

BRETTSCHICHTHOLZ AUS LAUBHOLZ: MARKTIMPLEMENTIERUNG ALS BAUPRODUKT

**Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung
Projekt 2011.17**

René Steiger
Andrea Frangi

Empa, Abt. Ingenieur-Strukturen
ETH Zürich, Institut für Baustatik und
Konstruktion

Peter Kobel

ETH Zürich, Institut für Baustatik und
Konstruktion

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Zusammenfassung und Abstract	7
1.1 Zusammenfassung	7
1.2 Abstract	8
2. Einleitung	9
2.1 Problembeschreibung	9
2.2 Resultierender Dokumentationsbedarf	9
2.3 Ziele des Projekts	10
2.4 Projektauflage durch den WHFF	11
2.5 Projektorganisation	11
2.6 Literatur zur Kapitel 2	11
3. Europäische und nationale Normierung	13
3.1 Stellenwert von technischen Normen	13
3.2 Europäische Normen	14
3.2.1 Rechtliche Grundlagen	14
3.2.2 Europäische Harmonisierung im Bauwesen	14
3.2.3 Die EU-Bauproduktenrichtlinie	14
3.2.4 Das CEN-Normenwerk	16
3.2.5 EOTA-Leitlinien für europäische technische Zulassungen	16
3.3 Schweizer Bauprodukteerlasse	17
3.4 Der SIA als Herausgeber von Normen	19
3.4.1 Systematik des SIA-Normenwerks	20
3.4.2 Erarbeitung und Pflege der SIA-Normen	21
3.4.3 SIA-Normen im nationalen und internationalen Umfeld	22
3.5 SIA-Tragwerksnormen	23
3.5.1 Philosophie bei der Erarbeitung von SIA-Tragwerksnormen	23
3.5.2 Massgebende SIA-Normen für die Planung von Holztragwerken	23
3.5.3 Zukunft der SIA-Tragwerksnormen	24
3.6 Literatur zu Kapitel 3	25
4. Normierung von Brettschichtholz aus Laubholz	27
4.1 BSH aus Nadelholz als Richtschnur	27
4.2 Situation Europa	27
4.2.1 Massgebende Normen	27
4.2.2 Querschnittsaufbauten	27
4.2.3 Festigkeitsklassen	27
4.2.4 Charakteristische Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften sowie Rohdichten	27
4.2.5 Anforderungen an das Rohmaterial und Bereitstellung desselben	29
4.2.6 Anforderungen an die Keilzinkenstösse	31
4.2.7 Anforderungen an die Flächenverklebung	32

4.2.8	Weitere Anforderungen	32
4.2.9	Mindestanforderungen an die Produktion	32
4.2.10	Qualitätskontrolle	33
4.3	Situation Schweiz	33
4.3.1	Massgebende Normen	33
4.3.2	Querschnittsaufbauten, Festigkeitsklassen und Bemessungswerte	33
4.3.3	Anforderungen an die Produktion von BSH und an das Produkt	35
4.3.4	Unterschied zur Situation Europa	35
4.4	Literatur zu Kapitel 4	35
5.	Normierung von Vollholz für tragende Zwecke	37
5.1	Situation Europa	37
5.1.1	Massgebende Normen	37
5.1.2	Einteilung in Festigkeitsklassen	37
5.1.3	Festigkeitssortierung	38
5.2	Situation Schweiz	42
5.2.1	Massgebende Normen	42
5.2.2	Festigkeitsklassen und Bemessungswerte	42
5.2.3	Festigkeitssortierung	43
5.2.4	Unterschied zur Situation Europa	44
5.3	Literatur zu Kapitel 5	44
6.	Ausgeführte Bauwerke mit BSH aus Laubholz	47
6.1	Einleitung	47
6.2	Seeparksaal Arbon	47
6.3	Dörflibrücke Eggiwil	48
6.4	Ökonomiegebäude Lauenen	48
6.5	„Portal“ Arosa	49
6.6	Sporthalle Sargans	50
6.7	Literatur zu Kapitel 6	51
7.	Wissenschaftliche Untersuchungen zu Vollholz und zu Brettschichtholz aus Laubholz	53
7.1	Bereitstellung des Rohmaterials	53
7.1.1	Kantholz	53
7.1.2	Bretter	55
7.1.3	Fazit „Rohmaterial“	56
7.2	Keilzinkenverbindung von Brettern	57
7.2.1	Buche	57
7.2.2	Esche	60
7.2.3	Eiche	60
7.2.4	Fazit „Keilzinkung“	60
7.3	Flächenverklebung von Lamellen	61
7.3.1	Buche	61
7.3.2	Esche	64

7.3.3	Eiche und Robinie	64
7.3.4	Fazit „Flächenverklebung“	64
7.4	Mechanische Eigenschaften von BSH aus Laubholz	65
7.4.1	Biegung	65
7.4.2	Schub	68
7.4.3	Zug und Druck parallel zur Faser	69
7.4.4	Zug und Druck rechtwinklig zur Faser	69
7.4.5	Fazit „Mechanische Eigenschaften von BSH aus Laubholz“	69
7.5	Einfluss der Holzfeuchte	70
7.5.1	Querschnittsverformungen	70
7.5.2	Dauerhaftigkeit	71
7.5.3	Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften	72
7.5.4	Fazit „Einfluss der Holzfeuchte“	72
7.6	Einfluss der Dauer der Einwirkung und der Temperatur	72
7.7	Einfluss des Bauteilvolumens	72
7.7.1	Biegung	72
7.7.2	Schub	73
7.7.3	Fazit „Einfluss des Bauteilvolumens“	73
7.8	Einfluss von Rotkern bei Buche	73
7.9	Literatur zu Kapitel 7	74
8.	Wissenslücken	77
8.1	Festigkeitssortierung des Rohmaterials (Vollholz und Bretter)	77
8.2	Keilzinkenverbindung von Brettern	77
8.3	Flächenverklebung von Lamellen	77
8.4	Mechanische Eigenschaften von Brettschichtholz aus Laubholz	78
8.5	Einfluss der Holzfeuchte	78
8.6	Einfluss der Dauer der Einwirkung	78
8.7	Einfluss des Bauteilvolumens	78
8.8	Verbindungen	78
8.9	Literatur zu Kapitel 8	79
9.	Implementierung von BSH aus Laubholz als Bauprodukt	81
9.1	Generelle Anforderungen an Bauprodukte	81
9.2	Anforderungen an das Bauprodukt BSH	82
9.3	Implementierung als Bauprodukt im Europäischen Wirtschaftsraum	83
9.4	Implementierung als Bauprodukt in der Schweiz	85
9.4.1	Voraussetzungen	85
9.4.2	Implementierung auf Basis einer technischen Norm	85
9.4.3	Implementierung auf Basis einer technischen Zulassungen	85
9.4.4	Implementierung auf Basis „entsprechender Regeln der Technik“	86
9.5	Fazit / Vergleich der Möglichkeiten	86
9.6	Literatur zu Kapitel 9	87
10.	Schlussfolgerungen	89

1. Zusammenfassung und Abstract

1.1 Zusammenfassung

Laubholz eignet sich auf Grund seiner Leistungsfähigkeit was die mechanischen Eigenschaften betrifft sehr gut für Bauzwecke. Dies belegen u.a. auch mehrere kürzlich in der Schweiz erstellte Bauwerke, bei denen Brettschichtholz (BSH) aus Buche und aus Esche tragend im Hochlastbereich eingesetzt wurde. Um die Anwendung von BSH im Baubereich weiter zu fördern, werden in den Baunormen, welche die Grundlage für die Planung von Tragwerken bilden, Angaben für die Bemessung von Bauteilen aus Laubholz-BSH benötigt. An diesem Punkt setzt die vorliegende Studie „BSH aus Laubholz: Marktimplementierung als Bauprodukt“ an. Sie formuliert Antworten auf folgende Fragen:

- Welche Ingenieurtragwerke wurden mit BSH aus Laubholz bisher ausgeführt?
- Welche normativen Grundlagen und/oder Zulassungsvorschriften zur Produktion von BSH aus Laubholz und zur Projektierung von Bauten mit diesem Baustoff gibt es national und international? Welche Angaben fehlen?
- Was sind die Anforderungen an die Normierung von BSH aus Laubholz als Bauprodukt? Inwiefern können/müssen die vom BSH aus Nadelholz her bekannten Vorschriften übertragen werden?
- Welche Wege der Normierung von BSH aus Laubholz gibt es für dessen Einsatz als Bauprodukt auf dem nationalen und dem internationalen Markt?

