse S10 vorgeschrieben.
Brettschichtholzträger für größere Spannweiten können ebenfalls inhomogen aufgebaut werden. Neben hochwertigen Decklamellen können geringer tragfähige Lamellen in den Mittelbereichen der Träger angewendet werden. Damit kann die differenzierte Qualität der Massivhölzer aus starkem Stammholz in Unternehmen wie Grossmann Bau GmbH, Holzleimbau Gröber oder Wiehag GmbH optimal eingesetzt werden. Gleichzeitig können diese Unter-

nehmen auch einen Teil ihrer Produktion auf dem Markt in ihrer Umgebung absetzen (Abb. 14. 3).

Dabei kann es sich um hochwertige BS16-Träger mit Sichtqualität (Abb. 14. 84, Abb. 14. 92), um besonders steife, schwingungsarme Brettsperrholzelemente für den Geschoßbau (Abb. 14. 81, Abb. 14. 106, Tab. 14. 13) oder um kostengünstige, maschinell sortierte Rahmen mit ausreichender Tragfähigkeit (C18M/14M, Abb. 14. 34) für den Standard-Holzbau handeln. Die Verteilung kann über den regionalen Handel erfolgen. Dieser sammelt die kleineren Lose der Objektbauer und verteilt die größeren Lose an die Standard-Holzbauer.

9 Umsetzung der Ergebnisse in die Praxis

Um die wissenschaftlichen Ergebnisse in der Praxis umzusetzen, wurden Projekt begleitende Maßnahmen schon während der Untersuchung durchgeführt. Dabei handelte es sich um Workshops, Messeauftritte mit mehrtägiger Standbetreuung, Vorträge vor Zimmerern im Allgäu und einen Internetauftritt.

9.1 Workshops mit Vertretern von Unternehmen und von anderen Teilprojekten

Im ersten Jahr des Projekts wurden mit Vertretern von Stora-Enso Pfarrkirchen und Wien mehrere ganztägige Workshops durchgeführt. Dabei wurden Fragen zur Herstellung und Vermarktung von Brettschichtholz in Europa mit Vertretern der technischen (F&E) und kaufmännischen Abteilungen behandelt. Ergebnis der Workshops war ein Bericht an Stora-Enso [Tratzmiller 2006a], eine neue Verkaufsstruktur für das Balkenschichtholz aus Pfarrkirchen und die Entscheidung für den Bau eines neuen BSH-Werkes (Japanware) in Imavere (Estland) mit deutscher Technik (Minda Industrieanlagen GmbH).

Im zweiten Jahr des Projekts wurde der Einschnitt, die maschinelle Sortierung und die Herstellung von Brettsperrholz aus Lamellen aus Starkholz zusammen mit Finnforest Merk und dem Sägewerk Ziegenaus bei Aichach (1. Versuchsreiche), der ELKA Holzwerke GmbH in Morbach und Popensieker & Derix bei Osnabrück (2. Versuchsreihe) durchgeführt. Ergebnis dieser Untersuchungen waren zwei Berichte [Tratzmiller 2007a] und [Tratzmiller 2008]. Danach ist es möglich aus maschinell sortierten Lamellen aus Starkholz leichtes Brettsperrholz mit hoher Steifigkeit herzustellen, das auch hohen Ansprüchen an die Schwingungseigenschaften der Platten genügt.

Um die Vernetzung mit anderen Teilprojekten zu gewährleisten, wurden regelmäßige Arbeitssitzungen der Themengruppe "Baustoffe" abgehalten. In dieser Themengruppe kamen Vertreter der Teilprojekte 9, 14, 15, 16 und 17 zusammen, um die geplanten gemeinsamen Arbeiten zu koordinieren und die Ergebnisse zu vergleichen. Das Teilprojekt 14 lieferte hier Informationen und Rohmaterialien wie Lamellen und Späne für die anderen Teilprojekte. Besonders ist die Herstellung von Brettsperrholzprüfkörpern für Teilprojekt 15 zu nennen [Mestek 2007].

9.2 Messeauftritte

Eine sehr gute Möglichkeit um mit Vertretern aus der Holzbaupraxis ins Gespräch zu kommen, sind Auftritte bei Fachmessen. Um die hohen Kosten für einen Messeauftritt zu verringern, wurde die Teilnahme an Gemeinschaftsständen gewählt. In den Jahren 2005, 2006 und 2007 wurden Auftritte bei der Holzbaumesse in Kempten im Allgäu vorgenommen und Stände auf der BAU 2007 in München, bei Holz innovativ in Rosenheim 2007 und auf der Messe "Dach und Holz 2008" in Stuttgart ganztägig über mehrere Tage hinweg betreut.

Während der zweitägigen **Holzbaumessen in Kempten** wurde jeweils ein Vortrag am Samstag und Sonntag gehalten [Tratzmiller 2005], [Tratzmiller 2006b], [Tratzmiller 2007b]. Anschließend wurden die Inhalte mit Besuchern der Messe und Vertretern der Aussteller diskutiert. Ergebnis der Auftritte ist

die intensive Zusammenarbeit mit dem regionalen Verbund "Allgäu Holz" in dem Vertreter der mittelständischen Holzwirtschaft aus dem Allgäu zusammenwirken.

Im Jahr 2007 wurde vom Gesamtprojekt "Holzbau der Zukunft" auf der **BAU 2007** in München ein Gemeinschaftsstand initiiert. Die Teilprojekte haben daraufhin für ihre Teilstände eigene Präsentationen erarbeitet, entsprechende Ausstellungsmuster und Flyer hergestellt und beim Aufbau des Standes mitgewirkt (Abb. 14. 116). Die Exponate für TP 14 wurden von Holz Schiller in Regen, Holzbau Hirtreiter in Straubing, Suttner Massivholzelemente GmbH und vom Sägewerk Haggenmüller in Unterkürnach/Allgäu kostenlos nach dem Entwurf der Holzforschung hergestellt. Der Teilstand wurde von der Holzforschung München eine Woche lang ganztägig betreut. Hervorzuheben sind nicht nur die gute Zusammenarbeit mit den Holzbaufirmen, sondern auch die Neukontakte z. B. zu ELKA Holzwerke GmbH.

Parallel zu dem Kongress **"Holz innovativ 2008 in Rosenheim"** fand eine Ausstellung statt, bei der das Teilprojekt 14 und andere für drei Tage den Gemeinschaftsstand der DGfH nutzten, um ihre Produkte vorzustellen. Es wurden dazu die gleichen Exponate wie auf der BAU 2007 verwendet.

Abb. 14. 116: Standaufbau des Teilprojekts 14 bei der BAU 2007 in München

Im März 2008 fand in Stuttgart die **Fachmesse "Dach und Holz"** statt, auf der das Teilprojekt 14 und andere einzelne der Exponate von der BAU 2007 auf einem Gemeinschaftsstand der DGfH dem Fachpublikum präsentierten. Dazu wurde der Teilstand 5 Tage durchgehend betreut.

9.3 Vortrag vor Zimmererinnungen aus dem Allgäu

Nachdem die Vorträge auf der Holzbaumesse in Kempten sehr erfolgreich waren, wurde der Vortrag [Tratzmiller 2006b] einer Versammlung von 40 Vertretern der 5 Allgäuer Zimmererinnungen vorgestellt und diskutiert. Der örtliche Brettschichtholzhersteller Zeh regte daraufhin eine engere Zusammenarbeit mit den anderen Zimmereien an.

9.4 Internetauftritt

Für das Gesamtprojekt Holzbau der Zukunft wurde eine Internetplattform errichtet (**www.Holzbau der Zukunft.de**), auf der die einzelnen Teilprojekte einheitlich vorgestellt werden. Die dazu notwendigen Unterlagen wurden vom jeweiligen Teilprojekt zur Verfügung gestellt.

10 Literatur

Admonter 2007 Admonter Produktkatalog (2007): STIA Holzindustrie GmbH. Admont in Österreich.

Arge Holz 1997 Arbeitsgemeinschaft Holz e. V. (1997): Das Holzhaus - Argumente für eine wachsende Alternative. In Informationsdienst Holz. Düsseldorf

Assmann 1965 Assmann, E; Franz, F. (1965): Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern. Forstw. Cbl., 84. Jg. H. 1, S. 13.43

Assmann 1995 Assmann, B. (1995): Technische Mechanik. Band 2. Oldenbourg Verlag, München, ISBN 3-486-227-35-1

Bacher 2004 Bacher-Winterthaler, M.; (2004): Optimierungsmöglichkeiten und Restriktionen eines mechanisierten Holzerntesystems bei der Umsetzung moderner Waldbaukonzepte am Beispiel des Südschwarzwaldes; Diss. Universität Freiburg/Breisgau

Bauregelliste A/B/C:2006 Bauregelliste A, Bauregelliste B, Bauregelliste C. Ausgabe 2006. Mitteilungen, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin

Bauschinger 1887 Bauschinger, H. (1887): Untersuchungen über die Elastizität der Nadelhölzer. Mitt. a. d. mechan. Techn. Laboratorium der Techn. Hochschule München. H. 16.

BayBO 1997 Bayerische Bauordnung (BayBO) in der Fassung der Bekanntmachung vom 4. August 1997. Fundstelle: GVBl 1997, S. 433. Zuletzt geändert am 9.7.2003, GVBl 2003, S. 419

BDD 2007 Bois du Dauphiné (2007): Produktbeschreibung für konisch gephräste Balken aus Le Cheylas. www.bois-du-dauhiné.fr ; Zertifiziert nach CTBA/02-0084

Becker 1985 Becker, G. (1985): Die Tegernseer Gebräuche - Entstehung, Entwicklung und Bedeutung für die Holzwirtschaft. Holz-Zentralblatt 111: 301-311

Becker 1988 Becker, G. (1988): Zusammenhänge zwischen Rundholzeigenschaften und Schnittholzqualität bei Fichten/Tannen-Starkholz - Ergebnisse eines Einschnittversuchs. in Holz-Zentralblatt, Jg. 114 (1988), Nr.94, S.1337-1338,1346,

Bellmann 1982 Bellmann, B. (1982): Druckholzanalyse an einem stark verkrümmten Fichtenbrett. Unveröff. Diplomarbeit. Universität München

Bender 2006 Bender, G. (2006): Qualitätsbestimmende Eigenschaften von Tannen- und Fichtenstarkholz aus dem Schwarzwald unter der Berücksichtigung hochwertiger Verwendungsmöglichkeiten. Dissertation Universität Freiburg i. Breisgau

Bernhardt 1964 Bernhardt, A. (1964): Über die Rohdichte von Fichtenholz. Holz als Roh- und Werkstoff. 22. Jg. Heft 6. Springer Verlag

Binder 2007 Binder Holzsysteme GmbH (2006): BBS technische Daten. Fügen in Tirol

Borchert 2005 Borchert, H. (2005): Holzaufkommensprognose für Bayern, in LWF- Wissen Nr. 50, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freising

Boxler 2007 Boxler Produktkatalog (2007): Boxler GmbH & Co. KG. D-86871 Rammingen

Brettschneider 2007 Bretschneider, T. (2007): Verbesserte Vorhersage der Festigkeitseigenschaften einzelner Brettschichtholzbalken - Methoden, erreichbare Genauigkeit und Anwendungsgebiete in Fachzeitschrift: Holztechnologie, Jg. 48 (2007), Nr.1, S.5-9

Brettstapel 2006 Güte- und Prüfbestimmungen der Gütegemeinschaft Brettstapel- und Dübelholzhersteller e. V. (2006), Merkle GmbH, Bissingen u. Teck. http://www.brettstapel.eu,

Bücking 2007 Bücking, M; Moshammer, R; Roeder, A. (2007): Wertholzproduktion bei der Fichte mittels kronenspannungsarm gewachsener Z-Bäume. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 62/07. 295 S.

Bues 1990 Bues, C. T. (1990): Untersuchung der Holzqualität von Fichten aus unterschiedlich weit begründeten Beständen Süddeutschlands. Habilitationsschrift forstl. Fak. Univ. München: 159 S.

CARMEN 2007 C.A.R.M.E.N e.V. (2007): Holzpellets - eine Alternative zum Heizöl; http://www.carmen-ev.de/dt/energie/pellets/pellets.html#preise siehe Anhang A1.

DIBt 2005 Mitteilungen des deutschen Instituts für Bautechnik (2005): Verzeichnis der Holzbaubetriebe, die den Nachweis der Eignung zum Leimen von tragenden Holzbauteilen nach DIN 1052-1 erbracht haben

DIBt Z-9.1-440 Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-9.1-440 vom 16. Jan. 2006: Balkenschichtholz aus zwei oder drei miteinander verklebten Brettern, Bohlen und Kanthölzern; Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin

DIBt Z-9.1-473 Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-9.1-473 von 10/2002: Brettstapel-Beton-Verbunddecken mit Flachstahlschlössern. Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin

DIBt Z-9.1-482 Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-9.1-482 vom 16. Nov. 2005: KLH-Kreuzlagenholz, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin

DIBt Z-9.1-555 Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-9.1-555 vom 20. Dez. 2002. Lingnotrend-Elemente. Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin

DIBt Z-9.1-557 Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-9.1-557 vom 17. März 2004. Holz-Beton-Verbundsystem mit eingeklebten HBV-Schubverbindern. Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin

DIBt Z-9.1-574 Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-9.1-574 vom 27. Mai 2005. Thoma-Holz 100 System. Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin

DIN 1052 Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken. Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau, Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin

DIN 18334 VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Zimmer- und Holzbauarbeiten. (2006) Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin

DIN EN 1927 Entwurf DIN EN 1927-1:2006: Qualitätssortierung von Nadelrundholz, Teil 1: Fichten und Tannen, Teil 2: Kiefer, Teil 3: Lärchen und Douglasien.

