

Brettschichtholz - Herstellung und Festigkeitsklassen

STEP A8

F. Colling

Deutsche Gesellschaft
für Holzforschung

Inhalt

Die Herstellung von Brettschichtholz wird beschrieben und die Leistungs- und Mindestanforderungen an die Herstellung werden besprochen. Die resultierenden Vorteile gegenüber Vollholz werden aufgezeigt. Die festigkeits- und steifigkeitsbeeinflussenden Faktoren werden erläutert und die Hintergründe der Bestimmungen von CEN-Normen erklärt.

Voraussetzungen

A7 Bauholz - Festigkeitsklassen

A12 Leime

Inhalt

Die Herstellung von Brettschichtholz wird beschrieben und die Leistungs- und Mindestanforderungen an die Herstellung werden besprochen. Die resultierenden Vorteile gegenüber Vollholz werden aufgezeigt. Die festigkeits- und steifigkeitsbeeinflussenden Faktoren werden erläutert und die Hintergründe der Bestimmungen von CEN-Normen erklärt.

Herstellung

Die Herstellung von Brettschichtholz besteht - wie in Abb. 1 dargestellt - aus einer Folge von Arbeitsschritten, die nachfolgend beschrieben sind.

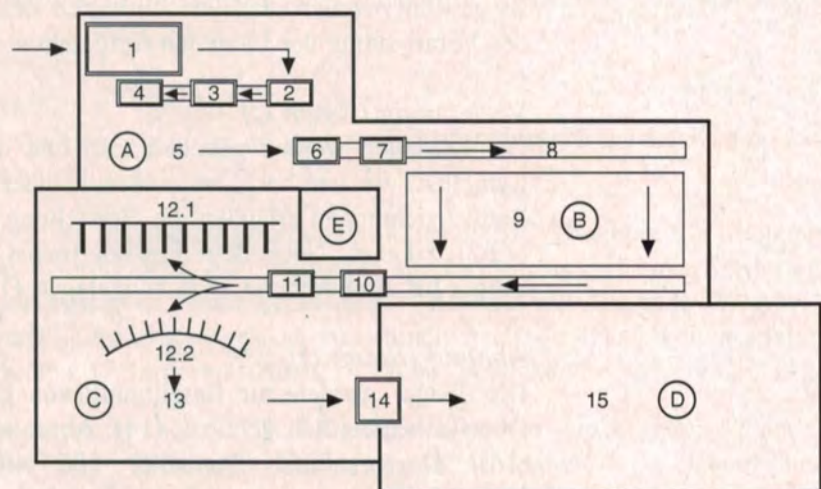


Abb. 1 Herstellung von Brettschichtholz.

Vorbereitung der Bretter (Raum A)

Brettschichtholz besteht aus Brettern mit einer Enddicke von höchstens 45 mm und Längen zwischen 1,5 und 5,0 m. Die Bretter werden, von einem Lagerplatz im Freien kommend, technisch getrocknet (1). Ein Grund hierfür ist, daß die verwendeten Leime höchstens bis zu einer Holzfeuchte von 15% eingesetzt werden können. Nach dem Trocknen werden die Bretter vorgehobelt (2) und sortiert (3). Die Holzfeuchte wird überprüft, die Bretter werden gekappt (4) und gestapelt (5).

Keilzinkung (Raum B)

Die Bretter werden an den Stirnenden mittels Keilzinkenverbindung miteinander verbunden und ergeben so eine sogenannte Endloslamelle. Eine typische Keilzinkung mit den Bezeichnungen nach prEN 385 "Keilzinkenverbindungen in Bauholz" ist in Abb. 2 dargestellt.

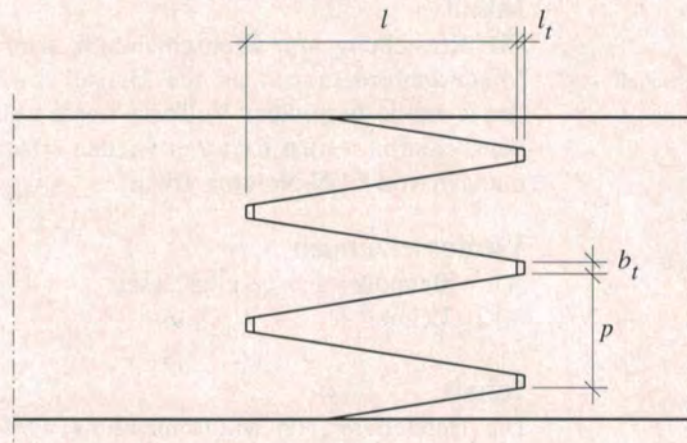


Abb. 2 Keilzinkung (l = Zinkenlänge, p = Zinkenteilung, b_t = Breite des Zinkengrundes, l_t = Zinkenspiel).