Auf Wunsch des WHFF wurde im Rahmen der Studie auch die Frage bearbeitet, ob die in der Tabelle 6 "Kennzeichnende Eigenschaften und Bemessungswerte für Vollholz" der Norm SIA 265:2012 angegebenen Werte für Eiche und Buche auch für anderes Laubholz z. B. Esche gelten.

Basierend auf einer Auslegeordnung zum Stand der europäischen und nationalen Normierung im Allgemeinen und für BSH und Vollholz aus Laubholz im Besonderen, zu ausgeführten Bauwerken, zu vorhandenen wissenschaftlichen Untersuchungen, zu Wissenslücken und zu Möglichkeiten der Implementierung von Laubholz-Produkten auf dem Markt wurden die folgenden Feststellungen gemacht:

- BSH aus Laubholz ist ein Bauprodukt. Als solches muss es sämtliche Bedingungen erfüllen, welche an ein Bauwerk gestellt werden, dessen Bestandteil das Laubholz-BSH-Bauteil ist, nämlich je nach Einsatzzweck Anforderungen an die mechanische Festigkeit und Standsicherheit, den Brandschutz, an Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz, an die Nutzungssicherheit, an den Schallschutz und an die Energieeinsparung und den Wärmeschutz. Daher kann das bereits bekannte Bauprodukt BSH aus Nadelholz als Richtschnur für die Marktimplementierung von BSH aus Laubholz dienen. Beide Baustoffe müssen als Teile von Tragwerken letztlich die gleiche Zuverlässigkeit in der Erfüllung der Anforderungen an die Tragsicherheit, die Gebrauchstauglichkeit und die Dauerhaftigkeit aufweisen. Der Produzent muss durch ein Qualitätssicherungssystem basierend auf einer fremdkontrollierten Eigenüberwachung belegen können, dass sein Produkt die deklarierten Eigenschaften (z.B. eine bestimmte Festigkeitsklasse) aufweist.
- Eine Europäische Produktnorm (EN) für BSH aus Laubholz gibt es zurzeit noch nicht; im CEN/TC 124 hat man kürzlich entsprechende Arbeiten in Angriff genommen. Für eine Marktimplementierung von BSH aus Laubholz im Europäischen Markt bzw. im weiteren Ausland steht daher der Weg über eine Europäische technische Zulassung im Vordergrund. Die Instrumente Europäische technische Zulassung und Europäische Produktnorm (EN) sind grundsätzlich auch für die Marktimplementierung von Laubholz-BSH in der Schweiz geeignet. Es wäre gar naheliegend, direkt eine Export-taugliche Lösung anzustreben. In der Schweiz wäre es jedoch auch möglich, Laubholz-BSH ohne eine technische Zulassung einzusetzen. Die für die Bemessung solcher Bauteile nötigen Bemessungswerte der mechanischen Eigenschaften könnten in das SIA-Normenwerk eingebaut werden. Ein erster Schritt dazu, wäre z.B. die Erarbeitung eines SIA-Merkblatts. Trotzdem bleibt die Verantwortung für die Gewährleistung der deklarierten Produkteigenschaften und die Qualitätssicherung weiterhin beim Produzenten. Eine einfache Variante, dieser Verantwortung gerecht zu werden, wäre die Ergänzung der bereits für die Qualitätssicherung von BSH aus Nadelholz vorhandenen Richtlinien der Schweizerischen Fachgemeinschaft Holzleimbau SFH mit Regeln für die Produktion von BSH aus Laubholz.

- Es sind bereits zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen zu BSH aus Laubholz vorhanden. Diese beschäftigten sich mit der Bereitstellung, Sortierung und Festigkeit des Rohmaterials, dessen Formstabilität bei Holzfeuchteänderungen, der Keilzinkung von Brettern, der Flächenverklebung von Lamellen und mit dem Einfluss von Rotkern bei Buche. Es sind allerdings noch zahlreiche Wissenslücken vorhanden, z.B. in den Bereichen: Festigkeitssortierung des Rohmaterials (Verbesserung der visuellen Sortierung, Anwendung geeigneter apparativer Methoden, Entwicklung von Sortiermaschinen), Festigkeitsklassen für Laubholz (Optimierung der Profile der kennzeichnenden Eigenschaften für Laubholz in der EN 338), Keilzinkung von Brettern (Entwicklung von optimierten Keilzinkengeometrien, Vergleich von Zug- und Biegeprüfung von Keilzinkenstössen), Keilzinkung und Flächenverklebung von Esche, Prüfverfahren im Rahmen der Qualitätskontrolle der Klebfugen, Flächenverklebung (maximale Lamellendicke, optimaler Pressdruck), Normierung geeigneter Prüfverfahren zur Bestimmung der Schubfestigkeit, Volumeneinfluss (insb. für Schub), abgeleitete Festigkeitseigenschaften (Zug- und Druckfestigkeiten parallel und senkrecht zur Faserrichtung), hochfeste Träger >GL48, Optimierung von Querschnittsaufbauten (kombinierte und hybride Träger), Einfluss der Holzfeuchte, der Einwirkungsdauer und der Temperatur auf die Festigkeit und Steifigkeit, Kriechverhalten, Verifizierung von Bemessungsansätzen für ausgewählte Verbindungsmittel in Laubholz.
- Die Bemessungswerte und mechanischen Eigenschaften von Laub-Vollholz in Tabelle 6 der Norm SIA 265:2009 gelten vornehmlich für die Holzarten Eiche und Buche. Die Werte können jedoch auch für andere Laubholzarten verwendet werden, welche die Bedingungen zur Einteilung in die Festigkeitsklasse D30 erfüllen, d.h. bei einer dem Umgebungsklima von 20°C und 65% relativer Luftfeuchte entsprechenden Holzfeuchte charakteristische Werte der Biegefestigkeit (5%-Fraktilwert) von mindestens 30 N/mm², des Biege-E-Moduls (Mittelwert) von mindestens 10'000 N/mm² und der Rohdichte von mindestens 530 kg/m³ aufweisen. Die Erfüllung dieser Anforderungen kann mittels Versuchen unter Normbedingungen (EN 384 und EN 408) an einer repräsentativen Stichprobe gezeigt werden. Man könnte auch eine Sortiernorm verwenden, von der man (auf Grund von wissenschaftlichen Untersuchungen oder Erfahrung) weiss, dass sie geeignet ist, das Holz zuverlässig zu klassieren. Es gibt jedoch zurzeit nur eine einzige für die Schweiz anwendbare Sortiernorm für Laub-Vollholz in Europa, die DIN 4074-5. Mit dieser Norm ist die Sortierung und Klassierung von Buche (in die Klassen D35 und D40), von Eiche (Klasse D30), Ahorn (Klasse D30) und Esche (Klasse D40) möglich. Mit einer rein visuellen Sortierung wird allerdings das Potential von Laub-Vollholz nicht ausgeschöpft und ist es ist daher angezeigt, maschinelle Verfahren und Sortiermaschinen zu entwickeln bzw. aus dem Nadelholzbereich adaptiert zu übernehmen, um eine Einstufung von Laub-Vollholz in höhere Festigkeitsklassen (bis D70 wäre möglich) vornehmen zu können.