DIN 4070 Querschnittsmaße und statische Werte für Schnittholz. (1958). Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin

DIN 4074 Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit. Juni 2003 Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin

DIN 68140-1 Keilzinkenverbindung von Holz (1971): Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin

DIN 68365 Bauholz für Zimmerarbeiten - Gütebedingungen. (1957) Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin

Echtle 2007 Echtle Tannenleimholzplatte (2007): Produktkatalog der Firma Sägewerk Echtle GmbH & Co. KG, Nordrach im Schwarzwald

EC 5 Eurocode Nr. 5: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken; Deutsche Fassung: DIN EN 1995-1-1:2004. Europäisches Komitee für Normung, Brüssel

EN 1194 Holzbauwerke - Brettschichtholz, Festigkeitsklassen und Bestimmung charakteristischer Werte (1999). Europäisches Komitee für Normung, Brüssel

EN 1309 Rund- und Schnittholz – Verfahren zur Messung der Maße – Teil 2: Rundholz – Anforderungen an die Messung und Regeln zur Volumenberechnung. (2006) Europäisches Komitee für Normung, Brüssel

EN 1310 Rund- und Schnittholz - Messung der Merkmale. (1997) Europäisches Komitee für Normung, Brüssel

EN 13017 Massivholzplatten - Klassifizierung nach dem Aussehen der Oberfläche Teil 1 - Nadelholz (2001)

EN 14081 Holzbauwerke – Nach Festigkeit sortiertes Bauholz für tragende Zwecke mit rechteckigem Querschnitt. (2005) Europäisches Komitee für Normung, Brüssel

EN 1611 Schnittholz - Sortierung nach dem Aussehen von Nadelholz. Teil 1: Europäische Fichten, Tannen, Kiefern, Douglasie und Lärchen (2002) Europäisches Komitee für Normung, Brüssel

ENV 1927 EN 1927-1:1998 (Vornorm): Qualitätssortierung von Nadelrundholz, Teil 1: Fichten und Tannen, Teil 2: Kiefer, Teil 3: Lärchen und Douglasien. Europäisches Komitee für Normung, Brüssel.

EN 336 Bauholz für tragende Zwecke: Maße, zulässige Abweichungen. (2003): Europäisches Komitee für Normung, Brüssel

EN 338 Bauholz für tragende Zwecke: Festigkeitsklassen (2003): Europäisches Komitee für Normung, Brüssel

EN 385 Keilzinkenverbindungen im Bauholz. Leistungsanforderungen und Mindestanforderungen an die Herstellung. (2002): Europäisches Komitee für Normung, Brüssel

EN 386 Brettschichtholz - Leistungsanforderungen und Mindestanforderungen an die Herstellung. (1995): Europäisches Komitee für Normung, Brüssel

EN 844-9 Rund- und Schnittholz - Terminologie - Teil 9: Begriffe zu Merkmalen von Schnittholz (1997): Europäisches Komitee für Normung, Brüssel

ETA 2007 Europäische technische Zulassung (2007): European Organisation for technical approvals (EOTA). Brüssel. http://www.eota.eu/

Finnforest Merk 2006 Leno - Individuell Bauen mit System (2006): Technische Daten und Anwendungsgebiete. Finnforest Merk Aichach

Fornefeld 2004 Fornefeld, M; Tschutschenthaler, G; Oefinger, P. (2004): Absatzpotentiale für heimische Produkte aus Nadelstarkholz auf den nationalen und internationalen Märkten. Abschlussbericht im Auftrag der Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, 118 S.

Freese 2006 Freese, M. (2006): Die Biegefestigkeit von Brettschichtholz aus Buche. Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Laminierungseffekt. Dissertation Universität Karlsruhe, Serie: Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau; 5. Universitätsverlag Karlsruhe, 170 S.

Gewos 2005 „Das Eigenheim als Anlage". In: Jahrbuch des Verbandes der Privaten Bausparkassen „Bausparen 2005", Berlin 2005

Glos 1989 Glos, P; Böhner, G; Wagner, L. (1989): Einfluß der Einschnittart auf die Rissbildung von Fichtenholz. Holz als Roh- und Werkstoff Jg. 47, S. 478

Glos 1991 Glos, P; Böhner, G; Wagner, L. (1991): Qualitätsbeeinflussende Faktoren für die Trocknung von Bauholz mit großen Querschnitten. Holz-Zentralblatt 49, S. 751-756

Glos 1991b Glos, P; Henrici, D. (1991): Biegefestigkeit und Biege-E-Modul von Fichtenbauholz im Temperaturbereich bis 150°C. Holz als Roh- und Werkstoff 49: 417-422

Glos 1994 Glos, P; Bues, C; *Tratzmiller, M.* (1994): Festigkeit von Bauschnittholz aus beregnetem Fichtenstammholz. unveröffentlichter Forschungsbericht Nr. 92509 (lfd. Nr. 296)

Glos 1996 Glos, P; *Tratzmiller, M;* (1996): Höherwertige Starkholznutzung durch verbesserte Einschnitt- und Sortierverfahren. Abschlußbericht 94506 an die Bay. Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft (X25), 105 S.

Glos 1997 Glos, P; *Tratzmiller, M.* (1997): Qualität von Schnittholz bayerischer Fichten aus Lichtwuchsbetrieb im Vergleich zu Schnittholz aus Beständen mit niederdurchforstungsartiger Behandlung. Abschlußbericht 96511 an die Bay. Landesanstalt f. Wald- u. Forstwirtschaft über das Projekt "X 31"

Glos 1999a — Glos, P; Aukhofer, T. (1999): Höherwertige Nutzung von einheimischem Starkholz durch verbesserte Einschnitt- und Sortierverfahren. Holzforschung München: Abschlußbericht 96509, 125 S.

Glos 1999b — Glos, P.; Henrici, D.; Lederer, B. (1999): Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit der Sägeindustrie durch Erhöhung der Schnittholzqualität. Holzforschung München: Abschlußbericht 96507, 85 S.

Glos 2002 — Glos, P; Richter, C. (2002): Rissbildung in Kanthölzern. Abschlussbericht 01508, Holzforschung München, 33 S.

Glos 2004 — Glos, P; Gaede, G; Linsenmann, P. (2004): Ermittlung des Elastizitätsmoduls von Duo- und Triobalken. Unveröff. Bericht Nr. 04504 der Holzforschung München. 10 S.

Gorisek 2005 — Gorisek, Z; Strze, A; Bucar, D. G; Bucar, B; (2005): Influence of some anatomical and physical properties of wood on warp during kiln drying of spruce (Picea abies Karst.) and silver fir (Abies alba Mill.). In Proceedings of the COST Action E40 Conference in Biel; Lignovisionen-. 2005; 13: 67-72

Götz 2002 — Götz, K; Kappel, R.; Tesari, I.; Weber, K.; Mattheck, C. (2002): Technisches Holz nach dem Vorbild der Natur. Karlsruhe (Deutschland, Bundesrepublik): Selbstverlag 2002, 193 S.,

Grosse 2005 — Grosse, M; Rautenstrauch, K; Schlegel, R. (2005): Numerische Modellierung von Holz und Verbindungselementen in Holz-Beton-Verbundkonstruktionen. Bautechnik 82, S. 355-364

Hartig 1901 — Hartig, R. (1901): Holzuntersuchungen. Altes und Neues. Julius Springer, Berlin, 99 pp

HAF 2004 — Informationsdienst Holz, Fachtagung Holzbau 2004, Bauen mit Holz im Bestand, Holzabsatzfonds (Hrsg.), Bonn

HAF 2005 — Informationsdienst Holz, Altbau erneuern 2005, Holzabsatzfonds (Hrsg.), Bonn

HMS 2006 — HMS-Bausysteme (2006): Technische Daten und Anwendungsgebiete. HMS Bausysteme GmbH, Schondra

Hecker 2000 — Hecker, M; Ressmann, J; Becker, G; Merforth, C. (2000): Prognose der Schnittholz-Qualität auf der Grundlage der Rundholz-Sortierung. Holz als Roh- und Werkstoff 58; 168 - 176

Holzbau-atlas 2003 — Natterer, J; Schweizer; Volz; (2003): Holzbauatlas, 4. Aufl., neu bearb. - München : Inst. für Internat. Architektur-Dokumentation, 2003

Holzbauhandbuch 2005 — Holzbauhandbuch Reihe 1, Teil 3, Folge 7 (2005): Informationsdienst Holz; Skelettbaudetails Teil 1 - Gestalt - Bauen

Holzkurier 2005 — Recherche im Holzkurier: Hefte Nr. 1 bis 52 Jahrgang 2005

Holzmann 1998 Holzmann, I. (1998): Harzgallen in Fichtenstämmen bei unterschiedlicher waldbaulicher Behandlung. Diplomarbeit der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München. 53 S.

Holzmarkt-
bericht 2006 Holzmarktbericht des BMVEL (2006); Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Referat 532, Bonn, Internet: http://www.bmelv.de

HKS 1969 Gesetz über gesetzliche Handelsklassen für Rohholz (Forst-HKLG) vom 25.2.1969 (BGBl. I S.149)

Huf 2005 HUF HAUS GmbH (2005): Baubeschreibung für das FACHWERKHAUS 2000. Hartenfels/Ww.

Kaufmann 2005 Architekturbüro Hermann Kaufmann ZT GmbH (2005): Gemeindezentrum Ludens in Vorarlberg AT.

KLH 2006 Kreuzlagenholz - Konstruktion (2006): Technische Daten und Anwendungsgebiete. KLH Massivholz GmbH, Katsch/Mur, Österreich

Hugues 1996 Hugues, T. (1996): Amerikanischer Holzbau. Modellvorhaben in Nürnberg und München, 134 S., ISBN 978-3-8167-5440-4 Fraunhofer IRB Verlag

Knigge 1966 Knigge, W; Schulz, H. (1996): Grundriß der Forstbenutzung. Paul Parey: 584 S.

Kollmann 1951 Kollmann, F. (1951): Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Bd. I. erste Aufl. Springer Verlag Berlin

Kreuzinger1999 Kreuzinger, H; Scholz, A. (1999): Nachweis in Grenzzuständen der Tragfähigkeit bei Platten und Scheiben aus Holz und Holzwerkstoffen unter Spannungskombinationen. Abschlußbericht. Fachgebiet Holzbau der TU München. 36 Seiten. ISBN 978-8167-5459-6

Krämer 2003 Krämer, V. (2003): Trag- und Verformungsverhalten genagelter Brettstapelelemente unter Querlast. Dissertation Universität Karlsruhe.

Kroth 1993 Kroth, W. Bartelheimer, P. (1993): Holzmarktlehre, 210 Seiten, Paul Parey Verlag Hamburg und Berlin, ISBN 3-490-05416-4

Larsson 1998 Larsson, D.; Ohlsson, S.; Perstorper, M.; Brundin, J. (1998): Mechanical properties of sawn timber from Norway spruce. Holz Roh- Werkstoff 56, 331-338

Leenen 2006 Leenen, M. (2006): Untersuchung von Fichten- (*Picea abies* (L.) Karst.) und Tannen- (*Abies alba*) Starkholz-Standardlängen hinsichtlich der qualitativen Entwicklung vom stehenden Stamm zum Schnittholz. Dissertation an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i.Br., 150 S.

Lignotrend
2006 Lignotrend Elemente (2006): Technische Daten und Anwendungsgebiete. Lingotrend AG, Weilheim-Bannholz

Löffler 1964 Löffler, H. (1964): Gütemerkmale des Schnittholzes der Weißtanne mit besonderer Berücksichtigung des Schilfers; Schweizerische Z. f. d. Forstwesen. Nr. 9/10

Lohman 2003 Lohmann, U. (2003): Holz-Lexikon, 2 Bde. Nachschlagewerk für die Holzwirtschaft und Forstwirtschaft; 4., überarb. u. erg. Aufl. 1600 S. m. zahlr. Abb. 24 cm, Buchleinen ISBN 978-3-87181-355-9 | DRW

Mall 2004 Mall, Martin (2004): Vom Stamm zum Scheit - Bereitstellung von Scheitholz. In LWF-aktuell 2004. S. 3 - 5.

Mantau 2002 Mantau, U; Sörgel C. (2002): Standorte der Holzwirtschaft - Sägewerke. Arbeitsbereich Ökonomie der Forst- und Holzwirtschaft, Universität Hamburg, Ordinariat für Weltforstwirtschaft, Hamburg.

Mantau 2005 Mantau, U; Bilitewski, B. (2005): Stoffstrom-Modell-Holz. Bestimmung des Aufkommens, der Verbreitung und des Verbleibs von Holzprodukten. Forschungsbericht für den Verband Deutscher Papierfabriken (VDP) e.V.

Mantau 2006 Mantau, U; Sörgel, C; Elmar, H. (2006): Marktveränderungen bei Bauholz-Produkten. Holz-Zbl. 132 (23) p. 692-693.

Mattheck 1992 Mattheck, C. (1992): Die Baumgestalt als Autobiographie. Einführung in die Mechanik der Bäume und ihre Körpersprache. Thalacker, Braunschweig. ISBN 3-87815-050-4

Mattheck 2006 Mattheck, C. (2006): Verborgene Gestaltgesetze der Natur. Optimalformen ohne Computer. Eggenstein-Leopoldshafen. Selbstverlag 123 Seiten

Mehlin 2001 Mehlin, I. (2001): Trocknungsverhalten von Tannenschnittholz aus dem Schwarzwald. Diss. d. Forstw. Fak. d. Albert-Ludwig-Univ. Freiburg i. Brsg.