Das Keilzinkenprofil wird in das Hirnholz gefräst und der Kleber wird aufgebracht (6). Anschließend werden die Bretter während einer Dauer von mindestens zwei Sekunden zusammengepreßt (7), so daß die Bretter über die zwischen den Zinken vorhandene Reibung zusammengehalten werden. Aus der resultierenden Endloslamelle werden Lamellen mit einer gewünschten Länge herausgeschnitten (8) und gestapelt (9). Die Dauer dieser Zwischenlagerung muß so gewählt werden, daß ein Aushärten des Leimes gewährleistet ist, bevor mit der Verarbeitung der Lamellen fortgefahren wird.

Verleimung (Raum C)

Die Lamellen werden gehobelt (10) und der Leim wird aufgebracht (11). Die Lamellen werden hochkant nebeneinander gelegt und zusammengepreßt. Die Preßvorrichtungen erlauben die Herstellung von geraden (12.1) und gekrümmten (12.2) Trägern. Nach dem Pressen (meist bis zum nächsten Tag) werden die Träger bis zum Abbund zwischengelagert (13).

Abbund (Raum D)

Die Träger werden zur Beseitigung von Leimresten und zur Erzielung ebener Oberflächen seitlich gehobelt (14). Abschließend erfolgt der Abbund der Träger (15). Der Abbund beinhaltet alle vorbehandelnden und vorbereitenden Maßnahmen, die nicht auf der Baustelle durchgeführt werden müssen (z.B. Bohren von Löchern für Verbindungsmittel oder Aufbringen von Holzschutzmitteln).

Vorbereitung der Leime (Raum E)

Sofern Harz und Härter nicht direkt von Lagertanks eingepumpt und automatisch bei der Verwendung gemischt werden, muß ein separater Raum für die Vorbereitung des Leimes (Mischen von Harz und Härter) zur Verfügung stehen. Außerdem muß es geeignete Lagermöglichkeiten für Harz und Härter sowie einen Bereich für die Reinigung der Leimgeräte geben.

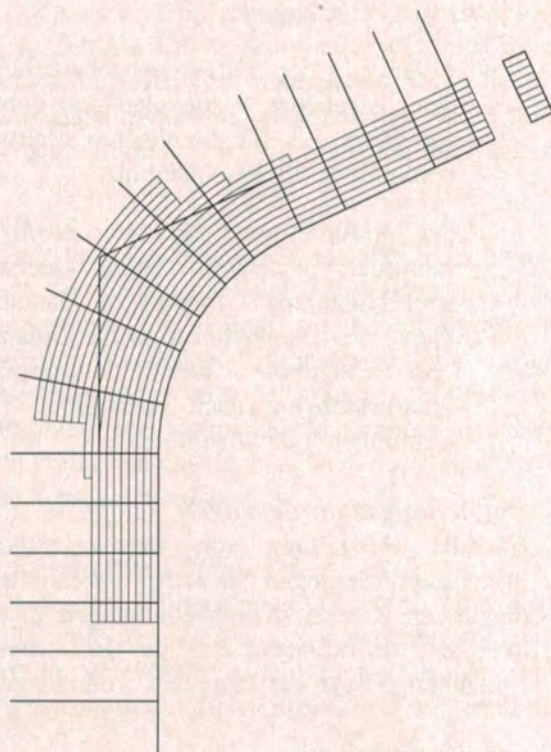


Abb. 3 Aufbau eines Satteldachträgers aus verschieden langen Lamellen.

Leistungs- und Herstellungsanforderungen

Die in prEN 386 "Brettschichtholz - Leistungs- und Mindestanforderungen an die Herstellung" geregelten Anforderungen dienen dazu, die Herstellung einer zuverlässigen und dauerhaften Verleimung zu erreichen, so daß die Güte der Verleimung für die beabsichtigte Lebensdauer des Bauwerkes aufrechterhalten wird.