1.2 Abstract

Die Studie zur Marktimplementierung von BSH aus Laubholz ergab, dass sich dieses Bauprodukt wie BSH aus Nadelholz auf den Markt bringen lässt. Die Verantwortung für die Konformität des Produktes mit den deklarierten Eigenschaften liegt beim Produzenten. Mangels Vorliegen einer europäischen Produktnorm bleibt momentan nur der Weg über eine europäische technische Zulassung. Für eine Vermarktung in der Schweiz bietet sich die Möglichkeit der Aufnahme von Bemessungswerten und mechanischen Eigenschaften in das SIA-Normenwerk, z.B. in Form eines Merkblatts, und von entsprechenden Anforderungen an die Qualitätssicherung und -kontrolle in die BSH-Richtlinien der Schweizerischen Fachgemeinschaft Holzleimbau SFH. Zu diesem Zweck sind allerdings noch einige Wissenslücken, z.B. in den Bereichen Rohmaterialbereitstellung (Festigkeitssortierung), Normierung (Festigkeitsprofil der EN 338-Laubholzklassen, Prüfung der Keilzinkungen und der Klebfugen, Prüfkongfiguration für Schub, Anforderungen an die Qualitätssicherung und -kontrolle), Einfluss von Volumen, Holzfeuchte und Dauer der Einwirkung auf Festigkeit und Steifigkeit, zu schliessen.

Die in der Norm SIA 265:2012, Tabelle 6 für Buche und Eiche tabellierten Angaben können auch für andere Laubholzarten verwendet werden, welche auf Grund ihrer charakteristischen Werte der Biegefestigkeit, des Biege-E-Moduls und der Rohdichte in die Klasse D30 eingeteilt werden können. Die zurzeit vorhandene Sortiernorm DIN 4074-5, welche mittlerweile auch in der Schweiz verwendet wird erlaubt die Klassierung von Buche (in die Klassen D35 und D40), Eiche (D30), Ahorn (D30) und Esche (D40). Erst bei Weiterentwicklung der Festigkeitssortierung kann das vorhandene Potential des Laubholzes (insb. Esche und Buche) vollumfänglich genutzt werden.

2. Einleitung

2.1 Problembeschreibung

Das Bauen mit Holz hat sich erfreulicherweise in der Schweiz sehr gut entwickelt. Eine weitere Zunahme des Einsatzes von Holz im Ingenieurbau verlangt aus Gründen der Konkurrenz zu anderen Baustoffen wie insb. Stahl nach zuverlässigen Produkten hoher Leistung, insbesondere was die Steifigkeit und Festigkeit betrifft. Neben festigkeitssortierten Nadel-Vollholzsortimenten und daraus produziertem Brettschichtholz (BSH), bietet Laubholz (insb. Buche und Esche) eine zusätzliche Möglichkeit, diesen Anforderungen gerecht zu werden.

Das grosse Potential von Laubholz zum Einsatz in hochbeanspruchten Tragwerken ist schon lange bekannt. Als Beispiele seien die Arbeiten von Egner / Kolb [1] und Gehri [2, 3] genannt, in denen die Verklebbarkeit und der Gewinn an Tragwiderstand und Steifigkeit von Bauteilen und Verbindungen gegenüber Nadelholz aufgezeigt wurde. Trotzdem wurde insbesondere Buchenholz weiterhin mehrheitlich als Energielieferant und in der Möbel- und Spielzeugproduktion eingesetzt. Nachdem immer wieder Einzelaktivitäten zur Förderung der Verwendung von Laubholz für tragende Zwecke erfolgten, finanzierte das BAFU in der Periode 2009 – 2012 im Rahmen eines der Schwerpunkte des Aktionsplans Holz Projekte, welche die Förderung der baulichen Verwertung des in Wäldern des Schweizer Mittellandes in grossem Angebot zur Verfügung stehenden Laubholzes insb. der Buche, Esche und Eiche zum Ziel hatten [4]. Erste Resultate aus einer umfangreichen Studie zur Verwendung von Laubholz wurden 2011 veröffentlicht [5-8].

Dass Laubholz für bauliche Zwecke im Ingenieurbau durchaus erfolgreich eingesetzt werden kann, wurde in neuester Zeit mehrfach bewiesen. Beispielhaft sind hier die 2010 fertiggestellte Dachkonstruktion des Skischulzentrums in Arosa, GR mit BSH-Trägern aus Eschenholz [9] und das 2011 eingeweihte Ökonomiegebäude in Lauenen, BE mit BSH-Trägern aus Buchenholz [10-13] erwähnt. Die gesamte Palette der Möglichkeiten mit Laubholz wurde auch in einem im Rahmen des Aktionsplans Holz ausgeschriebenen Laubholz-Wettbewerb [4] deutlich, bei dem insgesamt 63 Projekte eingereicht und 7 prämiert wurden.

Auf Basis der erfolgreichen oben erwähnten Laubholz-Bauten in Arosa und Lauenen der „neuen Holzbau AG (n'H)“, Lungern reichten das BAFU, die Schweizerische Fachgemeinschaft Holzleimbau SFH und das Ingenieurbüro Timbatec GmbH, Steffisburg im Rahmen der Vernehmlassung der Teilrevision der Norm SIA 265 Holzbau [14] im April 2011 den Antrag ein, Angaben zur Bemessung von BSH aus Laubholz in die Schweizer Holzbau-Norm aufzunehmen. In ihrer Antwort an die Interpellanten brachte die Normenkommission (NK) SIA 265 zum Ausdruck, dass sie das Anliegen nach einer Normierung von BSH aus Laubholz als berechtigt erachtet und zeigte mögliche Wege auf, diesem Anliegen gerecht zu werden. Als Resultat wurde beim Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung ein Projektantrag eingereicht, mit dem Ziel, die Voraussetzungen und Möglichkeiten für eine Marktimplementierung von BSH aus Laubholz als normiertes Bauprodukt abzuklären.

2.2 Resultierender Dokumentationsbedarf

Aus der eingangs formulierten Fragestellung und dem aus einer ersten Sichtung der vorhandenen Unterlagen erkennbaren Wissensstand liessen sich die folgenden Punkte eruieren, welche im Rahmen des Projekts untersucht werden sollten:

- Welche Ingenieurtragwerke wurden mit BSH aus Laubholz bisher ausgeführt?
- Welche normativen Grundlagen und/oder Zulassungsvorschriften zur Produktion von BSH aus Laubholz und zur Projektierung von Bauten mit diesem Baustoff gibt es national und international? Welche Angaben fehlen?
- Was sind die Anforderungen an die Normierung von BSH aus Laubholz als Bauprodukt? Inwiefern können/müssen die vom BSH aus Nadelholz her bekannten Vorschriften übertragen werden?
- Welche Wege der Normierung von BSH aus Laubholz gibt es für dessen Einsatz als Bauprodukt auf dem nationalen und dem internationalen Markt?

2.3 Ziele des Projekts

Zielsetzung des Projektes ist die Beschreibung des State-of-the-Art zum Thema BSH aus Laubholz. Im Rahmen des Projekts sollen die folgenden Themenkreise untersucht werden:

1. Themenkreis „Nationale und internationale Normierung“

Welche Normen, Normanforderungen und Produktionsvorschriften gibt es zu den Themen:

- Rohmaterial (Festigkeitssortierung, Abmessungen, Holzfeuchte, Masshaltigkeit, etc.)?
- Längsstöße der Bretter (Keilzinkengeometrie, Klebstoffe, Pressdruck, Qualitätskontrollen, etc.)?
- Flächenverklebung der Lamellen (Klebstoffe, Pressdruck, Presszeit, Qualitätskontrollen, etc.)?
- BSH (Festigkeitsklassen, Querschnittsaufbauten, charakteristische bzw. Bemessungswerte, Anforderungen an die Lamellen- und Keilzinkenfestigkeit, Anforderungen an die Lamellensteifigkeit, Masshaltigkeit, etc.)?