Merforth 2000 Merforth, C. (2000): Formstabilität von Kanthölzern aus Fichte. Diss. d. Forstw. Fak. d. Albert-Ludwig-Univ. Freiburg i. Brsg.

Mestek 2007 Mestek, P. (2007): Untersuchung des Tragverhaltens von Brettsperrholzelementen mit vergüteten Decklamellen. Untersuchungsbericht Nr. 7600023/07-1. Institut für Baustoffe und Konstruktion, MPA BAU, Prüfstelle Holzbau der TU München.

Michelfelder 2006 Michelfelder, B. C. (2006): Trag- und Verformungsverhalten von Kerven bei Brettstapel-Beton-Verbunddecken. Dissertation Universität Stuttgart

Moberg 2006 Moberg, L; (2006): Predicting knot properties of Picea abies and Pinus sylvestris from generic tree descriptors. Scandinavian-Journal-of-Forest-Research. 2006; 21 (Supplement 7): 48-61

Moralt 2007 Moralt - Die Leichten, Sandwich Stäbchen Balsa (2007): Moralt Tischlerplatten GmbH & Co. KG. Bad Tölz

Muggenthaler 1986 Muggenthaler, A. (1986): Tegernseer Gebräuche aktualisiert, Neufassung der Holzhandels-Richtlinien. In "Bauen mit Holz" 12: 86, 848-851

Niedermaier 2005 Niedermaier, P. (2005): Holz-Glas-Verbundkonstruktionen. Dissertation der TU München

Niemelä 1996 Niemelä, J; Smith, P. (1996): A Cross-National Investigation of Softwood Sawmill Marketing Strategies. Forest Science 42(3):290-299.

Nordisches Holz 1994 "Nordisches Holz - Sortierungsregeln für Schnittholz aus Kiefer (Pinus silvestris) und Fichte (Picea abies) - Vierseitige Qualitätssortierung für den Holzhandel". Originaltitel: Nordiskt Trä. ISBN: 91-7322-180-5

Offner 2006 Offner, M. (2006); Vortragsfolien vom Fachverband der Holzindustrie Österreich, Quelle: Statistik Austria

Oja 2000 Oja, J. (2000): Evaluation of knot parameters messuered automatically in CT-images of Norway spruce (picea abies (L.) Karst.). Holz als Roh- und Werkstoff 58 : 375-379

Pausch 2003 Pausch, R.; (2003) Harvester und Forwarder in einer Maschine; LWF-aktuell Nr. 39

Peek 2006 Peek & Kloppenburg Köln (2006): Glas Architektur und Technik Jg. 12, Nr. 1, 2006; Jäger, Falk; Architekt Renzo Piano

Perlitz 2007 Perlitz, Uwe (2007): "Weltstahlmarkt - Agenda", Deutsche Bank Researche

Perstorper 1995a Perstorper, M; Pellicane, P. J.; Kliger, I. R.; Johannson, G. (1995a): Quality of timber products from Norway spruce - Part 1. Optimization, key variables and experimental study. Wood Science and Technology 29, 157-170

Perstorper 1995b Perstorper, M; Pellicane, P. J.; Kliger, I. R.; Johannson, G. (1995b): Quality of timber products from Norway spruce - Part 2. Influence of spatial position and growth characteristics on warp. Wood Science and Technology 29, 339-352

Pfeifer 1998 Pfeifer, G; Liebers, A; Reiners, H; (1998): Der neue Holzbau - aktuelle Architektur, alle Bausysteme, neue Technologien. Callwey Verlag München, ISBN: 3-7667-1281-0

Pollux 2003 Pollux Fenster (2003): Sika Services AG. Schweizerische Schreiner Zeitung Heft-Nr. 39, 25.9.2003

Precht 1982 Precht, M. (1982): Bio-Statistik Teil 1, Oldenbourg Verlag, ISBN: 3-486-20833-0

Pretzsch 2001 Pretzsch, H. (2001): Modellierung des Waldwachstums, Paul Parey Verlag, Hamburg 341 S.

Reiter 2005 Reiter, J. M. G. (2005): Fichtenstarkholz (Picea abies (L.) Karst.) - Untersuchungen zur Rundholzqualität und deren Einfluss auf die Schnittholzqualität. Dissertation an der Technischen Universität München

Richards 1958 Richards, F. J. (1958): A flexible growth function for empirical use. J. Esp. Bot. 10, S. 290-300.

Richter 2003 Richter, Ch. (2003): Holzmerkmale (8): Der Drehwuchs. Holz-Zentralblatt 129 (83): 1189 - 1190

Richter 2007 Richter, Ch. (2007): Drehwuchs – ein Konstruktionsprinzip der Natur – anwendbar auch im Ingenieurholzbau. In: Innovative Holztechnologien. TU Dresden. LS für Forstnutzung

Ritter 1998 Ritter, U. (1998): Rundholzsortierung und -vermarktung in der europäischen Normung, Die Nachfolger der HKS. AFZ 19, 1001-1004

Rittershofer 2007 Rittershofer, B. (2007): Sachverständigenbüro www.rittershofer.com/Wald/Wuchsgebiete/wuchsgebiete.html

Roos 2002 Roos, A; Flinkman, M; Jäppinen, A; Lönner, G; Warensjö, M; (2002): Identification of Value-adding Strategies in the Swedish Sawn Wood Industry. Scand. J. For. Res. 17: 90–96

Roos 2005 Roos, A; Estin, I; Matsuguma, H. (2005): Market segmentation and analysis of Japan's residential post and beam construction market. Forest Products Journal 55(4):24-30.

Ruch 2006 Ruch Matthias (2006): Arcelor Mittal - und nun?, Stahlmarkt 09.2006

Sandoz 1992 Sandoz, L. (1992): Nouveau materiau pour la construction, le bois lamelle-multicollé est né, Journal de la construction vol. 66 n° 23, S. 17-24

Sandoz 1993 Sandoz, L. (1993): Europäisches Patent EP 0575268B1: Construction wood based on glued timber.

Schäfer 2004 Schäfer, Ruppert (2004): Mit Holz heizen und mit Öl fahren - nicht umgekehrt. In LWF-aktuell 48, S. 17 - 20

Schänzlin 2003 Schänzlin, J. (2003): Zum Langzeitverhalten von Brettstapel-Beton-Verbunddecken. Dissertation Universität Stuttgart

Sherwood 1989 Sherwood, G; Stroh, C. (1989): Wood-Frame House Construction. Agriculture Handbook 73. Forest service. United States Department of Agriculture

Schickhofer 2006 Schickhofer, G. (2006): Brettsperrholz - das verklebte Großflächenelement für den Holzbau. In Wiener Leimholz Symposium 2006. S. 16 - 33.

Schober 2006 Schober, P. (2006): Holz, Glas, Klebstoff. Holz-Glas-Verbundkonstruktionen zur Gebäudeaussteifung. GFF Zeitschrift für GLAS FENSTER FASSADE METALL Nr. 5

Schulz 1986 Schulz, H. (1986): Untersuchungen über die Holzqualität in bayerischen Fichtenbeständen. Forschungsbericht. Inst. f. Holzforschung d. Universität München: 44 S.

Schumacher 1993 Schumacher, P. (1993): Qualitätsvergleich zwischen nordischem und bayerischem Fichtenstammholz. Dissertation an der Ludwig-Maximilians-Universität München.

Schumacher 1997 Schumacher, P; *Tratzmiller, M;* Grosser, D. (1997): Beeinträchtigung der Qualität von Fichtenholz durch Harzgallen in Abhängigkeit von der Durchforstungsintensität. Holz als Roh- und Werkstoff 55, 254

Seeling 1999 Seeling, U. (1999): Einfluß von Richtgewebe ("Druckholz") auf Festigkeit und Elastizität des Fichtenholzes. Holz als Roh- und Werkstoff (57) 81-91. Springer Verlag

Seifert 2003 Seifert, T. (2003): Integration von Holzqualität und Holzsortierung in behandlungssensitive Waldwachstumsmodelle. Dissertation an der TU München. 314 S.

Taffe 1954 Taffe, W. (1954): Gütebewertung des Fichtenholzes verschiedener Standorte und Ertragsklassen in Rheinland-Pfalz. Dissertation Hann. Münden; Buchdruckerei G. Nising, Wissen (Sieg)

Teischinger 2005 Teischinger, A; Müller, U; Patzelt, M; (2005): Material characteristics as basis for optimized and sustainable use of Austrian large dimensioned softwood. Analysis of the variation of selected wood properties over cross-section and height. In Proceedings of the COST Action E40 Conference in Biel; Lignovisionen-. 2005; 13: 73-75

Teischinger 2006 Teischinger, A; Patzelt, M. (2006): XXL-Wood - Materialkenngrößen als Grundlage für innovative Verarbeitungstechnologien und Produkte zur wirtschaftlich nachhaltigen Nutzung der Österreichischen Nadelstarkholzreserven. Berichte aus Energie- und Umweltforschung Nr. 27/2006, Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Timell 1986 Timell, T. (1986): Compression wood in gymnosperms. Springer Verlag, Berlin

Tratzmiller 2005 Tratzmiller, M. (2005): Richtige Holztrocknung: die Zeit, die man sich nehmen muss. Folien zum Vortrag auf der Holzbaumesse Kempten 2005. 12 S.

Tratzmiller 2006a Tratzmiller, M; Glos, P. (2006): Erfolgsfaktoren der europäischen Brettschichtholzindustrie. Bericht an die Stora Enso Timber GmbH Wien. 106 S.

Tratzmiller 2006b Tratzmiller, M. (2006): Hochtragfähige Balken aus heimischem Starkholz. Folien zum Vortrag auf der Holzbaumesse Kempten 2006. 15 S.

Tratzmiller 2007a Tratzmiller, M. (2007): Szenarien des möglichen und nachhaltigen Rohholzaufkommens im Land Rheinland-Pfalz. Bericht an die ELKA Holzwerke GmbH Morbach. 78 S.

Tratzmiller 2007b Tratzmiller, M. (2007): Brettsperrholz – neue Perspektiven für Bauherren und Planer. Folien zum Vortrag auf der Holzbaumesse Kempten 2007. 17 S.

Tratzmiller 2008 Tratzmiller, M. (2008): Leichtes Brettsperrholz mit hoher Steifigkeit aus starkem Stammholz. In Doktorandenkolloquium "Holzbau Forschung + Praxis" Stuttgart 2008. Hrsg., Kuhlmann, U. und Schänzlin, J., 8 S.

Trendelenburg 1955 Trendelenburg, R., Mayer-Wegelin, H. (1955): Das Holz als Rohstoff. Carl Hanser Verlag München

Volkert 1941 Volkert, E. (1941): Untersuchungen über die Größe und Verteilung des Raumgewichts in Nadelholzstämmen, Mitt. Akad. dtsch. Forstwiss., Frankfurt a. M.

Rautiainen 2007 Rautiainen, L; Fonselius, M. (2007): GoldenEye 706 - Settings for gluelam lamellas Norway spruce - Nordic growth area. Report VTT-S-08296-07. Appendix A. Unveröff. Bericht des Technical research centre of Finland

Wanninger 1989 Wanninger, J. (1989): Untersuchung über den Drehwuchs an Fichte, Tanne und Kiefer im Bayerischen Wald. Unveröff. Diplomarbeit. Inst. f. Holzforschung, Univ. München

Wiegand 2002 Wiegand, T. (2002) Vortrag zur Marktlage für Brettschichtholz für die Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. (Quelle: eigene Erhebung)

Weider 2006 Weider, Ida (2006): Glued posts and beams for the Japanese marktet - Product requierements according to JAS, Vortrag beim Wiener Leimholz Symposium 2006

Wildemann 1991 Wildemann, H. (1991): Akzeptanzpotenziale für Brettschichtholz, Forschungsbericht am Lehrstuhl f. Betriebswirtschaftslehre der TU München. 259 S.

Zimmermeister 2008 Fritzen, K; Metzger, P. (2008): Zimmermeister Kalender 2008. Bruderverlag Köln. ISSN: 0935-8870.