Anforderungen

Diese Norm regelt die nachfolgend genannten Anforderungen an die Komponenten von Brettschichtholz:

- Das Holz ist in Übereinstimmung mit prEN 518 "Bauholz für tragende Zwecke - Sortierung - Anforderungen an Normen über visuelle Sortierung nach der Festigkeit" oder prEN 519 " Bauholz für tragende Zwecke - Sortierung - Anforderungen an maschinell nach der Festigkeit sortiertes Bauholz und an Sortiermaschinen" nach der Festigkeit zu sortieren.
- Die Leime (siehe auch STEP A12) müssen die für den Leimtyp I oder II in prEN 301 "Klebstoffe für tragende Holzbauteile - Phenol und Aminoplaste - Klassifizierung und Leistungsanforderungen" angegebenen Anforderungen erfüllen.
- Die charakteristische Biegefestigkeit $f_{m,j,k}$ der Endverbindungen muß folgende Anforderung erfüllen:

$$f_{m,j,k} > f_{m,j,k,r} \quad (1)$$

wobei $f_{m,j,k,r}$ die erforderliche charakteristische Biegefestigkeit bei Flachkantprüfung ist. Der aktuelle Entwurf der prEN 1194 "Holzbauwerke - Brettschichtholz - Festigkeitsklassen und Bestimmung charakteristischer Werte" sieht folgenden Wert vor:

$$f_{m,j,k,r} = (1,3 \text{ oder } 1,4) f_{m,g,k} \quad (2)$$

wobei $f_{m,g,k}$ der charakteristischen Biegefestigkeit von Brettschichtholz mit einer gegebenen Festigkeitsklasse entspricht (siehe Tabelle 2). Hierbei gilt der Wert 1,3 für homogenes Brettschichtholz und der Faktor 1,4 für kombiniertes Brettschichtholz.

- Die Anforderungen an die *Leimfugengüte* müssen auf Prüfungen der Leimfuge in einem vollen Querschnittsprobekörper, der aus einem Brettschichtholz - Bauteil zu schneiden ist, beruhen. Je nach Nutzungs-klasse des Bauwerkes sind die Delaminierungsprüfungen (nach prEN 391 "Brettschichtholz - Delaminierungsprüfung von Leimfugen") oder Block-scherprüfungen (nach prEN 392 "Brettschichtholz - Scherprüfung der Leimfugen") durchzuführen.

Herstellungsanforderungen

An die Herstellung von Brettschichtholz für tragende Zwecke werden Mindestanforderungen gestellt, insbesondere hinsichtlich der Herstellungsbedingungen (Geräte, Klimabedingungen in den Werkräumen), der Holzverarbeitung, der Holzabmessungen, der Holzarten, der Kleber sowie der eigentlichen Herstellung (Lage der Lamellen, Toleranzgrenzen, Pressen).

Güteüberwachung

Besonderes Augenmerk wird auf die Güteüberwachung gelegt, die aus einer werkseigenen Produktionskontrolle (Eigenüberwachung) und einer externen Überwachung zur Kontrolle der Eigenüberwachung besteht. Die Güteüberwachung beinhaltet im wesentlichen die Prüfung der Endverbindungen und der Leimfugengüte. Weiterhin muß ein Leimbuch geführt werden, das Angaben über Herstellungsdatum und -nummer, Holzart, Holzgüte, Maße des Bauteils, Holzfeuchte, Uhrzeit des Beginns des Leimauftrages, Uhrzeit des Beginns und des Endes des Pressvorgangs, Preßdruck, Harz und Härter, Leimverbrauch (g/m²), Kalibrierung des Feuchtemeßgerätes sowie der Temperatur und der relativen Luftfeuchte der verschiedenen Werkräume enthalten muß.

Universal -Keilzinkenverbindungen

Werden Universal - Keilzinkenverbindungen zur Verbindung ganzer Bauteile eingesetzt (z.B. bei Rahmenkonstruktionen), so müssen bestimmte Leistungs- und Herstellungsanforderungen erfüllt werden. Diese Anforderungen sind in prEN 387 "Brettschichtholz - Universal - Keilzinkenverbindungen - Leistungs- und Mindestanforderungen an die Herstellung" angegeben.