2. Themenkreis „Vergleich mit BSH aus Nadelholz“

Welche Anforderungen werden an die Produktion von BSH aus Nadelholz gestellt bezüglich:

- Rohmaterial?
- Längsstöße der Bretter?
- Flächenverklebung der Lamellen?
- BSH?
- Qualitätskontrolle?

Welche Festigkeitsklassen werden national und international eingesetzt?

Welches sind die entsprechenden Bemessungswerte?

3. Themenkreis „Vorliegende Wissenslage / Identifikation von Wissenslücken“

Ausgeführte Bauwerke mit BSH aus Laubholz?

Review von experimentellen und numerischen Untersuchungen zur:

- Auswahl, Festigkeitssortierung und Qualitätskontrolle des Rohmaterials
- Keilzinkenverbindung der Bretter
- Flächenverklebung der Lamellen
- Mechanische Eigenschaften des BSH (Elastizitäts- und Schubmodul, Biege- und Schubfestigkeit, Zug- und Druckfestigkeit parallel und senkrecht zur Faser)
- Einfluss der Holzfeuchte auf die Dauerhaftigkeit, Masshaltigkeit und die mechanischen Eigenschaften
- Einfluss der Dauer der Einwirkung auf die mechanischen Eigenschaften (Duration of load effect, DOL)
- Einfluss des Bauteilvolumens auf die mechanischen Eigenschaften
- Wissenslücken

4. Themenkreis „Normierung von BSH aus Laubholz“

Anforderungen an ein Bauprodukt

Aufzeigen von möglichen Wegen (inkl. Vor- und Nachteilen) zur nationalen und internationalen Implementierung von BSH aus Laubholz als Bauprodukt

5. Themenkreis „Ausfüllen der Wissenslücken“

- Vorschläge für massgebende Forschungsthemen.

2.4 Projektauflage durch den WHFF

Im Entscheid Forschungskoordinationsgremiums des WHFF vom 8. Dezember 2011 wurde als Projektauflage gewünscht, dass die Untersuchung sich nicht nur auf BSH beschränken sollte, sondern auf Massivbauteile ausgedehnt werden sollte.

Auf Rückfrage des Projektteams wurde die Auflage mit Email vom 12. Dezember 2011 wie folgt präzisiert:

Die Tabelle 6 "Kennzeichnende Eigenschaften und Bemessungswerte für Vollholz" in der Norm SIA 265 gibt Werte für Eiche und Buche an, lässt aber offen, ob damit auch anderes Laubholz z. B. Esche abgedeckt wird. Möglicherweise bezieht sich die SIA-Norm an dieser Stelle auf die EN 338. Dann wäre sämtliches Laubholz abgedeckt. Das Projekt sollte deshalb zusätzlich beantworten, ob die in der Norm SIA 265 aufgeführte Vollholz-Klasse lediglich Buche und Eiche abdeckt. Wenn dies so ist, sollte das Projekt auf die anderen im Bau eingesetzten Vollholzprodukte aus den Laubholzarten Esche, Kastanie, Birke etc. ausgedehnt werden.

Dieser Bericht enthält daher auch ein Kapitel (5) zum Thema „Normierung von Laub-Vollholz für tragende Zwecke“.

2.5 Projektorganisation

Das Projekt wurde gemeinsam durch die Abteilung Ingenieurstrukturen der Empa (Dr. René Steiger) und das Institut für Baustatik und Konstruktion der ETH Zürich (Prof. Dr. Andrea Frangi und Dipl. Bauing. ETH Peter Kobel) bearbeitet. Die Projektleitung lag bei der Empa.

2.6 Literatur zu Kapitel 2

1. Egner K., Kolb H. 1966: Geleimte Träger und Binder aus Buchenholz. Bauen mit Holz 68(4): 147-154.
2. Gehri E. 1908: Möglichkeiten des Einsatzes von Buchenholz für Tragkonstruktionen. Schweizer Bauwirtschaft 79(56): 14-18.
3. Gehri E. 1985: Verbindungstechniken mit hoher Leistungsfähigkeit - Stand und Entwicklung. Holz als Roh und Werkstoff 43(3): 83-88.
4. Bundesamt für Umwelt, BAFU 2011: Aktionsplan Holz. www.bafu.admin.ch/aktionsplan-holz
5. Krackler V., Keunecke D., Niemz P. 2010: Verarbeitung und Verwendungsmöglichkeiten von Laubholz und Laubholzresten. ETH Zürich, Institut für Baustoffe, Holzphysik.
6. Krackler V., Niemz P. 2011: Schwierigkeiten und Chancen in der Laubholzverarbeitung - Teil 1: Bestandessituation, Eigenschaften und Verarbeitung von Laubholz am Beispiel der Schweiz. Holztechnologie 52(2): 5-11.
7. Krackler V., Niemz P. 2011: Schwierigkeiten und Chancen in der Laubholzverarbeitung - Teil 2: Verwendungsmöglichkeiten von sägefähigem Laubholz. Holztechnologie 52(3): 5-10.
8. Krackler V., Niemz P. 2011: Schwierigkeiten und Chancen in der Laubholzverarbeitung - Teil 3: Verwendungsmöglichkeiten von Laubholzresten. Holztechnologie 52(4): 5-10.
9. Bogusch W. 2011: Entwicklungsschritt: Dachtragwerk mit BSH-Bindern aus Esche. Schweizer Holzbau 77(1): 6-11.
10. Abplanalp B. 2011: Schlussbericht Ökonomiegebäude Lauenen mit BSH aus Buchenholz (Pilotanwendung). Bundesamte für Umwelt, BAFU, Bern.
11. neue Holzbau AG, Lungern 2011: Flyer „Ökonomiegebäude Lauenen mit Buchen-BSH“.
12. Pirson L. 2011: Ein erstes Dach mit Buchen-Brettschichtholzbindern. Holz-Zentralblatt 137(31): 755.
13. Tschannen W. 2011: Ein Ökonomiegebäude mit Trägern aus Buchen-BSH. Wald und Holz 92(7): 34.
14. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, SIA 2003: Norm SIA 265 - Holzbau.

3. Europäische und nationale Normierung

Obwohl das Inverkehrbringen von Bauprodukten in der Schweiz nicht notwendiger Weise bzw. ausschliesslich nach europäischen Richtlinien zu erfolgen hat, ist die Kenntnis der Verflechtung von europäischen und nationalen Vorschriften von Interesse, wenn man die Möglichkeiten der Marktimplementierung von BSH aus Laubholz aufzeigen will.

Die Texte der folgenden Abschnitte wurden auszugsweise, jedoch unverändert aus [1] entnommen und wo nötig ergänzt. Einen guten Überblick über die aktuell gültigen Richtlinien und Erlasse erhält man auf der Webpage der Eidgenössischen Kommission für Bauprodukte des Bundesamtes für Bauten und Logistik BBL (www.bbl.admin.ch/baupk).