ZMP Forst und Holz 2006 ZMP-Marktbilanz Forst und Holz (2006): Bitter, W-B., Schade, V.; Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle GmbH, Bonn ISBN 3-937856-72-2

ZUFO 2006 Hoppenbrock, Cord u. Scheer Dirk (2006): Stoffstrombilanzen Holz – Beispiel „Holzfenster" und „Holzfertighäuser" Arbeitsbericht 6, in ZUFO – Zukunftsmärkte der Forst-Holz-Kette, BMBF Fördernummer 033 055 6

Weiterführende Literatur

Aigner 2005 Aigner, M. (2005): „Aufgaben und Ziele der selbstständigen LBS Rheinland-Pfalz". In: „Immobilien & Finanzierung – Der Langfristige Kredit", 7/2005

Angele 2005 Angele, J. (2005): „Bauspargeschäft 2005" In: „Wirtschaft und Statistik", Heft 11/2006

Badde 2005 Badde, C. (2005): „Zeitgemäße Wohnungspolitik und die Rolle der Bausparkassen". In: „Immobilien & Finanzierung – Der Langfristige Kredit", 7/2005

Bartholmai 2005 Bartholmai, B. (2005): „Struktur der Wohnungsbauleistungen und deren Finanzierung in den Jahren 2000 bis 2004". In: Jahrbuch des Verbandes der Privaten Bausparkassen „Bausparen 2005", Berlin 2005

11 Anhang

A1: Quelle: [CARMEN 2007]

Kostenvergleich verschiedener Heizsysteme (Beispiel, Stand Februar 2007)

Ausgangsdaten		Heizöl	Erdgas	Scheitholz	Hackschnitzel	Pellets Raumaustr.
Jahreswärmebedarf	MWh/a	20	20	20	20	20
Kesselnennleistung	kW	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5
Jahresnutzungsgrad	%	85	90	75	80	85
Energieeinsatz pro Jahr	MWh/a	23,5	22,2	26,7	25	23,5
Heizwert	kWh/l kWh/m3 MWh/t	9,97	10	3,8	3,5	4,9
Jahresbrennstoffbed.	l/a m³/a t/a	2.361	2.222	7	7,1	4,9 4,8
Brennstoffpreis	€/MWh €/l €/kWh €/t	55,2 0,57	64,6 0,065	38,2 145	20 70	40,8 195
Strompreis	€/MWh	180	180	180	180	180
Investition Anlage	€	5.000	5.000	7.500	11.000	10.000
Investitionsförderung	€	0	0	750	500	1.000
kapitalgeb. Kosten	€/a	500	500	750	1.209	1.099
verbrauchsgeb. Kost.	€/a	1.382	1.441	1.023	554	990
davon Brennstoffkosten	€/a	1.346	1.436	1.018	500	936
davon Kosten f. Hilfsenergie	€/a	36	5	5	54	54
betriebsgebundene und sonstige Kosten	€/a	47	57	68	128	128
davon Emissionsmessung	€/a	32	42	8	98	98
davon Kaminkehren	€/a	15	15	60	30	30
		Heizöl	Erdgas	Scheitholz	Hackschnitzel	Pellets Raumaustr.
Jahresgesamtkosten ohne Förderung	€/a	1.928	1.997	1.840	1.891	2.218
Vermind. der Kapitalkosten durch Förderung	€/a	0	0	67	45	90
Jahresgesamtkosten mit Förderung	€/a	1.928	1.997	1.773	1.846	2.128
Wärmegestehungskosten	€/MWh	96	100	89	92	106

Nutzungsdauer: 15 Jahre; Zinssatz: 4 %

Kostenaufwand für das Kaminkehren: ca. 15 €

Kehrhäufigkeit: bei Scheitholz 3-4 mal pro Jahr, bei Hackschnitzeln und Pellets 2 mal pro Jahr, Öl und Gas einmal pro Jahr.

*=bei Kesselwirkungsgrad mind. 90 %

A2: Liste der befragten Unternehmen und Fachleute

Anbieter:

- Sägewerke über 80.000 fm/Jahr:
  - Holzwerke Pröbstl GmbH, Fuchstal-Asch bei Landsberg
  - Holz Schiller, Regen
  - Holzwerk Gebr. Schneider GmbH, Eberhardzell
  - ELKA Holzwerke GmbH, Morbach
  - Franz Binder GmbH, Kösching
  - Klenk Holz AG, Oberrot
  - Matthäus Sturm GmbH, Herbrechtingen
- Sägewerke über 20.000 fm/Jahr:
  - Gebr. Suttner oHG, Dietramszell
  - Sägewerk Ziegenaus, Aichach
  - Sägewerk Stoiber, Erding
- Sägewerke unter 20.000 fm/Jahr:
  - Sägewerk Hofmann, Inhaber Wagner, Mindelheim
  - Sägewerk Fickler, Waltenhofen
  - Sägewerk Haggenmüller, Unterkürnach/Allgäu
  - Sägewerk Müller Benedikt, Allershausen

Nachfrager:

- Holzwerke:
  - Stora Enso Timber, Pfarrkirchen
  - Finnforest-Merk, Aichach
  - Suttner Holzelementebau GmbH, Straubing
  - Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH, Pfronten-Weißbach
  - Moralt Tischlerplatten GmbH & Co. KG, Bad Tölz
  - ABA Holz van Kempen GmbH, Adelsried
  - Hamberger Industriewerke GmbH, Rosenheim
  - Boxler GmbH, Bad Wörishofen
  - Konstrukto GmbH, Höchstädt/Donau
- Holzbaufirmen:
  - Hirtreiter Holzbau GmbH, Leiblfing
  - Haas Fertigbau GmbH, Ruderfing
  - Holzbau Gröber GmbH, Eberhardzell-Füramoos
  - HUBER & SOHN Holzbau Holzverarbeitungs GmbH & Co. KG, Eiselfing
  - BAU-FRITZ GmbH & Co. KG, Erkheim
  - Zeh Holz- und Leimbau, Maierhöfen/Allgäu
  - Felkner, Michael, Architekt
  - F64 Architekten
- Zimmereien:
  - Anton Ambros GmbH, Hopferau
  - Buhl Peter, Obermaiselstein
  - Holzbau Buhmann GmbH & Co., Weitnau
  - Lerchenmüller Holzbau GmbH, Oy-Mittelberg
  - Müller & Möst, Nesselwang
  - Karl Moser GmbH, Wittibreut
  - Rietzler Holzbau GmbH, Rettenberg-Vorderburg

Handel:

- Regionaler Handel:
  - Jochum Holz, Zusmarshausen
  - Holz Widmann GmbH, Olching
  - Ehmann Holz GmbH, Neumarkt/Obpf.
  - Maag-Holz GmbH, Hemau
- Großhandel:
  - Klöpfer Holz, Wolnzach
  - Carl Götz GmbH, Neu-Ulm
  - Franz Habisreutinger GmbH & Co. KG, Weingarten
  - Gebhardt Holzzentrum, Cham

A3: Anforderungen an Holzbaustoffe in verschiedenen Normen und Handelsbräuchen

Anforderungen an Kanthölzer und Träger	Bauholz f. Zimmerarbeiten DIN 68365	KVH n. Überwachungsgemeinschaft KVH e. V. und BOZ		DUO-, TRIO-Balken		Brettschichtholz		
Kriterien		*Oberfläche nicht sichtbar*	*Oberfläche sichtbar*	*Oberfläche nicht sichtbar*	*Oberfläche sichtbar*	*Oberfläche nicht sichtbar*	*Oberfläche sichtbar*	*Auslesequalität*
Holzfeuchte	drei Stufen (20%, 30%, 35%)	u = 15% +/- 3		u < 15 %		u < 15 %		
Maßhaltigkeit								
Einschnitt	nicht festgelegt	herzgetrennt	herzfrei	nicht festgelegt		nicht festgelegt		Riftschnitt
Baumkante	begrenzt	eng begrenzt	nicht zulässig	nicht zulässig		nicht zulässig		
Querschnittsmaße	nicht festgelegt	DIN EN 336 Maßhaltigkeitsklasse 2		DIN EN 336 Maßhaltigkeitsklasse 2		EN 390 eng begrenzt		
Längskrümmung	< = 8 mm/2m	< = 8mm/2 m	< = 4mm/2m	< = 4 mm/2m		ohne Bedeutung		
Querkrümmung	nicht begrenzt	nicht festgelegt		nicht festgelegt		ohne Bedeutung		
Verdrehung	nicht begrenzt	nicht festgelegt		< = 4 mm/2m		ohne Bedeutung		
Faserneigung	nicht begrenzt	begrenzt, DIN 4074 - S10		begrenzt, DIN 4074 - S10		ohne Bedeutung		
gehobelt	nicht festgelegt	egalisiert und gefast	gehobelt und gefast	egalisiert und gefast	gehobelt und gefast	egalisiert	geh., Hobelschlä. bis 1mm	gehobelt u. geschliffen
Keilzinkung	nicht festgelegt	DIN 68140-1 / DIN EN 385		DIN 68140-1 / DIN EN 385		Bauauf. Zul. Z-9.1-440		EN 385:2001, EN 386:2002
Verklebung	nicht festgelegt	nicht festgelegt		Bauauf. Zul. Z-9.1-440		EN 14080: 2005-09; helle bis farblose Klebstoffe für innen und aussen		
Tragfähigkeit								
E-Modul	nicht begrenzt	DIN 1052 - C 24		DIN 1052 - C 24 / 11600 N/mm²		GL24: 11600N/mm²; GL28: 12600N/mm²; GL32: 13700N/mm²; GL36: 14700N/mm²		
Festigkeit	nicht begrenzt	DIN 1052 - C 24		DIN 1052 - C 24		GL24: 24N/mm²; GL28: 28N/mm²; GL32: 32N/mm²; GL36: 36N/mm²		
Rohdichte	nicht begrenzt	nicht begrenzt		nicht begrenzt		GL24: 380 kg/cm³; GL28: 410 kg/m³; GL32: 430 kg/m³; GL36: 450 kg/cm³		
Jahrringbreite	nicht begrenzt	< 8 mm		< 8 mm		über Lamellensortierung festgelegt		
Markröhre	nicht begrenzt	nicht festgelegt		nicht begrenzt		in GL28 nicht zulässig		
Risse	Blitzrisse, Frostrisse begrenzt	DIN 4074 - S 10	Rissbr. b < = 3% der jew. Quersch.-breite	DIN 4074-1		nicht festgelegt	bis 4 mm	bis 3 mm
Astzustand	lose und faule nicht zulässig	lose Äste zulässig	lose Äste nicht zulässig	lose begrenzt zulässig		nicht festgelegt	ab 20 mm zu ersetzen	alle losen Äste ersetzen
Astgröße								
absolut	nicht begrenzt	nicht begrenzt		nicht begrenzt		nicht festgelegt		einseitig astfrei
relativ	nicht begrenzt	DIN 4074 - S 10		DIN 4074 - S 10		über Lamellensortierung festgelegt		
Harzgallen	nicht begrenzt	DIN 4074 - S 10	Breite b < = 5mm	nicht begrenzt		zulässig	bis 5 mm breit zulässig	bis 3 mm breit zulässig
Verfärbungen	nicht zulässig	DIN 4074 - S 10	nicht zulässig	DIN 4074 - S 10		zulässig	bis 10 % der Oberfläche	unzulässig
Druckholz	nicht begrenzt	DIN 4074 - S 10	DIN 4074 - S 10	DIN 4074 - S 10		über Lamellensortierung festgelegt		
Insektenbefall	nicht begrenzt	DIN 4074 - S 10	nicht zulässig	DIN 4074 - S 10		Fraßgänge bis 2mm zulässig		unzulässig
Rindeneinschluß	nicht begrenzt	DIN 4074 - S 10	nicht zulässig	DIN 4074 - S 10		zulässig	nicht zulässig	

Anforderungen an Bretter und Brettbauteile	Bauholz f. Zimmererarbeiten DIN 68365		Hobelware - nordisches Holz	Brettstapelelemente Gütegemeinschaft Brettstapel- und Dübelholzhersteller e. V.		Brettsperrholzelemente		
Kriterien	*Oberfläche nicht sichtbar*	*Oberfläche sichtbar*	*Oberfläche sichtbar Güteklasse II früher a/s*	*Oberfläche nicht sichtbar*	*Oberfläche sichtbar*	*Oberfläche nicht sichtbar*	*Oberfläche sichtbar EN 13017:2001*	*Gedübelte Elemente (Thomaholz 100)*
Holzfeuchte	drei Stufen (20%, 30%, 35%)		u < 24 %	u = 15% +/- 3		10 % < u < 14 %		
Maßhaltigkeit								
Einschnitt	nicht festgelegt		herzgetrennt	nicht festgelegt		Lamelle mit Kerbschnitt	nicht festgelegt	
Baumkante	begrenzt je n. Güteklasse III-IV	begrenzt je n. Güteklasse II-II	k < 20 % pro Kante	begrenzt	nicht zulässig	begrenzt zulässig	nicht zulässig	begrenzt zulässig
Querschnittsmaße	nicht festgelegt		Dicke/Breite -1/+3 mm, DL > 0	DIN 18203 Teil 3 Tab. 2		0,01% je % HF längs, 0,025% je % HF quer		nicht festgelegt
Längskrümmung	nicht begrenzt		k_s < 15 mm/2m; k_s < 4 mm/2m	nicht festgelegt		durch gesperrten Aufbau minimal		
Querkrümmung	nicht begrenzt		k < 2 % der Breite	nicht festgelegt				
Verdrehung	nicht begrenzt		k < 10 % der Breite	nicht festgelegt				
Faserneigung	nicht begrenzt		f < 1:7	durch Lamellensortierung festgelegt		über Lamellensortierung nach DIN 4074 begrenzt		
gehobelt	nicht gehobelt	mindestens einseitig gehobelt	gehobelt und profiliert	Höhenversatz d. Lam. < 6mm	Höhenversatz d. Lam. < 3mm	gehobelt	gehobelt,geschliffen u. gefas	gehobelt
Keilzinkung	nicht festgelegt		nicht festgelegt	DIN 68140-1		DIN 68140-1		Verbindung durch Hartholzdübel
Verklebung	nicht festgelegt		nicht festgelegt	nicht festgelegt		DIN 68141:1995-08; EN 301 und EN 302-1 bis 4		
Tragfähigkeit								
E-Modul	nicht festgelegt		nicht festgelegt	DIN 1052 - C 16 und höher		10.000 - 4000 N/mm² mit zunehm. Lagenzahl und Dicke		v. d. Zahl d. Dübel abhän.
Festigkeit	nicht festgelegt		nicht festgelegt	DIN 1052 - C 16 und höher		DIN 1052 - C24 und höher		
Rohdichte	nicht festgelegt		nicht festgelegt	nicht begrenzt		nicht begrenzt		
Jahrringbreite	nicht begrenzt		nicht festgelegt	über Lamellensortierung nach DIN 4074 begrenzt		über Lamellensortierung nach DIN 4074 begrenzt		
Markröhre	nicht begrenzt		zulässig	nicht festgelegt		zulässig	< 400 mm Länge sichtb.	zulässig
Risse	zulässig	begrenzt je n. Güteklasse I-II	r_{100} < 15 % auf der Splintseite	Längsfugen max. 6 mm	Längsfugen max. 3 mm	Längsfugen max. 6 mm	in Decklage nicht zul.	Längsfugen max. 10 mm
Astzustand	lose Äste begrenzt zulässig	begrenzt je n. Güteklasse I-II	lose Äste max. 70% des Æ gesund.	nicht begrenzt	lose Äste ersetzt durch Dübel	nicht festgelegt	festverw. u. einzelne lose	nicht festgelegt
Astgröße			Astanzahl ist begrenzt					
absolut	begrenzt je nach Güteklasse		Tab. 1: a < 45 mm gesunder Ast	nicht begrenzt		nicht begrenzt	festverwachsene bis 40 mm	nicht begrenzt
relativ	nicht festgelegt		zul. Ast-Æ von Dicke und Breite abh.	DIN 4074 - S 7/S 10		über Lamellensortierung nach DIN 4074 begrenzt		
Harzgallen	begrenzt je nach Güteklasse		max. 2 St.; L < 100 mm	DIN 4074 - S 7/ S 10	DIN 4074 - S 7/ S 10	zulässig	vereinzelt 3 x 40 mm² zul.	zulässig
Verfärbungen	begrenzt je n. Güteklasse III-IV	nicht zulässig	Fläche < 5 %	DIN 4074 - S 7/ S 10	nicht zulässig	zulässig	nicht zulässig	zulässig
Druckholz	begrenzt je nach Güteklasse	nicht zulässig	Volumen < 20 %	DIN 4074 - S 7/ S 10	DIN 4074 - S 7/ S 10	zulässig	vereinzelt zulässig	zulässig
Insektenbefall	eng begrenzt j. n. Güteklasse	nicht zulässig	nur Löcher < 2mm zul.	DIN 4074 - S 7/ S 10	nicht zulässig	vereinzelt kleine Löcher	nicht zulässig	vereinzelt kleine Löcher
Rindeneinschluß	nicht festgelegt	nicht festgelegt	1 St.; L < 200 mm	DIN 4074 - S 7/ S 10	DIN 4074 - S 7/ S 10	zulässig	nicht zulässig	zulässig