Vorteile

Brettschichtholz ist ein hochwertiger Ingenieurbaustoff, der in vielen Fällen die traditionelle Verwendung von Vollholz verdrängt hat. Dies liegt in einer Reihe von Vorteilen gegenüber dem Vollholz begründet, die auf die Herstellungsweise von Brettschichtholz mit integrierter Güteüberwachung zurückzuführen sind. Die wichtigsten Vorteile sind nachfolgend beschrieben.

Trägerabmessungen

Durch die Herstellung einer sogenannten Endloslamelle sind theoretisch unbegrenzte Trägerabmessungen möglich. So sind Brettschichtholzträger mit Höhen von 2m oder Längen von 30 bis 40m keine Seltenheit. Einschränkungen bestehen jedoch hinsichtlich der Größe der Hobelmaschinen, der Produktionsräume oder aus architektonischen Gründen. Der Transport von Brettschichtholzträgern

schränkt die möglichen Trägerabmessungen nur unwesentlich ein. Falls jedoch die Ladung 16m Länge, 2.50 m Breite oder 3.50 m Höhe überschreitet, so sind je nach Abmessungen zusätzliche Maßnahmen wie z.B. Blinklicht, Polizeieskorte oder Ausnahmegenehmigungen erforderlich. Auch müssen die Fahrstrecken sorgfältig überprüft werden (z.B. Kurvenradien und Unterführungen).

Trägerformen

Die Möglichkeit, die Einzellamellen vor der Verleimung zu krümmen, erlaubt die Fertigung von ansprechenden Trägerformen. Auch wird dadurch die Möglichkeit gegeben, die Träger im Hinblick auf die später eintretenden Durchbiegungen zu überhöhen. Da die Herstellung von gekrümmten Trägern für jede neue Trägergeometrie eine Anpassung der Pressvorrichtungen erfordert, ist die Herstellungszeit im Vergleich zu geraden Trägern länger. Die dadurch resultierenden Preisunterschiede hängen jedoch von der Stückzahl ab und sind normalerweise vernachlässigbar.

Höhere Festigkeiten und Steifigkeiten

Bedingt durch den Herstellungsprozess werden Äste über den gesamten Träger verteilt, so daß ein vergleichsweise homogenes Material entsteht. Hierdurch verlieren einzelne potentielle Bruchstellen (z.B. Äste) an Bedeutung, was zu höheren Festigkeitswerten bei gleichzeitig reduzierter Streuung führt.

Kombiniertes Brettschichtholz

Die Verwendung von Einzellamellen ermöglicht es, die Lamellenqualität der im Träger auftretenden Beanspruchung anzupassen. Im Falle von Biegeträgern z.B., werden in den hoch beanspruchten äußeren Bereichen Lamellen einer höheren Festigkeitsklasse angeordnet, während in den inneren Bereichen Lamellen mit einer geringeren Qualität eingesetzt werden können. Dies ermöglicht eine wirtschaftlichere Nutzung des vorhandenen Brettmaterials.

Trockenes Holz

Die verwendeten Klebstoffe fordern eine Holzfeuchte von unter 15%. Aus diesem Grunde werden die Bretter technisch auf eine Holzfeuchte von etwa 12% getrocknet. Da sich in beheizten Innenräumen eine Ausgleichsfeuchte im Holz von etwa 9 - 12% einstellt, werden dadurch Schäden, die durch das nachträgliche Austrocknen des Holzes im Bauwerk entstehen (wie z.B. Verdrehungen), nahezu ausgeschlossen.

Garantierte Abmessungen

Das Trocknen der Lamellen sowie die Herstellungsweise ermöglichen es weiterhin, Brettschichtholzträger mit gesicherten Abmessungen herzustellen. Dieser Aspekt gewinnt angesichts des verstärkten Einsatzes von elektronisch gesteuerten Abbundmaschinen zunehmend an Bedeutung.

Festigkeitsbestimmende Einflußfaktoren

Brettschichtholz wird vorwiegend in biegebeanspruchten Konstruktionen eingesetzt, so daß in diesem Abschnitt das Hauptaugenmerk auf die Faktoren gerichtet wird, welche die Biegefestigkeit von Brettschichtholzträgern beeinflussen. Die weiteren Festigkeitseigenschaften werden im nächsten Abschnitt besprochen.