3.1 Stellenwert von technischen Normen [1]

Zur Einschätzung des Stellenwerts von technischen Normen kann die Definition des Begriffs „Normung“ dienen (gemäss „Der Grosse Brockhaus“):

Planmässige, durch interessierte Kreise gemeinschaftlich durchgeführte Vereinheitlichung von materiellen Gegenständen zum Nutzen der Allgemeinheit. Normung fördert die Rationalisierung und Qualitätssicherung in Wirtschaft, Technik, Wissenschaft und Verwaltung, dient einer sinnvollen Ordnung und der Information auf dem jeweiligen Normungsgebiet, schafft Klarheit zw. Lieferanten und Kunden, erleichtert Konstruktion, Fertigung und Instandhaltung, dient zur Verständigung in Wissenschaft und Technik und setzt Massstäbe für Qualität und Sicherheit.

In **technischer Hinsicht** (Sicherheit, Gebrauchstauglichkeit, Dauerhaftigkeit) ist die Bedeutung der Normen unbestritten. Schwieriger ist es, den **wirtschaftlichen Nutzen** der Normung zu beurteilen. Immerhin kommt die Studie „Der gesamtwirtschaftliche Nutzen der Normung“ [2], die in Deutschland, Österreich und der Schweiz parallel durchgeführt wurde, zum Schluss, dass Normen, welche den wirklichen Bedürfnissen der Praxis entsprechen, von beträchtlichem wirtschaftlichem Nutzen sind.

In **rechtlicher Hinsicht** gilt es den konzeptionellen Unterschied zwischen staatlichen Erlassen (Rechtsnormen) und privaten, technischen Normen festzuhalten:

Gesetze oder **technische Vorschriften** (Eisenbahngesetz, Seilbahnverordnung, Brandschutz, usw.) sind Spezifikationen öffentlich-rechtlicher Natur, die bei entsprechenden Bauvorhaben zwingend einzuhalten sind. Im Grundsatz müssen demgegenüber **technische Normen** nicht zwingend angewendet werden. Aus verschiedenen Gründen ist dieser Grundsatz jedoch zu relativieren. So können die Vertragsparteien einzelne Normen oder ganze Normengruppen vertraglich als verbindlich bezeichnen. Überdies hat eine gültige Norm wegen Artikel 58 (Haftung des Werkeigentümers) des schweizerischen Obligationenrechts (OR) eine starke, rechtliche Stellung. Technische Normen gelten als anerkannte Regeln der Baukunde. Stellt sich nach einem Schadenfall heraus, dass von gültigen Normen abgewichen wurde und stellt diese Abweichung eine massgebende Schadensursache dar, so liegt ein Verstoß vor.

Öffentliche Bauherren sind gemäss Artikel 12 des Bundesgesetzes über das öffentliche Beschaffungswesen (BoeB) verpflichtet, die zwingend anzuwendenden Normen für ein Bauvorhaben zu bezeichnen:

Bundesgesetz über das öffentliche Beschaffungswesen (BoeB):

Art 12 Technische Spezifikationen

1 Die Auftraggeberin bezeichnet die erforderlichen technischen Spezifikationen in den Ausschreibungs-, den Vergabe- und den Vertragsunterlagen.

2 Sie berücksichtigt dabei soweit als möglich internationale oder nationale Normen, die internationale Normen umsetzen.

Für **private Bauherren** gilt Vertragsfreiheit. Wie bereits erwähnt, unterliegen sie jedoch durch Artikel 58 des OR der Werkeigentümerhaftung. Es ist für sie angezeigt, sich an die anerkannten Regeln der Technik und somit an die gültigen technischen Normen zu halten.

3.2 Europäische Normen

3.2.1 Rechtliche Grundlagen [1]

In den Gründungsverträgen der europäischen Wirtschaftsgemeinschaft (EWG), den sogenannten Römer Verträgen von 1957, verpflichtet der Artikel 100 die EWG-Mitgliedstaaten dazu, Handelshemmnisse abzubauen und den freien Verkehr von Waren, Kapital und Dienstleistungen zu ermöglichen. Aus späteren Beschlüssen resultierte für das Bauwesen unter anderem die Europäische Bauproduktenrichtlinie, die vom EU-Ministerrat am 21. Dezember 1988 verabschiedet wurde.

3.2.2 Europäische Harmonisierung im Bauwesen [1]

Das Ziel der europäischen Harmonisierung im Bauwesen besteht in der Schaffung eines Binnenmarktes mit freiem Verkehr für Bauprodukte und Dienstleistungen. Dies soll durch die Erarbeitung des europäischen Regelwerks, bestehend aus der Bauproduktenrichtlinie der EU, den Grundlagendokumenten, den CEN-Normen und den EOTA-Leitlinien für technische Zulassungen, erreicht werden. Die Abbildung 3.1 zeigt die hierarchische Gliederung der technischen Bestimmungen für das europäische Bauwesen.

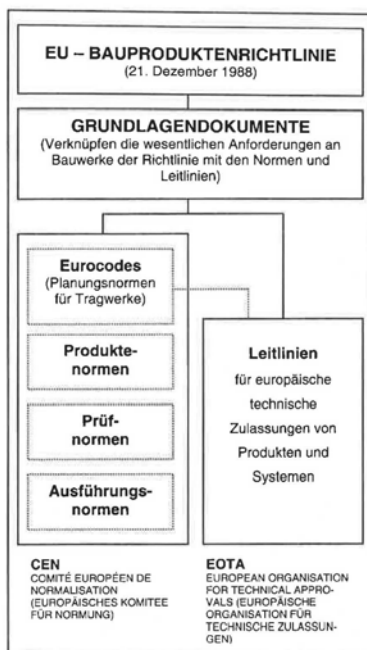


Abbildung 3.1: Hierarchische Gliederung der technischen Bestimmungen für das europäische Bauwesen [1]

3.2.3 Die EU-Bauproduktenrichtlinie [1]

Die EU-Bauproduktenrichtlinie [3] regelt einerseits das Inverkehrbringen von Bauprodukten (Harmonisierte Normen, europäische technische Zulassungen, Bescheinigung der Konformität) und legt andererseits im Anhang 1 auch die wesentlichen Anforderungen an Bauprodukte bzw. Bauwerke fest:

Mit den Bauprodukten müssen Bauwerke errichtet werden können, die (als Ganzes und in ihren Teilen) unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit gebrauchstauglich sind und hierbei die nachfolgend genannten wesentlichen Anforderungen erfüllen, sofern für die Bauwerke Regelungen gelten, die entsprechende Anforderungen enthalten. Diese Anforderungen müssen bei normaler Instandhaltung über einen wirtschaftlich angemessenen Zeitraum erfüllt werden. Die Anforderungen setzen normalerweise vorhersehbare Einwirkungen voraus.

Das Bauwerk muss derart entworfen und ausgeführt sein, dass ...

- *Mechanische Festigkeit und Standsicherheit*
- *Brandschutz*
- *Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz*
- *Nutzungssicherheit*
- *Schallschutz*
- *Energieeinsparung und Wärmeschutz*

gewährleistet sind.

Für die Bauprodukte selbst legt die Richtlinie in Artikel 2 fest, dass sie brauchbar sein müssen. Der Begriff der Brauchbarkeit existiert im technischen Normenwerk der Schweiz nicht. Hingegen wird er in den neuen Schweizer Bauprodukteerlassen verwendet (siehe 3.3). Dieser Begriff ist deshalb näher zu erläutern.

Als **brauchbar** gelten Bauprodukte, wenn bei ihrer Verwendung die Bauwerke bei ordnungsgemässer Planung und Bauausführung die genannten wesentlichen Anforderungen erfüllen können. Bei Bauprodukten, die harmonisierten Normen oder europäischen technischen Zulassungen entsprechen, ist die Brauchbarkeit gegeben. Die Konformität mit der technischen Spezifikation wird durch das CE-Zeichen belegt, das die Produkte tragen müssen [3].