Anhang A4-1: Daten aus [Glos 1996]

Ästigkeit DIN 4074 (KE)			Abstand vom Mark [mm]											
Dicke [mm]	Höhe [mm]	Stat. Größe	0,0	27,5	55,0	65,0	75,0	82,5	110,0	130,0	137,5	150,0	165,0	192,5	195,0
40	80	N		30				30			30			29	
		Max.		0,93				0,79			1,00			0,95	
		75. Perz.		0,48				0,57			0,53			0,48	
		MW		0,41				0,43			0,38			0,33	
		Median		**0,38**				**0,44**			**0,35**			**0,33**	
		25. Perz.		0,29				0,27			0,19			0,18	
		Min.		0,11				0,00			0,00			0,00	
		Stdabw.		0,19				0,19			0,26			0,22	
	125	N		16				15			17			16	
		Max.		0,73				0,87			1,00			0,75	
		75. Perz.		0,60				0,63			0,76			0,58	
		MW		0,49				0,46			0,54			0,36	
		Median		**0,50**				**0,46**			**0,53**			**0,28**	
		25. Perz.		0,36				0,28			0,30			0,18	
		Min.		0,16				0,17			0,17			0,13	
		Stdabw.		0,16				0,21			0,27			0,22	
	190	N	10		20				20				20		
		Max.	0,82		0,80				0,84				1,00		
		75. Perz.	0,61		0,67				0,73				0,44		
		MW	0,47		0,48				0,49				0,28		
		Median	**0,45**		**0,47**				**0,50**				**0,19**		
		25. Perz.	0,35		0,29				0,26				0,13		
		Min.	0,22		0,20				0,10				0,09		
		Stdabw.	0,17		0,19				0,24				0,22		
	250	N		36				36			18			18	
		Max.		0,88				1,00			0,83			0,88	
		75. Perz.		0,63				0,65			0,61			0,59	
		MW		0,46				0,47			0,47			0,39	
		Median		**0,45**				**0,50**			**0,46**			**0,37**	
		25. Perz.		0,28				0,30			0,32			0,10	
		Min.		0,08				0,03			0,12			0,00	
		Stdabw.		0,23				0,27			0,20			0,27	
50	80	N	12			24				24					12
		Max.	0,50			0,60				0,50					0,46
		75. Perz.	0,37			0,36				0,36					0,35
		MW	0,32			0,31				0,28					0,28
		Median	**0,32**			**0,32**				**0,29**					**0,27**
		25. Perz.	0,23			0,23				0,18					0,19
		Min.	0,17			0,00				0,00					0,16
		Stdabw.	0,10			0,14				0,13					0,10
	125	N	11			22				22					19
		Max.	0,52			0,66				0,60					0,52
		75. Perz.	0,45			0,43				0,41					0,36
		MW	0,36			0,32				0,31					0,27
		Median	**0,35**			**0,31**				**0,33**					**0,26**
		25. Perz.	0,28			0,19				0,17					0,18
		Min.	0,22			0,16				0,00					0,00
		Stdabw.	0,10			0,14				0,15					0,13
	190	N	6			13				13					13
		Max.	0,49			0,42				0,48					0,46
		75. Perz.	0,43			0,37				0,39					0,40
		MW	0,34			0,29				0,26					0,25
		Median	**0,33**			**0,32**				**0,24**					**0,24**
		25. Perz.	0,25			0,20				0,09					0,10
		Min.	0,24			0,09				0,06					0,07
		Stdabw.	0,10			0,10				0,15					0,15
	250	N	11			23				23					
		Max.	0,58			0,78				0,90					
		75. Perz.	0,45			0,36				0,42					
		MW	0,34			0,30				0,28					
		Median	**0,28**			**0,28**				**0,26**					
		25. Perz.	0,24			0,22				0,08					
		Min.	0,16			0,08				0,05					
		Stdabw.	0,14			0,16				0,22					
60	80	N	27				46				22				
		Max.	0,47				0,53				0,67				
		75. Perz.	0,38				0,41				0,33				
		MW	0,31				0,32				0,25				
		Median	**0,33**				**0,30**				**0,24**				
		25. Perz.	0,25				0,23				0,17				
		Min.	0,16				0,16				0,00				
		Stdabw.	0,08				0,10				0,15				
	125	N	13				28				19				
		Max.	0,55				1,00				0,58				
		75. Perz.	0,40				0,47				0,45				
		MW	0,33				0,36				0,32				
		Median	**0,32**				**0,37**				**0,32**				
		25. Perz.	0,24				0,23				0,17				
		Min.	0,18				0,10				0,09				
		Stdabw.	0,10				0,18				0,16				
	190	N	12				24				24				
		Max.	0,48				0,59				0,55				
		75. Perz.	0,37				0,45				0,43				
		MW	0,32				0,35				0,28				
		Median	**0,32**				**0,37**				**0,30**				
		25. Perz.	0,24				0,22				0,13				
		Min.	0,17				0,07				0,06				
		Stdabw.	0,09				0,14				0,16				
	250	N	17				34				34				
		Max.	0,62				0,73				0,76				
		75. Perz.	0,48				0,48				0,43				
		MW	0,39				0,40				0,30				
		Median	**0,37**				**0,41**				**0,25**				
		25. Perz.	0,30				0,29				0,16				
		Min.	0,20				0,13				0,05				
		Stdabw.	0,12				0,15				0,19				

Anhang A4-2: Daten aus [Glos 1996]

Ästigkeit DIN 4074 (BA)			Abstand vom Mark [mm]											
Dicke [mm]	Höhe [mm]	Stat. Größe	0,0	27,5	55,0	65,0	75,0	82,5	110,0	130,0	137,5	150,0	165,0	192,5	195,0
40	80	N		30				30			30			29	
		Max.		1,00				0,90			0,96			0,78	
		75. Perz.		0,72				0,62			0,61			0,42	
		MW		0,57				0,46			0,36			0,29	
		Median		**0,59**				**0,50**			**0,30**			**0,27**	
		25. Perz.		0,43				0,23			0,17			0,14	
		Min.		0,13				0,00			0,00			0,00	
		Stdabw.		0,22				0,22			0,25			0,20	
	125	N		16				15			17			16	
		Max.		1,00				0,64			0,62			0,63	
		75. Perz.		0,57				0,46			0,42			0,32	
		MW		0,47				0,37			0,35			0,27	
		Median		**0,43**				**0,37**			**0,32**			**0,26**	
		25. Perz.		0,30				0,26			0,27			0,18	
		Min.		0,14				0,18			0,14			0,13	
		Stdabw.		0,25				0,14			0,14			0,12	
	190	N	10		20				20				20		
		Max.	0,55		0,70				0,46				0,36		
		75. Perz.	0,51		0,51				0,43				0,26		
		MW	0,42		0,42				0,30				0,20		
		Median	**0,42**		**0,42**				**0,27**				**0,20**		
		25. Perz.	0,35		0,28				0,18				0,11		
		Min.	0,28		0,19				0,13				0,09		
		Stdabw.	0,09		0,14				0,12				0,08		
	250	N		36				36			18			18	
		Max.		0,68				0,48			0,44			0,43	
		75. Perz.		0,42				0,36			0,34			0,29	
		MW		0,32				0,27			0,28			0,22	
		Median		**0,29**				**0,29**			**0,27**			**0,22**	
		25. Perz.		0,21				0,16			0,22			0,12	
		Min.		0,09				0,03			0,09			0,00	
		Stdabw.		0,15				0,12			0,10			0,12	
50	80	N	12			24				24					12
		Max.	0,89			0,88				0,63					0,71
		75. Perz.	0,65			0,50				0,42					0,35
		MW	0,50			0,39				0,32					0,28
		Median	**0,53**			**0,38**				**0,30**					**0,24**
		25. Perz.	0,29			0,28				0,21					0,19
		Min.	0,11			0,00				0,00					0,14
		Stdabw.	0,23			0,19				0,16					0,15
	125	N	11			22				22					19
		Max.	0,86			0,78				0,66					0,41
		75. Perz.	0,57			0,56				0,37					0,28
		MW	0,49			0,40				0,30					0,21
		Median	**0,48**			**0,40**				**0,28**					**0,20**
		25. Perz.	0,40			0,24				0,17					0,17
		Min.	0,27			0,11				0,00					0,00
		Stdabw.	0,16			0,19				0,17					0,09
	190	N	6			13				13					13
		Max.	0,35			0,52				0,27					0,39
		75. Perz.	0,32			0,37				0,19					0,18
		MW	0,25			0,29				0,15					0,16
		Median	**0,23**			**0,25**				**0,15**					**0,15**
		25. Perz.	0,20			0,21				0,11					0,10
		Min.	0,17			0,18				0,07					0,09
		Stdabw.	0,07			0,11				0,06					0,08
	250	N	11			23				23					
		Max.	0,45			0,60				0,32					
		75. Perz.	0,43			0,30				0,18					
		MW	0,32			0,25				0,15					
		Median	**0,34**			**0,23**				**0,15**					
		25. Perz.	0,20			0,17				0,10					
		Min.	0,14			0,10				0,04					
		Stdabw.	0,11			0,12				0,07					
60	80	N	27				46				22				
		Max.	1,00				1,00				0,99				
		75. Perz.	0,80				0,63				0,44				
		MW	0,64				0,48				0,32				
		Median	**0,64**				**0,44**				**0,29**				
		25. Perz.	0,50				0,28				0,21				
		Min.	0,28				0,11				0,00				
		Stdabw.	0,21				0,23				0,22				
	125	N	13				28				19				
		Max.	0,73				1,00				0,68				
		75. Perz.	0,56				0,57				0,41				
		MW	0,48				0,43				0,31				
		Median	**0,49**				**0,43**				**0,28**				
		25. Perz.	0,40				0,29				0,17				
		Min.	0,15				0,10				0,09				
		Stdabw.	0,16				0,20				0,16				
	190	N	12				24				24				
		Max.	0,70				0,61				0,50				
		75. Perz.	0,56				0,40				0,28				
		MW	0,44				0,32				0,21				
		Median	**0,39**				**0,33**				**0,19**				
		25. Perz.	0,32				0,22				0,13				
		Min.	0,28				0,09				0,06				
		Stdabw.	0,14				0,13				0,11				
	250	N	17				34				34				
		Max.	0,76				0,72				0,49				
		75. Perz.	0,43				0,42				0,27				
		MW	0,39				0,34				0,22				
		Median	**0,36**				**0,33**				**0,21**				
		25. Perz.	0,30				0,26				0,15				
		Min.	0,20				0,15				0,07				
		Stdabw.	0,13				0,13				0,10				

Anhang A4-3: Daten aus [Glos 1996]