Systematische Untersuchungen (Colling 1990a und 1990b) zeigten eindeutig, daß die Festigkeit von Brettschichtholzträgern sowohl von der Qualität (Festigkeit)

der Bretter als auch der Festigkeit der Keilzinkenverbindungen bestimmt wird. Wird ein Brettschichtholzträger einer Belastung ausgesetzt, so ist er bestrebt, sich möglichst frühzeitig der Beanspruchung zu entziehen. Der Bruch tritt daher naturgemäß an der schwächsten Stelle ein, und dies kann sowohl ein Brettabschnitt mit Ästen sein oder aber auch eine Keilzinkenverbindung, je nachdem wer die geringere Festigkeit aufweist. Bei Brettschichtholzträgern mit schlechten Keilzinkenverbindungen beispielsweise, wird das Versagen in den meisten Fällen durch die Keilzinkenverbindungen ausgelöst werden, während Brettschichtholzträger mit qualitativ minderwertigen Brettern meist im Bereich von Ästen zu Bruch gehen. Dies bedeutet, daß zur Erreichung von hochwertigem Brettschichtholz beide Faktoren, Bretter *und* Keilzinkenverbindungen berücksichtigt werden müssen. Es macht keinen Sinn, einseitig nur die Festigkeit eines dieser beiden Faktoren zu erhöhen, weil dann die Tragfähigkeit der Brettschichtholzträger zunehmend von dem anderen (schwächeren) Faktor bestimmt wird, und die erzielte einseitige Verbesserung somit nicht genutzt werden kann.

Auf der Grundlage der genannten Untersuchungen können folgende Schlußfolgerungen gezogen werden:

- eine visuelle Holzsortierung mit strengeren Anforderungen an die Ästigkeit der Bretter ist keine geeignete Maßnahme, um die Tragfähigkeit von Brettschichtholzträgern wirkungsvoll zu steigern. Dies kann damit begründet werden, daß eine Verringerung der zulässigen Astgröße ausschließlich zu einer höheren Brettfestigkeit führt, während die Keilzinkenfestigkeit hiervon nicht betroffen wird. Somit wird das Versagen von Brettschichtholzträgern zunehmend von den Keilzinkenverbindungen ausgelöst, so daß die höhere Brettfestigkeit nicht genutzt werden kann;
- mit Hilfe einer Holzsortierung auf der Grundlage der Rohdichte und/oder des Elastizitätsmoduls des Holzes ist es möglich, sowohl die Festigkeit der Bretter als auch die der Keilzinkenverbindungen zu steuern. Dies führt auch zu deutlich höheren Brettschichtholzfestigkeiten. Die maschinelle Holzsortierung ist somit als Schlüssel für hochfestes Brettschichtholz anzusehen;
- Da in den Betrieben verschiedene Keilzinkenprofile zum Einsatz kommen und unterschiedliche Herstellbedingungen herrschen (wie z.B. Alter des Leimes, aufgebrachtter Pressdruck oder Klimabedingungen in den Produktionsräumen) ist eine Güteüberwachung der Keilzinkungen eine unverzichtbare Voraussetzung in Hinblick auf die Gewährleistung von ausreichenden Festigkeiten (siehe hierzu auch Abschnitt "Leistungs- und Mindestanforderungen an die Herstellung"). Dies gilt umso mehr, als daß die produktionsabhängigen Faktoren sich gegenseitig beeinflussen und oftmals kaum zu steuern sind.

Hintergründe der CEN-Bestimmungen

In prEN 1194 werden Gleichungen zur Berechnung der mechanischen Eigenschaften von Brettschichtholz in Abhängigkeit von den Lamelleneigenschaften angegeben. Für einige wichtige Eigenschaften sind die derzeitigen Gleichungen in Tabelle 1 angegeben. Die angegebenen Gleichungen gelten hierbei für homogenes Brettschichtholz. Für kombiniertes Brettschichtholz gelten die Gleichungen für die Eigenschaften der verschiedenen Querschnittsteile.

Diese Gleichungen beziehen sich weiterhin auf Bauteile mit einer Höhe/Breite von 600 mm bei Zug- und Biegeträgern, beziehungsweise auf ein Referenzvolumen von 0,01 m³ bei querzugbeanspruchten Trägern. Wird von diesen Referenzmaßen abgewichen, so ist dies nach EC5 zu berücksichtigen. Man spricht in diesem Fall vom sogenannten Volumeneffekt, der berücksichtigt, daß die Festigkeit eines Materials mit zunehmenden Bauteilabmessungen abnimmt (siehe auch STEP B1).