Festgelegt werden von der EU-Kommission – nach zustimmendem Votum des Ständigen Ausschusses – in Form einer Entscheidung nach Artikel 249 des EG-Vertrages auch die Verfahren der Konformitätsbescheinigung für die einzelnen Produkte. Diese reichen von anspruchsvollen Verfahren der Zertifizierung der Produkte mit Stichprobenprüfung und laufender Überwachung durch fremde Stellen bis hin zu einer reinen Herstellererklärung der Konformität.

Wie in Abbildung 3.1 gezeigt, gibt es grundsätzlich zwei Wege, um die Brauchbarkeit eines Bauproduktes nachzuweisen. In den meisten Fällen sind die Anforderungen an ein Bauprodukt in einer **europäischen Norm (EN)** festgelegt. In einem Konformitätsbewertungsverfahren kann festgestellt werden, ob das Produkt der entsprechenden Norm entspricht. Bei Übereinstimmung kann es dann zertifiziert und mit dem **CE-Zeichen** versehen werden. In Normen sind nur solche Regeln aufzunehmen, die allgemein gebräuchliche und bewährte Produkte oder Verfahren beschreiben. Normen bilden damit den Grundstock des technischen Regelwerks.

Als zweiter Weg kann das Inverkehrbringen von Produkten und Systemen mittels einer **europäischen technischen Zulassung** erfolgen. Technische Regeln in Zulassungen behandeln Neues, bis anhin Ungeregeltes oder nur teilweise Geregeltes. Sie bauen häufig auf Normen auf. Ihre Bewährung in der Praxis ist zwar hinreichend wahrscheinlich, aber ihre Bewährung steht erst noch bevor.

Nach [4] kann zusammenfassend festgehalten werden:

Normen sind eher statischer Natur. Sie regeln einen bestimmten Stand der Technik. Zulassungen dagegen ermöglichen Innovation und das Sammeln von Erfahrungen mit bestimmten Regeln.

Normen regeln im Allgemeinen einen relativ breiten, Zulassungen einen eher enger angelegten Anwendungsbereich.

Im Zulassungsverfahren genügt daher auch die Befassung eines relativ kleinen Kreises von Fachleuten im Gegensatz zum Normungsbereich, der nicht ohne Grund die Befassung aller interessierten Kreise vorschreibt.

Norm und Zulassung ergänzen sich so auf sehr sinnvolle Weise.

Aller Erfahrung nach benötigt man zur Erarbeitung einer Norm wesentlich mehr Zeit als zur Erteilung einer Zulassung, weil nie durchweg unstrittig ist, was als Norm zu gelten hat.

3.2.4 Das CEN-Normenwerk [1]

Der Auftrag zur Ausarbeitung entsprechender Produktnormen wurde dem Europäischen Komitee für Normung (CEN) (www.cen.eu) erteilt. Beim CEN mit Sitz in Brüssel handelt es sich um eine privatrechtlich organisierte europäische Vereinigung, der die EU- und EFTA-Länder sowie assoziierte, angegliederte und korrespondierende Mitglieder angehören. Die Schweiz wird im CEN durch die Schweizerische Normenvereinigung (SNV) (www.snv.ch), die Dachorganisation des schweizerischen Normenschaffens, vertreten. Für den Bereich Bauwesen sind die Aufgaben an den Schweizerischen Ingenieur- und Architektenverein SIA (www.sia.ch) und den Schweizerischen Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (www.vss.ch) übergeben worden.

Die Arbeit wird in den Technischen Komitees (TC) mit Subkomitees (SC) und den eigentlichen Arbeitsgruppen oder Projektteams geleistet. Zurzeit existieren bei CEN über 300 TC, wovon 58 TC mit der Baunormung beschäftigt sind. Der SIA betreut 53 TC und der VSS deren 5. Im Bereich der Tragwerksnormen können beispielsweise folgende TC erwähnt werden:

- CEN / TC 250: Eurocodes
- ...
- CEN / TC 124: Holzbauwerke
- ...

Bei europäischen Normen unterscheidet man nach dem Bearbeitungsstand europäische Normenentwürfe (prEN), europäische Normen (EN), europäische Vornormenentwürfe (prENV) und europäische Vornormen (ENV). Europäische Normen entstehen nach gewichteter Abstimmung und Annahme in den Technischen Komitees (TC) und müssen von den CEN-Mitgliedern innerhalb einer bestimmten Frist in das nationale Regelwerk übernommen werden.

Eine europäische Vornorm ist wie eine nationale Vornorm lediglich eine beabsichtigte Norm, die vorläufig, in der Regel für höchstens drei Jahre, auf Probe angewendet werden soll. Die Übernahme von Vornormen in das nationale Regelwerk ist freiwillig und verpflichtet nicht zur Zurücknahme entsprechender nationaler Normen.

Es ist wichtig, kurz auf den Zusammenhang zwischen den Eurocodes und den Produktnormen einzugehen. Im Leitpapier "Anwendung und Verwendung der Eurocodes" (Guidance Paper L – Application and use of Eurocodes) der Europäischen Kommission vom 25. Januar 2002 sind hierzu Festlegungen enthalten. Auch wenn dieses Leitpapier rechtlich nicht verbindlich ist, kommt ihm durch die Art des Zustandekommens doch eine hohe politische Bedeutung zu. So werden sich Kommission und die EU-Mitgliedstaaten an die darin verankerten Verfahrensweisen halten [4]. Die Produktnormen – aber auch die europäischen technischen Zulassungen (siehe 3.2.5) – müssen den technischen Anforderungen der Eurocodes Rechnung tragen, wenn sie in Bauteilen und Bauwerken verwendet werden, welche nach den Eurocodes zu bemessen sind.

Die Schweiz beteiligt sich an der CEN-Normenarbeit; sowohl der SIA als auch der VSS delegiert Fachleute in verschiedensten Funktionen in die bestehenden Gremien. Diese Mitarbeit ist in mancherlei Hinsicht von Bedeutung, auch wenn es für die betroffenen Fachleute oft schwierig ist, die dafür nötige Zeit zur Verfügung zu stellen. Verglichen mit den grossen Ländern sind unsere personellen Ressourcen beschränkt. Es ist deshalb immer wieder nötig, Prioritäten zu setzen, d.h. dort mitzuwirken, wo wir etwas zu sagen haben und wo wir wissen müssen, wie die Regelungen aussehen werden.

3.2.5 EOTA-Leitlinien für europäische technische Zulassungen [1]

Die EOTA mit Sitz in Brüssel (www.eota.be) ist im Gegensatz zum CEN eine Organisation der EU. Die Schweiz ist deshalb nicht Mitglied und kann auch bei den Abstimmungen über Leitlinien nicht teilnehmen. Sie ist aber im Technischen Ausschuss durch einen Beobachter vertreten. Im Weiteren arbeiten Schweizer Vertreter in einigen Arbeitsgruppen mit.

Sind für ein Bauprodukt weder harmonisierte noch anerkannte Normen vorhanden, ist dessen Brauchbarkeit durch eine europäische technische Zulassung (ETA = European Technical Approval) nachzuweisen [4]. Dazu muss für dieses Produkt eine entsprechende Leitlinie (ETAG = European

Technical Approval Guideline) vorhanden sein. Gibt es keine solchen Leitlinien, kann die Brauchbarkeit entweder weiterhin sowohl durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung als auch durch eine europäische technische Zulassung ohne Leitlinie (CUAP = Common Understanding of Assessment Procedure) aufgrund des Einverständnisses unter den Stellen, die europäische technische Zulassungen erteilen, nachgewiesen werden, wenn die Europäische Kommission dies gestattet hat.

Eine ETA wird auf schriftlichen Antrag des Herstellers oder seines Vertreters in der EU durch eine europäische Zulassungsstelle, unbeschadet der Rechte Dritter, widerruflich in der Regel für 5 Jahre erteilt und gilt in der gesamten EU und in den Vertragsstaaten des Europäischen Wirtschaftsraums (EWR). Die Kommission erteilt auf Antrag des Ständigen Ausschusses für das Bauwesen Aufträge zur Erarbeitung von Leitlinien für ETA an die EOTA.