Knot-Area-Ratio			Abstand vom Mark [mm]												
Dicke [mm]	Höhe [mm]		0,0	27,5	55,0	65,0	75,0	82,5	110,0	130,0	137,5	150,0	165,0	192,5	195,0
40	80	N		30				30			30			29	
		Max.		0,70				0,59			0,53			0,65	
		75. Perz.		0,45				0,47			0,46			0,32	
		MW		0,36				0,33			0,26			0,23	
		Median		**0,32**				**0,31**			**0,23**			**0,18**	
		25. Perz.		0,24				0,20			0,11			0,12	
		Min.		0,13				0,00			0,00			0,00	
		Stdabw.		0,14				0,16			0,18			0,16	
	125	N		16				15			17			16	
		Max.		0,54				0,41			0,44			0,47	
		75. Perz.		0,45				0,33			0,34			0,29	
		MW		0,39				0,29			0,27			0,24	
		Median		**0,38**				**0,30**			**0,29**			**0,24**	
		25. Perz.		0,22				0,24			0,18			0,17	
		Min.		0,13				0,18			0,11			0,13	
		Stdabw.		0,13				0,06			0,10			0,08	
	190	N	10		20				20				20		
		Max.	0,45		0,44				0,42				0,30		
		75. Perz.	0,41		0,41				0,33				0,22		
		MW	0,35		0,32				0,24				0,17		
		Median	**0,36**		**0,33**				**0,23**				**0,16**		
		25. Perz.	0,31		0,25				0,18				0,11		
		Min.	0,17		0,13				0,09				0,09		
		Stdabw.	0,08		0,10				0,09				0,07		
	250	N		36				36			18			18	
		Max.		0,47				0,44			0,44			0,38	
		75. Perz.		0,36				0,30			0,27			0,26	
		MW		0,26				0,22			0,24			0,18	
		Median		**0,28**				**0,23**			**0,23**			**0,16**	
		25. Perz.		0,16				0,15			0,19			0,10	
		Min.		0,07				0,03			0,08			0,00	
		Stdabw.		0,11				0,10			0,09			0,10	
50	80	N	12			24				24					12
		Max.	0,49			0,47				0,36					0,33
		75. Perz.	0,38			0,36				0,31					0,22
		MW	0,32			0,25				0,21					0,18
		Median	**0,34**			**0,25**				**0,22**					**0,19**
		25. Perz.	0,30			0,13				0,14					0,14
		Min.	0,12			0,00				0,00					0,03
		Stdabw.	0,10			0,14				0,10					0,08
	125	N	11			22				22					19
		Max.	0,45			0,41				0,42					0,25
		75. Perz.	0,42			0,33				0,26					0,19
		MW	0,31			0,25				0,20					0,15
		Median	**0,27**			**0,27**				**0,20**					**0,17**
		25. Perz.	0,22			0,16				0,14					0,13
		Min.	0,16			0,01				0,00					0,00
		Stdabw.	0,10			0,10				0,09					0,06
	190	N	6			13				13					13
		Max.	0,31			0,37				0,22					0,30
		75. Perz.	0,26			0,26				0,13					0,17
		MW	0,20			0,22				0,11					0,14
		Median	**0,21**			**0,21**				**0,10**					**0,11**
		25. Perz.	0,15			0,17				0,08					0,09
		Min.	0,10			0,14				0,01					0,07
		Stdabw.	0,07			0,07				0,05					0,07
	250	N	11			23				23					
		Max.	0,32			0,35				0,25					
		75. Perz.	0,25			0,24				0,16					
		MW	0,20			0,19				0,13					
		Median	**0,22**			**0,19**				**0,14**					
		25. Perz.	0,16			0,15				0,10					
		Min.	0,05			0,08				0,04					
		Stdabw.	0,08			0,07				0,06					
60	80	N	27				46				22				
		Max.	0,60				0,73				0,48				
		75. Perz.	0,42				0,38				0,31				
		MW	0,34				0,26				0,22				
		Median	**0,33**				**0,26**				**0,21**				
		25. Perz.	0,24				0,18				0,14				
		Min.	0,16				0,02				0,00				
		Stdabw.	0,12				0,15				0,13				
	125	N	13				26				19				
		Max.	0,40				0,49				0,44				
		75. Perz.	0,34				0,36				0,28				
		MW	0,28				0,27				0,21				
		Median	**0,30**				**0,27**				**0,17**				
		25. Perz.	0,20				0,19				0,13				
		Min.	0,14				0,08				0,04				
		Stdabw.	0,08				0,11				0,12				
	190	N	12				24				24				
		Max.	0,44				0,46				0,27				
		75. Perz.	0,34				0,34				0,21				
		MW	0,28				0,25				0,15				
		Median	**0,27**				**0,24**				**0,14**				
		25. Perz.	0,23				0,18				0,11				
		Min.	0,15				0,09				0,06				
		Stdabw.	0,08				0,10				0,06				
	250	N	17				34				34				
		Max.	0,40				0,42				0,42				
		75. Perz.	0,27				0,31				0,21				
		MW	0,24				0,26				0,18				
		Median	**0,24**				**0,25**				**0,18**				
		25. Perz.	0,18				0,21				0,12				
		Min.	0,13				0,11				0,07				
		Stdabw.	0,07				0,07				0,08				

Anhang A4-4: Daten aus [Glos 1996]

Koeffizienten[a] - rückwärts laufende, schrittweise Regression

Modell	909 Datensätze	Nicht standardisierte Koeffizienten B	Nicht standardisierte Koeffizienten Standard-fehler	Standardisierte Koeffizienten Beta	T	Signifikanz
1	(Konstante)	0,649	0,042		15,598	0,000
	Höhe [mm]	0,0002113	0,000	0,075	2,361	0,018
	Dicke [mm]	-0,005619	0,001	-0,249	-7,745	0,000
	Abstand vom Mark [mm]	-0,0004810	0,000	-0,150	-4,679	0,000

a. Abhängige Variable: Ästigkeit DIN 4074 (KE)

Koeffizienten[a] - vorwärts laufende, schrittweise Regression

Modell	909 Datensätze	Nicht standardisierte Koeffizienten B	Nicht standardisierte Koeffizienten Standard-fehler	Standardisierte Koeffizienten Beta	T	Signifikanz
1	(Konstante)	0,615	0,037		16,846	0,000
	Dicke [mm]	-0,005	0,001	-0,230	-7,110	0,000
2	(Konstante)	0,684	0,039		17,600	0,000
	Dicke [mm]	-0,006	0,001	-0,250	-7,759	0,000
	Abstand vom Mark [mm]	0,000	0,000	-0,154	-4,772	0,000
3	(Konstante)	0,649	0,042		15,598	0,000
	Dicke [mm]	-0,005619	0,001	-0,249	-7,745	0,000
	Abstand vom Mark [mm]	-0,0004810	0,000	-0,150	-4,679	0,000
	Höhe [mm]	0,0002113	0,000	0,075	2,361	0,018

a. Abhängige Variable: Ästigkeit DIN 4074 (KE)

Koeffizienten[a] - rückwärts laufende, schrittweise Regression

Modell	909 Datensätze	Nicht standardisierte Koeffizienten B	Nicht standardisierte Koeffizienten Standard-fehler	Standardisierte Koeffizienten Beta	T	Signifikanz
1	(Konstante)	0,624	0,038		16,493	0,000
	Höhe [mm]	-0,001	0,000	-0,345	-12,186	0,000
	Dicke [mm]	0,000	0,001	0,004	0,136	0,892
	Abstand vom Mark [mm]	-0,001	0,000	-0,410	-14,361	0,000
2	(Konstante)	0,629	0,017		37,461	0,000
	Höhe [mm]	-0,000992	0,000	-0,345	-12,195	0,000
	Abstand vom Mark [mm]	-0,000992	0,000	-0,411	-14,513	0,000

a. Abhängige Variable: Ästigkeit DIN 4074 (BA)

Koeffizienten[a] - vorwärts laufende, schrittweise Regression

Modell	909 Datensätze	Nicht standardisierte Koeffizienten B	Nicht standardisierte Koeffizienten Standard-fehler	Standardisierte Koeffizienten Beta	T	Signifikanz
1	(Konstante)	0,468	0,011		41,833	0,000
	Abstand vom Mark [mm]	-0,001	0,000	-0,396	-13,004	0,000
2	(Konstante)	0,629	0,017		37,461	0,000
	Abstand vom Mark [mm]	-0,001345	0,000	-0,411	-14,513	0,000
	Höhe [mm]	-0,000992	0,000	-0,345	-12,195	0,000

a. Abhängige Variable: Ästigkeit DIN 4074 (BA)

Anhang A4-4: Daten aus [Glos 1996]

Koeffizienten[a] - rückwärts laufende, schrittweise Regression

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten		
		B	Standard-fehler	Beta	T	Signifikanz
1	(Konstante)	0,459	0,025		18,282	0,000000
	Höhe [mm]	-0,000393	0,000054	-0,221	-7,267	0,000000
	Dicke [mm]	-0,001775	0,000438	-0,124	-4,050	0,000056
	Abstand vom Mark [mm]	-0,000703	0,000062	-0,347	-11,317	0,000000

a. Abhängige Variable: Knot-Area-Ratio

Koeffizienten[a] - vorwärts laufende, schrittweise Regression

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten		
		B	Standard-fehler	Beta	T	Signifikanz
1	(Konstante)	0,305	0,007		42,728	0,000000
	Abstand vom Mark [mm]	-0,000651	0,000064	-0,321	-10,223	0,000000
2	(Konstante)	0,368	0,011		32,742	0,000000
	Abstand vom Mark [mm]	-0,000669	0,000062	-0,330	-10,787	0,000000
	Höhe [mm]	-0,000390	0,000054	-0,219	-7,150	0,000000
3	(Konstante)	0,459	0,025		18,282	0,000000
	Abstand vom Mark [mm]	-0,000703	0,000062	-0,347	-11,317	0,000000
	Höhe [mm]	-0,000393	0,000054	-0,221	-7,267	0,000000
	Dicke [mm]	-0,001775	0,000438	-0,124	-4,050	0,000056

a. Abhängige Variable: Knot-Area-Ratio

Anhang A4-5: Daten aus [Glos 1996]

Rohdichte (u=12%) [g/cm³]			Abstand vom Mark [mm]											
Dicke [mm]	Höhe [mm]		0,0	27,5	55,0	65,0	75,0	82,5	110,0	130,0	137,5	160,0	165,0	192,5	195,0
40	80	N		30				30			30			29	
		Max.		0,446				0,453			0,481			0,518	
		75. Perz.		0,416				0,417			0,453			0,477	
		MW		0,402				0,404			0,427			0,447	
		Median		**0,404**				**0,404**			**0,418**			**0,442**	
		25. Perz.		0,384				0,376			0,400			0,420	
		Min.		0,354				0,355			0,378			0,383	
		Stdabw.		0,023				0,028			0,032			0,036	
	125	N		16				15			17			16	
		Max.		0,446				0,440			0,480			0,504	
		75. Perz.		0,413				0,416			0,435			0,475	
		MW		0,400				0,396			0,416			0,449	
		Median		**0,403**				**0,398**			**0,414**			**0,444**	
		25. Perz.		0,379				0,370			0,388			0,426	
		Min.		0,357				0,383			0,369			0,414	
		Stdabw.		0,025				0,027			0,029			0,028	
	190	N	10		20				20				20		
		Max.	0,453		0,477				0,464				0,486		
		75. Perz.	0,417		0,421				0,442				0,450		
		MW	0,400		0,408				0,414				0,426		
		Median	**0,399**		**0,406**				**0,410**				**0,424**		
		25. Perz.	0,378		0,392				0,379				0,398		
		Min.	0,364		0,358				0,368				0,384		
		Stdabw.	0,027		0,028				0,033				0,031		
	250	N		36				36			18			18	
		Max.		0,474				0,466			0,460			0,478	
		75. Perz.		0,439				0,443			0,436			0,449	
		MW		0,420				0,423			0,416			0,429	
		Median		**0,421**				**0,425**			**0,423**			**0,434**	
		25. Perz.		0,397				0,401			0,397			0,395	
		Min.		0,360				0,361			0,359			0,388	
		Stdabw.		0,028				0,026			0,028			0,028	
50	80	N	12			24				24					12
		Max.	0,461			0,486				0,515					0,525
		75. Perz.	0,438			0,445				0,490					0,503
		MW	0,425			0,433				0,468					0,485
		Median	**0,427**			**0,431**				**0,469**					**0,490**
		25. Perz.	0,414			0,421				0,450					0,463
		Min.	0,383			0,381				0,416					0,439
		Stdabw.	0,022			0,026				0,026					0,027
	125	N	11			22				22					19
		Max.	0,581			0,570				0,580					0,552
		75. Perz.	0,511			0,517				0,546					0,528
		MW	0,466			0,469				0,493					0,491
		Median	**0,457**			**0,451**				**0,474**					**0,486**
		25. Perz.	0,427			0,426				0,444					0,445
		Min.	0,406			0,413				0,422					0,424
		Stdabw.	0,053			0,050				0,054					0,041
	190	N	6			13				13					13
		Max.	0,471			0,506				0,551					0,516
		75. Perz.	0,467			0,455				0,487					0,504
		MW	0,426			0,432				0,457					0,475
		Median	**0,419**			**0,427**				**0,437**					**0,469**
		25. Perz.	0,398			0,404				0,423					0,446
		Min.	0,377			0,374				0,418					0,430
		Stdabw.	0,036			0,041				0,042					0,031
	250	N	11			23				23					
		Max.	0,499			0,545				0,600					
		75. Perz.	0,473			0,496				0,524					
		MW	0,452			0,467				0,495					
		Median	**0,456**			**0,467**				**0,491**					
		25. Perz.	0,419			0,430				0,450					
		Min.	0,405			0,403				0,424					
		Stdabw.	0,031			0,038				0,043					
60	80	N	27				48				22				
		Max.	0,496				0,481				0,526				
		75. Perz.	0,423				0,433				0,451				
		MW	0,400				0,411				0,440				
		Median	**0,404**				**0,411**				**0,437**				
		25. Perz.	0,367				0,385				0,423				
		Min.	0,348				0,352				0,383				
		Stdabw.	0,035				0,034				0,026				
	125	N	13				28				19				
		Max.	0,482				0,488				0,505				
		75. Perz.	0,444				0,460				0,486				
		MW	0,430				0,437				0,449				
		Median	**0,430**				**0,439**				**0,450**				
		25. Perz.	0,410				0,418				0,427				
		Min.	0,393				0,387				0,409				
		Stdabw.	0,020				0,025				0,026				
	190	N	12				24				24				
		Max.	0,449				0,481				0,491				
		75. Perz.	0,426				0,427				0,455				
		MW	0,415				0,416				0,437				
		Median	**0,416**				**0,413**				**0,441**				
		25. Perz.	0,404				0,396				0,419				
		Min.	0,370				0,367				0,384				
		Stdabw.	0,021				0,026				0,025				
	250	N	17				34				34				
		Max.	0,437				0,440				0,475				
		75. Perz.	0,420				0,422				0,442				
		MW	0,407				0,407				0,425				
		Median	**0,406**				**0,411**				**0,436**				
		25. Perz.	0,398				0,396				0,408				
		Min.	0,365				0,361				0,363				
		Stdabw.	0,017				0,021				0,027				