Eigenschaft		Gleichung nach prEN 1194
Biegefestigkeit	(N/mm ²)	$f_{m,g,k} = 12 + f_{t,0,l,k}$
Zugfestigkeit	(N/mm ²)	
parallel zur Faserrichtung		$f_{t,90,g,k} = 9 + 0,75 f_{t,0,l,k}$
rechtwinklig zur Faserrichtung		$f_{t,90,g,k} = 1,15 f_{t,90,l,k}$
Druckfestigkeit	(N/mm ²)	
parallel zur Faserrichtung		$f_{c,0,g,k} = (1,5 - 0,01 f_{c,0,l,k}) f_{c,0,l,k}$
Rohdichte	(kg/m ³)	$\rho_{g,k} = 0,95 \rho_{t,mean}$

Tabelle 1 Einige mechanische Eigenschaften von Brettschichtholz.

Die Abhängigkeit der *Brettschichtholz-Biegefestigkeit* von der Zugfestigkeit der Lamellen wird über eine empirische Beziehung erfaßt, die auf der Grundlage von Versuchen und analytischen Untersuchungen ermittelt wurde. Für übliche Lamellenqualitäten ist auf der Grundlage dieser Beziehung zu erwarten, daß die charakteristische Biegefestigkeit von Brettschichtholzträgern etwa 40 bis 90% höher ist als die charakteristische Zugfestigkeit der Lamellen. Dies kann - wie von Colling & Falk (1993) beschrieben - mit verschiedenen Laminierungseffekten erklärt werden. Die wichtigsten sind nachfolgend erläutert:

- das Tragverhalten einer Lamelle in einem Standard-Zugversuch unterscheidet sich von dem einer Lamelle in einem Brettschichtholzträger. Das in prEN 408 "Holzbauwerke - Bauholz für tragende Zwecke und Brettschichtholz - Bestimmung einiger physikalischer und mechanischer Eigenschaften" festgelegte Prüfverfahren zur Bestimmung der Zugfestigkeit sieht eine bestimmte Mindestprüflänge vor und bietet dem Prüfkörper keinerlei seitlichen Halt. Somit können exzentrisch gelegene Äste oder Bereiche mit unsymmetrischer Dichteverteilung seitliche Verformungen und somit auch zusätzliche Biegemomente verursachen, die die Zugfestigkeit der Lamellen herabsetzen. In einem Brettschichtholzträger jedoch werden die Lamellen durch die verleimten benachbarten Lamellen gehalten, so daß eine Lamelle in einem Brettschichtholzträger eine scheinbar höhere Zugfestigkeit besitzt als in einem freien Zugversuch;
- durch das Verleimen der Lamellen besteht für Bereiche mit geringer Steifigkeit die Möglichkeit, Kräfte an die steiferen Nachbarlamellen abzugeben. Hierdurch werden z.B. Brettabschnitte mit Ästen entlastet, was wiederum einer scheinbaren Erhöhung der Zugfestigkeit gleichkommt.

Die gleichen Effekte treten bei Brettschichtholzträgern auf, die einer *Zug- oder Druckbeanspruchung parallel* zur Faserrichtung des Holzes ausgesetzt sind. Somit sind auch hier die entsprechenden Festigkeitswerte für Brettschichtholz höher als für die Einzellamellen. Die charakteristische Zugfestigkeit wurde dabei zu 75% der charakteristischen Biegefestigkeit angenommen. Für druckbeanspruchte Bauteile siehe auch STEP B6.

Im Falle von gekrümmten Trägern treten durch die vorhandenen Umlenkkräfte Spannungen senkrecht zur Faserrichtung auf (siehe auch STEP B8). Hierbei sind die *Querzugspannungen* von vorrangiger Bedeutung, da die Zugfestigkeit senkrecht zur Faserrichtung viel geringer ist als die parallel zur Faserrichtung. Die Querzugfestigkeit von Brettschichtholz wird dabei höher angesetzt als für Vollholz, was mit den in Brettschichtholzträgern auftretenden kleineren Rissen zu erklären ist.