Leitlinien sollen insbesondere enthalten:

- den Geltungsbereich
- konkrete Anforderungen an das Produkt im Sinne der wesentlichen Anforderungen
- die Prüfverfahren
- Methoden zur Auswertung und Beurteilung der Prüfergebnisse
- die Verfahren zur werkseigenen Produktionskontrolle und zum Nachweis der Konformität mit der technischen Spezifikation (ETA)
- die Geltungsdauer der ETA.

3.3 Schweizer Bauprodukteerlasse

Der Bund hat die EU-Bauproduktenrichtlinie in der Schweiz durch das am 1. Januar 2001 in Kraft gesetzte Bauproduktengesetz (BauPG) [5] (Abbildung 3.2) und die Bauprodukteverordnung (BauPV) [6] (Abbildung 3.3) umgesetzt. Diese Erlasse regeln das Inverkehrbringen der Bauprodukte. Sie enthalten im Wesentlichen das Gedankengut der EU-Bauproduktenrichtlinie. So gelten auch in der Schweiz die in 3.2.3 gezeigten wesentlichen Anforderungen an Bauprodukte bzw. an Bauwerke.

<i>Gliederung des Bauproduktengesetzes:</i>	
1. Abschnitt:	Allgemeine Bestimmungen
2. Abschnitt:	Voraussetzungen für das Inverkehrbringen
3. Abschnitt:	Prüf-, Konformitätsbewertungs- und Zulassungsstellen
4. Abschnitt:	Kommission für Bauprodukte
5. Abschnitt:	Nachträgliche Kontrolle (Marktüberwachung)
6. Abschnitt:	Gebühren, Rechtspflege und Strafbestimmungen
7. Abschnitt:	Schlussbestimmungen

Abbildung 3.2: Gliederung des Bauproduktengesetzes

<i>Gliederung der Bauprodukteverordnung:</i>	
1. Abschnitt:	Inverkehrbringen von Bauprodukten
2. Abschnitt:	Nachträgliche Kontrolle (Marktüberwachung)
3. Abschnitt:	Gebührenordnung
4. Abschnitt:	Vollzug
5. Abschnitt:	Inkrafttreten
Anhang 1:	Konformitätsbewertung durch den Hersteller
Anhang 2:	Konformitätsbewertung durch eine Konformitätsbewertungsstelle
Anhang 3:	Antrag auf Erteilung einer technischen Zulassung

Abbildung 3.3: Gliederung der Bauprodukteverordnung

Das Gesetz regelt im Weiteren die Voraussetzung für das Inverkehrbringen, wenn keine Norm zur Verfügung steht, und es nennt die Voraussetzungen für den Nachweis der Konformität des Bauprodukts mit einer technischen Spezifikation (Norm oder Zulassung). Das BauPG legt auch die Voraussetzungen für das Tätigwerden von Prüf-, Konformitäts- und Zulassungsstellen fest. Schliesslich macht es Ausführungen zur Bauproduktekommission, der Marktüberwachung und zu den Gebühren sowie der Rechtspflege [7].

Die Interkantonale Vereinbarung zum Abbau technischer Handelshemmnisse (IVTH) ist am 3. Februar 2003 in Kraft getreten [8]. Sie ergänzt das BauPG und die BauPV in Bereichen, in denen die Gesetzgebungskompetenzen bei den Kantonen liegen: Während die Bundeserlasse das eigentliche Inverkehrbringen der Bauprodukte regeln, regelt die IVTH insbesondere die Anforderungen an die Bauwerke. Die Bundeserlasse und die IVTH bilden somit eine Einheit. Die IVTH bestimmt, dass zu ihrem Vollzug ein Interkantonales Organ Technische Handelshemmnisse gebildet wird. Die Regierungen der beteiligten Kantone sind darin vertreten. Dieses Organ ist insbesondere zuständig für den Erlass von Vorschriften bezüglich Anforderungen an Bauwerke; diese Vorschriften sind für die Kantone verbindlich. Weitere Aufgabe des Interkantonalen Organs ist u.a. der Erlass von Vollzugsrichtlinien im Bereich des Inverkehrbringens von Bauprodukten.

Das BauPG und die BauPV gelten für Bauprodukte, die hergestellt werden, um dauerhaft in Bauwerke des Hoch- und Tiefbaus eingebaut zu werden. Dies bedeutet für die Tragwerke, dass alle dafür verwendeten Baustoffe (z.B. Zement, Gesteinskörnungen, Beton, Stahl, Holzwerkstoffe, Mauersteine) und Systeme (z.B. Spannsysteme, Ankersysteme) gemäss diesen Erlassen in den Verkehr zu bringen sind.

Was ist nun die Bedeutung dieser gesetzlichen Bestimmung für die Praxis bei der Anwendung der Tragwerksnormen? Wie bereits erwähnt, unterliegen alle für Tragwerke verwendeten Bauprodukte und Systeme diesen Bestimmungen. Es gilt dabei sicher zu stellen, dass diese brauchbar sind, d.h. dass sie die in den Normen und Zulassungsleitlinien festgelegten Anforderungen erfüllen. Zukünftig werden sich projektierende, ausschreibende, bauleitende und ausführende Stellen an die Konformitätsbescheinigungen halten können, welche der Hersteller oder Lieferant vorzulegen hat. Abbildung 3.4 stellt die beiden Möglichkeiten für den Marktzugang für normierte, zertifizierte und für zugelassene Bauprodukte dar.

Im März 2008 haben die Schweiz und die Europäische Union (EU) ihr im Rahmen der Bilateralen I abgeschlossenes Abkommen über die gegenseitige Anerkennung von Konformitätsbewertungen (Mutual Recognition Agreement, MRA) um ein neues Kapitel 16 über Bauprodukte erweitert [9]. Das neue Kapitel erleichtert das Inverkehrbringen von Schweizer Bauprodukten in der EU, da künftig die Konformitätsbewertungen und technischen Zulassungen von Bauprodukten gegenseitig anerkannt werden. Zudem können Schweizer Hersteller künftig ihre Produkte direkt in der EU in Verkehr bringen und benötigen keinen dort ansässigen Bevollmächtigten mehr. Bisher musste ein schweizerischer Bauproduktehersteller, der sein Produkt in der EU auf den Markt bringen wollte, Konformitätsbewertungsstellen in der EU einschalten. Die dafür häufig notwendigen Doppelprüfungen schweizerischer Produkte entfallen jetzt. Neu können die Konformitätsbewertungen gemäss harmonisierten Normen (hEN) und Europäischen Technischen Zulassungen (ETA) auch in der Schweiz durchgeführt werden.