Anhang A4-5 Teil 2: Schrittweise Regressionsrechnung - Rohdichte mit Markabstand, Dicke und Höhe des Schnittholzes. Daten aus [Glos 1996]

Koeffizienten(a)

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten		
		B	Standard-fehler	Beta	T	Signifikanz
1	(Konstante)	0,412	0,002		171,480	0,000
	Abstand vom Mark [mm]	0,000214	0,000	0,314	9,960	0,000
2	(Konstante)	0,388	0,00813		47,682	0,000
	Abstand vom Mark [mm]	0,000223	0,0000215	0,327	10,332	0,000
	Dicke [mm]	0,000476	0,0001521	0,099	3,126	0,002

a. Abhängige Variable: Rohdichte (u=12%) [g/cm³]

Ausgeschlossene Variablen(c)

Modell		Beta In	T	Signifikanz	Partielle Korrelation	Kollinearitäts-statistik
						Toleranz
1	Höhe [mm]	,006(a)	0,198	0,843	0,007	0,998
	Dicke [mm]	,099(a)	3,126	0,002	0,103	0,983
2	Höhe [mm]	,008(b)	0,242	0,808	0,008	0,998

a. Einflußvariablen im Modell: (Konstante), Abstand vom Mark [mm]

b. Einflußvariablen im Modell: (Konstante), Abstand vom Mark [mm], Dicke [mm]

c. Abhängige Variable: Rohdichte (u=12%) [g/cm³]

Anhang A4-6 Teil1: Daten aus [Glos 1996]

Elastizitätsmodul (DIN 52186) [N/mm²]			Abstand vom Mark [mm]											
Dicke [mm]	Höhe [mm]		0,0	27,5	55,0	65,0	75,0	82,5	110,0	130,0	137,5	150,0	165,0	192,5	195,0
40	80	N		30				30			30			29	
		Max.		9.192				11.051			13.078			14.598	
		75. Perz.		8.285				9.489			11.244			12.767	
		MW		7.321				8.403			9.435			10.539	
		Median		**7.716**				**8.012**			**9.856**			**11.007**	
		25. Perz.		6.909				7.553			7.521			7.736	
		Min.		1.000				5.588			4.921			5.647	
		Stdabw.		1.602				1.451			2.222			2.766	
	125	N		16				15			17			16	
		Max.		9.510				10.234			13.804			15.019	
		75. Perz.		8.363				9.956			11.185			13.857	
		MW		7.161				8.261			9.397			10.989	
		Median		**7.167**				**8.790**			**9.738**			**10.131**	
		25. Perz.		6.050				6.661			7.219			9.390	
		Min.		5.380				5.585			5.825			7.480	
		Stdabw.		1.306				1.759			2.283			2.546	
	190	N	10		20				20				20		
		Max.	10.468		11.825				13.365				15.043		
		75. Perz.	10.045		10.219				11.292				11.950		
		MW	7.737		8.649				9.721				10.952		
		Median	**8.223**		**9.024**				**10.396**				**10.917**		
		25. Perz.	5.749		6.740				7.365				9.816		
		Min.	1.728		5.321				6.486				7.324		
		Stdabw.	2.719		2.010				2.076				1.928		
	250	N		36				36			18			18	
		Max.		14.813				15.703			15.234			14.774	
		75. Perz.		11.908				11.655			11.637			13.438	
		MW		10.401				10.472			10.425			11.803	
		Median		**10.347**				**10.142**			**10.531**			**11.833**	
		25. Perz.		8.724				9.018			9.394			10.075	
		Min.		6.795				5.785			6.319			8.444	
		Stdabw.		2.137				2.001			2.113			1.969	
50	80	N	12			24				24					12
		Max.	10.662			11.999				14.306					15.091
		75. Perz.	9.510			11.280				13.208					14.626
		MW	8.747			9.987				12.145					12.981
		Median	**8.843**			**10.303**				**12.168**					**12.531**
		25. Perz.	7.860			8.972				11.240					11.963
		Min.	6.131			4.228				10.328					10.655
		Stdabw.	1.205			1.705				1.115					1.461
	125	N	11			22				22					19
		Max.	14.471			15.143				18.207					16.273
		75. Perz.	13.816			13.580				15.057					14.720
		MW	10.724			11.273				12.839					13.019
		Median	**10.254**			**11.481**				**12.284**					**12.395**
		25. Perz.	8.139			9.284				10.891					11.408
		Min.	7.479			6.730				9.720					11.021
		Stdabw.	2.657			2.492				2.514					1.846
	190	N	8			13				13					13
		Max.	11.350			12.419				14.404					15.433
		75. Perz.	11.136			11.389				13.326					13.148
		MW	10.214			10.653				12.139					12.538
		Median	**10.165**			**10.843**				**11.921**					**12.437**
		25. Perz.	9.704			9.757				11.458					11.533
		Min.	8.404			9.303				8.894					10.663
		Stdabw.	1.030			938				1.438					1.322
	250	N	11			23				23					
		Max.	14.387			14.720				15.254					
		75. Perz.	13.489			14.323				14.649					
		MW	12.232			12.625				13.005					
		Median	**12.077**			**13.099**				**12.975**					
		25. Perz.	11.331			11.038				11.646					
		Min.	9.579			9.042				9.642					
		Stdabw.	1.429			1.710				1.665					
60	80	N	27				46,00					22,00			
		Max.	12.734				12.548					13.001			
		75. Perz.	10.092				11.240					12.248			
		MW	8.727				9.566					10.830			
		Median	**9.028**				**9.612**					**10.892**			
		25. Perz.	6.646				8.021					9.575			
		Min.	5.204				5.606					7.277			
		Stdabw.	1.932				1.830					1.556			
	125	N	13				26,00					19,00			
		Max.	11.869				12.998					14.136			
		75. Perz.	11.157				12.140					12.646			
		MW	10.172				10.729					11.249			
		Median	**10.235**				**10.546**					**11.203**			
		25. Perz.	9.417				9.786					10.009			
		Min.	7.262				7.759					8.282			
		Stdabw.	1.309				1.482					1.609			
	190	N	12				24,00					24,00			
		Max.	12.001				14.905					13.039			
		75. Perz.	10.395				11.136					12.335			
		MW	9.709				10.259					11.221			
		Median	**9.904**				**10.312**					**11.745**			
		25. Perz.	8.891				8.797					9.989			
		Min.	7.719				7.777					8.441			
		Stdabw.	1.197				1.825					1.454			
	250	N	17				34,00					34,00			
		Max.	11.859				12.279					12.931			
		75. Perz.	10.658				10.936					11.856			
		MW	9.327				9.872					10.699			
		Median	**9.377**				**10.096**					**10.974**			
		25. Perz.	8.566				9.123					9.642			
		Min.	5.860				5.151					4.796			
		Stdabw.	1.510				1.627					1.688			

Anhang A4-6 Teil 2: Schrittweise Regressionsrechnung - E-Modul, Markabstand, Höhe und Dicke der Schnitthölzer: Daten aus [Glos 1996]

Koeffizienten(a)

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten		
		B	Standard-fehler	Beta	T	Signifikanz
1	(Konstante)	9.129,997	135,683		67,289	0,000
	Abstand vom Mark [mm]	13,186	1,212	0,340	10,883	0,000
2	(Konstante)	8.038,442	214,830		37,418	0,000
	Abstand vom Mark [mm]	13,502	1,186	0,348	11,381	0,000
	Höhe [mm]	6,731	1,042	0,198	6,462	0,000
3	(Konstante)	5.503,719	475,156		11,583	0,000
	Abstand vom Mark [mm]	14,422	1,175	0,372	12,278	0,000
	Höhe [mm]	6,816	1,023	0,200	6,666	0,000
	Dicke [mm]	49,348	8,290	0,180	5,953	0,000

a. Abhängige Variable: Elastizitätsmodul (DIN 52186) [N/mm²]

Anhang A4-7: Daten aus [Glos 1996]

Festigkeit [N/mm²]			Abstand vom Mark [mm]												
Dicke [mm]	Höhe [mm]		0,0	27,5	55,0	65,0	75,0	82,5	110,0	130,0	137,5	150,0	165,0	192,5	195,0
40	80	N		30				30			30			29	
		Max.		39,3				50,7			67,1			66,9	
		75. Perz.		34,8				36,1			52,0			55,0	
		MW		27,2				30,7			39,9			42,0	
		Median		**27,4**				**32,3**			**40,4**			**47,4**	
		25. Perz.		22,5				24,9			27,1			27,3	
		Min.		1,7				15,3			9,5			11,3	
		Stdabw.		8,8				8,7			16,6			16,2	
	125	N		16				15			17			16	
		Max.		39,3				50,7			67,1			66,9	
		75. Perz.		34,8				36,1			52,0			55,0	
		MW		27,2				30,7			39,9			42,0	
		Median		**27,4**				**32,3**			**40,4**			**47,4**	
		25. Perz.		22,5				24,9			27,1			27,3	
		Min.		1,7				15,3			9,5			11,3	
		Stdabw.		8,8				8,7			16,6			16,2	
	190	N	10		20				20				20		
		Max.		39,3				50,7			67,1			66,9	
		75. Perz.		34,8				36,1			52,0			55,0	
		MW		27,2				30,7			39,9			42,0	
		Median		**27,4**				**32,3**			**40,4**			**47,4**	
		25. Perz.		22,5				24,9			27,1			27,3	
		Min.		1,7				15,3			9,5			11,3	
		Stdabw.		8,8				8,7			16,6			16,2	
	250	N		36				36			18			18	
		Max.		39,3				50,7			67,1			66,9	
		75. Perz.		34,8				36,1			52,0			55,0	
		MW		27,2				30,7			39,9			42,0	
		Median		**27,4**				**32,3**			**40,4**			**47,4**	
		25. Perz.		22,5				24,9			27,1			27,3	
		Min.		1,7				15,3			9,5			11,3	
		Stdabw.		8,8				8,7			16,6			16,2	
50	80	N	12			24				24					12
		Max.		39,3				50,7			67,1			66,9	
		75. Perz.		34,8				36,1			52,0			55,0	
		MW		27,2				30,7			39,9			42,0	
		Median		**27,4**				**32,3**			**40,4**			**47,4**	
		25. Perz.		22,5				24,9			27,1			27,3	
		Min.		1,7				15,3			9,5			11,3	
		Stdabw.		8,8				8,7			16,6			16,2	
	125	N	11			22				22					19
		Max.		39,3				50,7			67,1			66,9	
		75. Perz.		34,8				36,1			52,0			55,0	
		MW		27,2				30,7			39,9			42,0	
		Median		**27,4**				**32,3**			**40,4**			**47,4**	
		25. Perz.		22,5				24,9			27,1			27,3	
		Min.		1,7				15,3			9,5			11,3	
		Stdabw.		8,8				8,7			16,6			16,2	
	190	N	6			13				13					13
		Max.		39,3				50,7			67,1			66,9	
		75. Perz.		34,8				36,1			52,0			55,0	
		MW		27,2				30,7			39,9			42,0	
		Median		**27,4**				**32,3**			**40,4**			**47,4**	
		25. Perz.		22,5				24,9			27,1			27,3	
		Min.		1,7				15,3			9,5			11,3	
		Stdabw.		8,8				8,7			16,6			16,2	
	250	N	11			23				23					
		Max.		39,3				50,7			67,1			66,9	
		75. Perz.		34,8				36,1			52,0			55,0	
		MW		27,2				30,7			39,9			42,0	
		Median		**27,4**				**32,3**			**40,4**			**47,4**	
		25. Perz.		22,5				24,9			27,1			27,3	
		Min.		1,7				15,3			9,5			11,3	
		Stdabw.		8,8				8,7			16,6			16,2	
60	80	N	27				46,00					22,00			
		Max.		39,3				50,7			67,1			66,9	
		75. Perz.		34,8				36,1			52,0			55,0	
		MW		27,2				30,7			39,9			42,0	
		Median		**27,4**				**32,3**			**40,4**			**47,4**	
		25. Perz.		22,5				24,9			27,1			27,3	
		Min.		1,7				15,3			9,5			11,3	
		Stdabw.		8,8				8,7			16,6			16,2	
	125	N	13				28,00					19,00			
		Max.		39,3				50,7			67,1			66,9	
		75. Perz.		34,8				36,1			52,0			55,0	
		MW		27,2				30,7			39,9			42,0	
		Median		**27,4**				**32,3**			**40,4**			**47,4**	
		25. Perz.		22,5				24,9			27,1			27,3	
		Min.		1,7				15,3			9,5			11,3	
		Stdabw.		8,8				8,7			16,6			16,2	
	190	N	12				24,00					24,00			
		Max.		39,3				50,7			67,1			66,9	
		75. Perz.		34,8				36,1			52,0			55,0	
		MW		27,2				30,7			39,9			42,0	
		Median		**27,4**				**32,3**			**40,4**			**47,4**	
		25. Perz.		22,5				24,9			27,1			27,3	
		Min.		1,7				15,3			9,5			11,3	
		Stdabw.		8,8				8,7			16,6			16,2	
	250	N	17				34,00					34,00			
		Max.		39,3				50,7			67,1			66,9	
		75. Perz.		34,8				36,1			52,0			55,0	
		MW		27,2				30,7			39,9			42,0	
		Median		**27,4**				**32,3**			**40,4**			**47,4**	
		25. Perz.		22,5				24,9			27,1			27,3	
		Min.		1,7				15,3			9,5			11,3	
		Stdabw.		8,8				8,7			16,6			16,2	