Der Aufbau von Brettschichtholz aus Einzellamellen führt zu einem homogenen Material mit geringer Streuung der zugehörigen *Rohdichte*. Daher sind auch die für Brettschichtholz angegebenen Rohdichtewerte größer als die der Einzellamellen.

Festigkeitsklassen

siehe auch NAD

In prEN 1194 werden fünf Festigkeitsklassen angegeben (siehe Tabelle 2). Die zur Erfüllung der dort angegebenen Eigenschaften erforderlichen Lamellenqualitäten können mit Hilfe der in Tabelle 1 angegebenen Gleichungen rückgerechnet werden.

Festigkeitsklasse		GL 20	GL 24	GL 28	GL 32	GL 36
$f_{m,g,k}$	(N/mm^2)	20	24	28	32	36
$f_{t,0,g,k}$	(N/mm^2)	15	18	21	24	27
$f_{t,90,g,k}$	(N/mm^2)	0,35	0,35	0,45	0,45	0,45
$f_{c,0,g,k}$	(N/mm^2)	21	24	27	29	31
$f_{c,90,g,k}$	(N/mm^2)	5,0	5,5	6,0	6,0	6,3
$f_{v,g,k}$	(N/mm^2)	2,8	2,8	3,0	3,5	3,5
$E_{0,mean,g}$	(N/mm^2)	10 000	11 000	12 000	13 500	14 500
$E_{0,05,g}$	(N/mm^2)	8 000	8 800	9 600	10 800	11 600
$\rho_{g,k}$	(kg/m^3)	360	380	410	440	480

Tabelle 2 Festigkeitsklassen für Brettschichtholz.

Im Falle von homogenen Brettschichtholzträgern kann die Bemessung wie gewohnt nach EC5 durchgeführt werden.

Im Falle von kombiniertem Brettschichtholz jedoch, wird eine Bemessung auf der Grundlage der Theorie der Verbundquerschnitte unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Lamelleneigenschaften (Festigkeit und Steifigkeit) gefordert. Die Nachweise sind dabei an allen maßgebenden Stellen des Querschnittes zu führen.

Festigkeitsklasse	GL 20	GL 24	GL 28	GL 32	GL 36
Homogenes Brettschichtholz					
<i>sämtliche Lamellen</i>	C 18	C 22	C 27	C 35	C 40
Kombiniertes Brettschichtholz ¹					
<i>äußere Lamellen</i>	C 22	C 24	C 30	C 35	C 40
<i>innere Lamellen</i>	C 16	C 18	C 22	C 27	C 35

¹ Die Anforderungen an die äußeren Lamellen gelten für jeweils 1/6 der Trägerhöhe auf beiden Seiten, mindestens jedoch für zwei Lamellen

Tabelle 3 Beispiele von Trägeraufbauten.

Da jedoch die Bemessung von Verbundquerschnitten mit einem hohen Arbeitsaufwand verbunden ist, werden verschiedene Trägeraufbauten mit Lamellen nach prEN 338 "Bauholz für tragende Zwecke - Festigkeitsklassen" angegeben, die ohne weiteren Nachweis die Eigenschaften nach Tabelle 2 erfüllen. Für diese in Tabelle 3 angegebenen Träger darf die Bemessung somit wie für homogene Träger durchgeführt werden.

Zusammenfassung

- Brettschichtholz ist ein hochwertiger Ingenieurbaustoff, der viele Vorteile gegenüber dem Vollholz besitzt.
- Von vorrangiger Bedeutung für die Tragfähigkeit von Brettschichtholz ist die Festigkeitssortierung der Lamellen, die Qualität der Keilzinkungen sowie die Leimfugengüte.
- Die maschinelle Holzsortierung auf der Grundlage der Rohdichte und des Elastizitätsmoduls ist der Schlüssel für hochwertiges Brettschichtholz.

Literatur

Colling, F. (1990a). Tragfähigkeit von Biegeträgern aus Brettschichtholz in Abhängigkeit von den festigkeitsrelevanten Einflußgrößen. Dissertation, Universität Karlsruhe, Deutschland.

Colling, F. (1990b). Bending strength of glulam beams - a statistical model. In: Proc. of the IUFRO S5.02 Meeting, St. John, Canada.

Colling, F. and Falk, R. (1993). An investigation of laminating effects in glued laminated timber. In: Proc. of the CIB-W18 Meeting, Athens, USA.