Anhang A4-8: Schrittweise Regressionsrechnung mit der Festigkeit als abhängiger Variablen - Teil A: Daten aus [Glos 1996]

Koeffizienten(a)

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten		
		B	Standard-fehler	Beta	T	Signifikanz
1	(Konstante)	-12,9	1,529		-8,43	0,000
	Elastizitätsmodul (DIN 52186) [N/mm²]	0,005110	0,000	0,763	35,55	0,000
2	(Konstante)	7,37	2,219		3,32	0,001
	Elastizitätsmodul (DIN 52186) [N/mm²]	0,004023	0,000	0,601	24,83	0,000
	Knot-Area-Ratio	-36,90	3,103	-0,288	-11,89	0,000
3	(Konstante)	17,38	2,710		6,41	0,000
	Elastizitätsmodul (DIN 52186) [N/mm²]	0,004126	0,000	0,616	25,85	0,000
	Knot-Area-Ratio	-36,98	3,041	-0,288	-12,16	0,000
	Dicke [mm]	-0,2242	0,036	-0,122	-6,19	0,000
4	(Konstante)	23,63	2,803		8,43	0,000
	Elastizitätsmodul (DIN 52186) [N/mm²]	0,003997	0,000	0,597	25,45	0,000
	Knot-Area-Ratio	-27,33	3,295	-0,213	-8,29	0,000
	Dicke [mm]	-0,2765	0,036	-0,151	-7,64	0,000
	Ästigkeit DIN 4074 (KE)	-13,01	1,927	-0,160	-6,75	0,000
5	(Konstante)	39,07	3,913		9,99	0,000
	Elastizitätsmodul (DIN 52186) [N/mm²]	0,004785	0,000	0,715	22,82	0,000
	Knot-Area-Ratio	-24,43	3,283	-0,190	-7,44	0,000
	Dicke [mm]	-0,2824	0,036	-0,154	-7,92	0,000
	Ästigkeit DIN 4074 (KE)	-12,28	1,900	-0,151	-6,46	0,000
	Rohdichte (u=12%) [g/cm³]	-56,21	10,107	-0,147	-5,56	0,000
6	(Konstante)	37,39	3,932		9,51	0,000
	Elastizitätsmodul (DIN 52186) [N/mm²]	0,004073	0,000	0,608	13,08	0,000
	Knot-Area-Ratio	-22,34	3,337	-0,174	-6,69	0,000
	Dicke [mm]	-0,3070	0,036	-0,167	-8,44	0,000
	Ästigkeit DIN 4074 (KE)	-13,67	1,944	-0,168	-7,03	0,000
	Rohdichte (u=12%) [g/cm³]	-52,51	10,132	-0,138	-5,18	0,000
	Min. E-modul [N/mm²] gehobelt	0,001003	0,000	0,120	3,08	0,002

a. Abhängige Variable: Festigkeit [N/mm²]

Modellzusammenfassung

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers	Änderungsstatistiken				
					Änderung in Signifikanz von F	Änderung in R-Quadrat	Änderung in F	df1	df2
1	,763(a)	0,582	0,582	10,0964	0,582	1.263,627	1	907	0,000
2	,799(b)	0,639	0,638	9,3952	0,056	141,416	1	906	0,000
3	,808(c)	0,653	0,652	9,2076	0,015	38,298	1	905	0,000
4	,818(d)	0,670	0,668	8,9889	0,017	45,589	1	904	0,000
5	,825(e)	0,681	0,679	8,8436	0,011	30,931	1	903	0,000
6	,827(f)	0,684	0,682	8,8025	0,003	9,470	1	902	0,002

a. Einflußvariablen : (Konstante), Elastizitätsmodul (DIN 52186) [N/mm²]

b. Einflußvariablen : (Konstante), Elastizitätsmodul (DIN 52186) [N/mm²], Knot-Area-Ratio

c. Einflußvariablen : (Konstante), Elastizitätsmodul (DIN 52186) [N/mm²], Knot-Area-Ratio, Dicke [mm]

d. Einflußvariablen : (Konstante), Elastizitätsmodul (DIN 52186) [N/mm²], Knot-Area-Ratio, Dicke [mm], Ästigkeit DIN 4074 (KE)

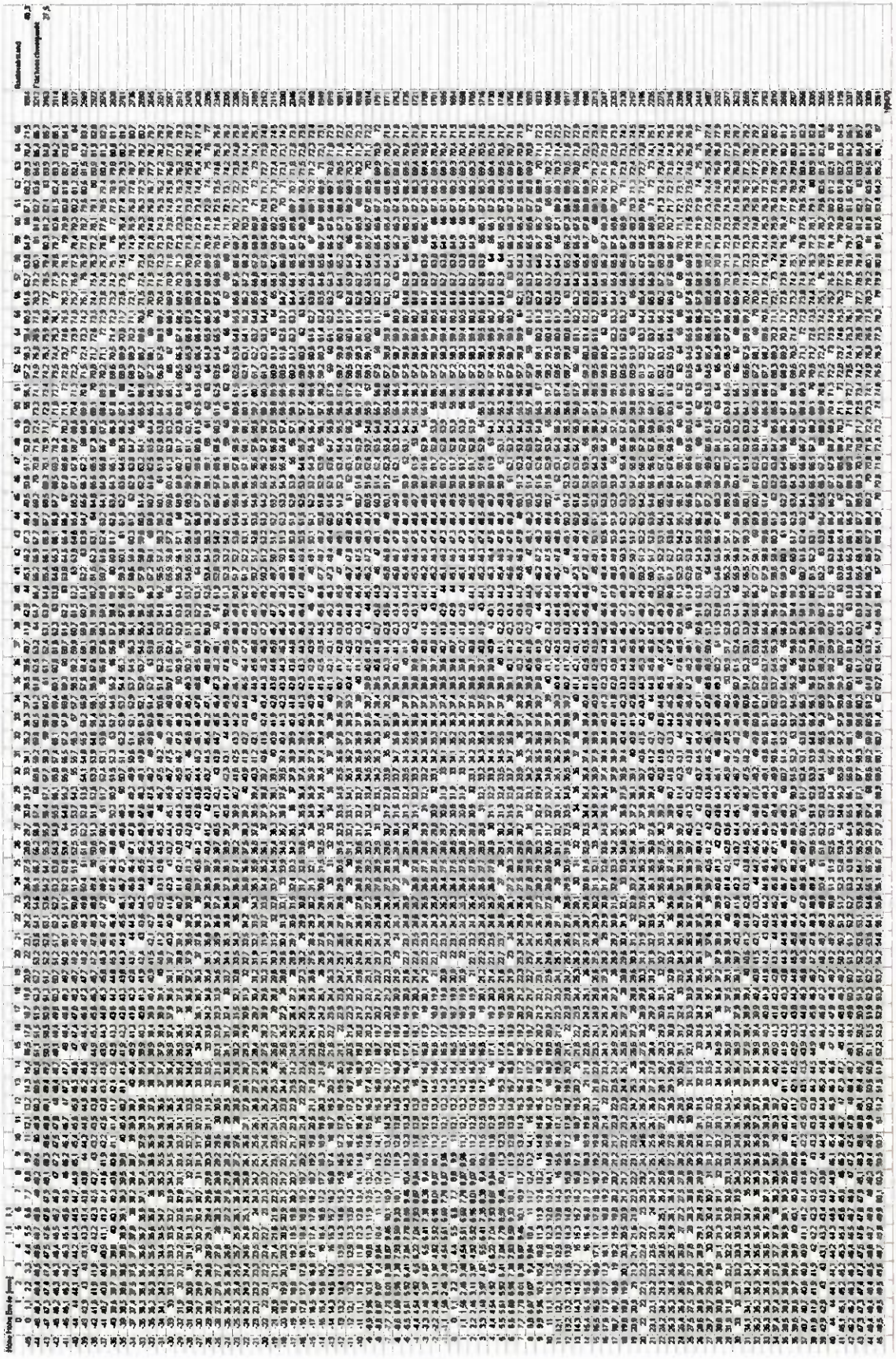
Rohdichte (u=12%) [g/cm³]

Rohdichte (u=12%) [g/cm³], Min. E-modul [N/mm²] gehobelt

Anhang A4-8: Schrittweise Regressionsrechnung mit der Festigkeit als abhängige Variable - Teil B: Daten aus [Glos 1996]

Ausgeschlossene Variablen(g)

Modell		Beta In	T	Signifikanz	Partielle Korrelation	Kollinearitätsstatistik Toleranz
1	Abstand vom Mark [mm]	,044(a)	1,909	,057	,063	,885
	Höhe [mm]	,020(a)	,915	,361	,030	,966
	Dicke [mm]	-,121(a)	-5,692	,000	-,186	,983
	Ästigkeit DIN 4074 (KE)	-,210(a)	-9,354	,000	-,297	,832
	Knot-Area-Ratio	-,268(a)	-11,892	,000	-,367	,682
	Rohdichte (u=12%) [g/cm³]	-,212(a)	-7,404	,000	-,239	,530
	Min. E-modul [N/mm²] gehobelt	,097(a)	2,306	,021	,076	,258
2	Abstand vom Mark [mm]	,001(b)	,063	,950	,002	,860
	Höhe [mm]	-,011(b)	-,516	,606	-,017	,951
	Dicke [mm]	-,122(b)	-6,189	,000	-,201	,983
	Ästigkeit DIN 4074 (KE)	-,121(b)	-5,081	,000	-,167	,681
	Rohdichte (u=12%) [g/cm³]	-,151(b)	-5,473	,000	-,179	,508
	Min. E-modul [N/mm²] gehobelt	,034(b)	,862	,389	,029	,253
3	Abstand vom Mark [mm]	-,025(c)	-1,141	,254	-,038	,828
	Höhe [mm]	-,015(c)	-,736	,462	-,024	,950
	Ästigkeit DIN 4074 (KE)	-,160(c)	-6,752	,000	-,219	,650
	Rohdichte (u=12%) [g/cm³]	-,159(c)	-5,892	,000	-,192	,507
	Min. E-modul [N/mm²] gehobelt	,079(c)	1,999	,046	,066	,245
4	Abstand vom Mark [mm]	-,015(d)	-,728	,467	-,024	,825
	Höhe [mm]	,020(d)	1,005	,315	,033	,888
	Rohdichte (u=12%) [g/cm³]	-,147(d)	-5,562	,000	-,182	,504
	Min. E-modul [N/mm²] gehobelt	,144(d)	3,667	,000	,121	,233
5	Abstand vom Mark [mm]	,002(e)	,090	,929	,003	,806
	Höhe [mm]	-,001(e)	-,035	,972	-,001	,856
	Min. E-modul [N/mm²] gehobelt	,120(e)	3,077	,002	,102	,230
6	Abstand vom Mark [mm]	-,005(f)	-,224	,822	-,007	,798
	Höhe [mm]	-,015(f)	-,735	,462	-,024	,814

a Einflußvariablen im Modell: (Konstante), Elastizitätsmodul (DIN 52186) [N/mm²]
b Einflußvariablen im Modell: (Konstante), Elastizitätsmodul (DIN 52186) [N/mm²], Knot-Area-Ratio
c Einflußvariablen im Modell: (Konstante), Elastizitätsmodul (DIN 52186) [N/mm²], Knot-Area-Ratio, Dicke [mm]
d Einflußvariablen im Modell: (Konstante), Elastizitätsmodul (DIN 52186) [N/mm²], Knot-Area-Ratio, Dicke [mm], Ästigkeit DIN 4074 (KE)
e Einflußvariablen im Modell: (Konstante), Elastizitätsmodul (DIN 52186) [N/mm²], Knot-Area-Ratio, Dicke [mm], Ästigkeit DIN 4074 (KE), Rohdichte (u=12%) [g/cm³]
f Einflußvariablen im Modell: (Konstante), Elastizitätsmodul (DIN 52186) [N/mm²], Knot-Area-Ratio, Dicke [mm], Ästigkeit DIN 4074 (KE), Rohdichte (u=12%) [g/cm³], Min. E-modul [N/mm²] gehobelt
g Abhängige Variable: Festigkeit [N7mm²]

Anhang A5: Berechnung des Rastermarkabstandes für ein Schnittholz mit den Einschnittmaßen 65 x 90 mm² und einem Abstand des Flächenschwerpunktes vom Mark von 27,5 mm