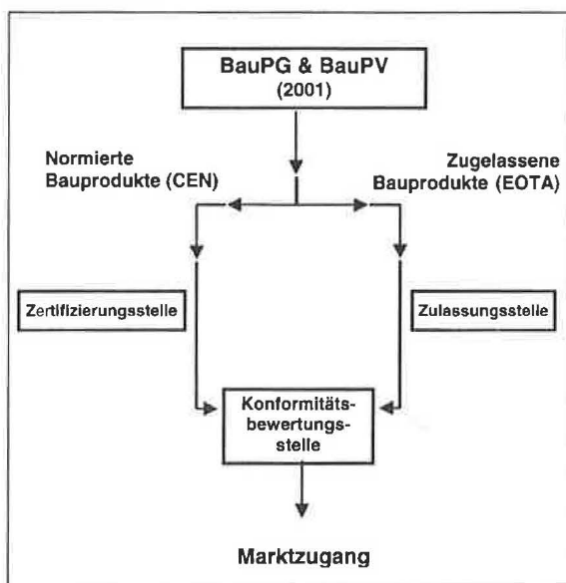


Abbildung 3.4: Wege für den Marktzugang von Bauprodukten und Systemen in der Schweiz [1]

Damit profitieren auch die schweizerischen Konformitätsbewertungs- und Zulassungsstellen vom MRA: diese können nämlich neu Konformitätsbewertungen durchführen, deren Ergebnisse im ganzen EWR gültig sind. Voraussetzung dafür ist die Anerkennung als "notifizierte Stelle" (notified body). Der entsprechende Antrag auf Notifikation ist beim Bundesamt für Bauten und Logistik (BBL), der für Bauprodukte zuständigen Bundesbehörde, einzureichen. Das BBL notifiziert - basierend auf einer Akkreditierung der Schweizerischen Akkreditierungsstelle SAS - die Stelle im Rahmen des MRA. Gestützt darauf erfolgt in der Regel nach Ablauf von 60 Tagen die Anerkennung.

Die Konformitätsbewertungen und ETAs berechtigen die Hersteller zum Anbringen des CE-Zeichens für den EU-Raum. Das gilt für alle Bauprodukte, unabhängig davon, ob sie in der Schweiz, in einem EWR-Staat oder in einem Drittland gemäss einer hEN oder ETA hergestellt werden.

3.4 Der SIA als Herausgeber von Normen

Der Schweizerische Ingenieur- und Architektenverein (SIA) ist ein Verein im Sinn der Art. 60 ff. des Schweizerischen Zivilgesetzbuchs [10]. Gemäss seinen Statuten [10] vereinigt der SIA Berufsleute aus Ingenieurwesen, Architektur und Wissenschaften verwandter Ausrichtung mit universitärer oder gleichwertiger Ausbildung. Ziel des SIA ist die Förderung von Ingenieurwesen, Architektur und anderen wissenschaftlichen Disziplinen aus den Bereichen Bau, Technik und Umwelt. U. a. beteiligt sich der SIA aktiv an der Ausarbeitung, Weiterentwicklung, Veröffentlichung und Einführung von fachbezogenen und rechtlichen Instrumenten zur Berufsausübung; dies betrifft insbesondere die Normen und Ordnungen.

Der SIA ist einer der Träger der Normung im Bereich des Bauens. Zusammen mit der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute VSS betreut der SIA die Schweizer Baunormen. Als massgebende Organisation übernimmt der SIA teilweise auch eine regulatorische Funktion [11]. Der SIA arbeitet in enger Kooperation mit der Schweizerischen Normenvereinigung SNV sowie mit anderen am Normenschaftern interessierten Institutionen zusammen. Die Entwicklung der europäischen und internationalen Normierung (CEN und ISO) wird ebenfalls berücksichtigt. Erarbeitet werden die Normen paritätisch von Planern, Auftraggebern (Bauherren), Unternehmern, Lieferanten und Behörden sowie unter Einbezug der Hochschulen. Eine öffentliche Vernehmlassung ist Bestandteil des Verfahrens. Die Normenpolitik des SIA wird durch die SIA-Delegiertenversammlung festgelegt und von dieser regelmässig überprüft.

Die Normenpolitik des SIA wird als Reglement r76 [12] geführt. Gemäss aktueller Fassung *fördern Normen unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeit die Sicherheit von Bauten und Anlagen sowie deren Funktionalität, Dauerhaftigkeit und Wirtschaftlichkeit in allen Phasen des Lebenszyklus. Sie stellen vielfach die Regeln der Baukunde dar, dokumentieren gesichertes Wissen, machen Wissen aus der Forschung der praktischen Tätigkeit zugänglich und liefern Impulse zu weiterer Forschung. Sie bilden eine Verständigungs- und Rechtsgrundlage. Normen müssen zudem nützlich und anwendbar sein und in der Praxis tatsächlich angewendet werden (utile, utilisable et utilisé). Sie dürfen die Kreativität nicht einschränken.*

Die Leitprinzipien für das SIA-Normenwerk sind im Reglement r48 [13] formuliert. Demzufolge soll das Normenwerk für das Wirken in den Bereichen Bau, Technik und Umwelt

- a) einheitliche technische Grundlagen schaffen;
- b) Grundlagen zur Einhaltung genügender Sicherheit bieten;
- c) Qualitätsmassstäbe und Kriterien der Gebrauchstauglichkeit regeln;
- d) die Prinzipien der Nachhaltigkeit, das heisst der Wirtschaftlichkeit, der Sozialverträglichkeit und der Ökologie konkretisieren;
- e) die Verständigung unter den Beteiligten fördern;
- f) *die massgeblichen anerkannten Regeln der Baukunde darstellen;*
- g) den Wissenstransfer zwischen Forschung und Praxis erleichtern;
- h) Grundlagen zur Definition, Koordination und Vergütung der Leistungen der Beteiligten bereitstellen.

Das Normenwerk wird unter Mitwirkung von und in Abstimmung mit den öffentlichen Instanzen und interessierten Berufs- und Fachverbänden erarbeitet und weiterentwickelt. Es soll als kohärentes Normenwerk dem Gesamtinteresse dienen *und darf nicht auf wirtschaftliche Vorteile Einzelner zielen*.

Das Schwergewicht der im Rahmen des Normenwerks geschaffenen Publikationen bilden technische Bestimmungen, vor allem betreffend Planung, Berechnung, Ausführung und Erhaltung von Bauten und Anlagen. In den Bestimmungen werden die Grundsätze festgelegt und der Normalfall geregelt. Die Formulierungen sollen den technischen Fortschritt und die wirtschaftliche Anwendung nicht behindern. Hinreichende Fachkompetenz der Anwender wird vorausgesetzt.

3.4.1 Systematik des SIA-Normenwerks

Das Normenwerk des SIA umfasst technische Normen, Vertragsnormen und Verständigungsnormen. *Diese werden klassiert als Normen und Ordnungen, Vornormen, Merkblätter, sogenannte Nationale Elemente sowie Empfehlungen.* Letztere gibt es nur in den Kategorien Vertragsnormen und Verständigungsnormen [13]. Bezüglich der Normierung von BSH aus Laubholz als Bauprodukt sind die *technischen Normen* von vorrangiger Bedeutung. Diese sind laut Verständnis des SIA anerkannter Stand der Technik im Bereich des Bauwesens [14]. Da sie von Experten erarbeitet werden und eine breit angelegte Vernehmlassung durchlaufen, sind sie in gewissem Mass rechtlich relevant. Die technischen Normen bewegen sich auf den Ebenen Produkte, Bauteile (Systeme), Bauwerke und Gesellschaft [12]. *Das Schwergewicht des SIA liegt auf der Bauteilebene.*

3.4.1.1 Technische Normen

Technische Normen sind Regeln der Baukunde. Sie legen Anforderungen an Baustoffe, Bauteile und Bauwerke so fest, dass nach dem aktuellen Stand des Wissens die Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit, die Dauerhaftigkeit sowie ein ökonomischer Betrieb gewährleistet sind [13].

Typen von technischen Normen sind z.B.: Planungs- und Projektierungsnormen, Systemnormen, Schutznormen, Prüfnormen, Produktnormen, Ausführungsnormen.

Als Normen werden alle Publikationen mit reglementarischem Inhalt bezeichnet, die die vorgesehenen Prozesse der Erarbeitung und Genehmigung durchlaufen haben und den vorgesehenen Formvorschriften entsprechen. Eine Betreuung und Überwachung der Norm durch eine Normkommission muss sichergestellt sein.

3.4.1.2 Technische Vornormen

Vornormen stellen eine Vorstufe zu Normen dar. Sie dienen zu deren Einführung und Überprüfung in der Anwendung oder zur vorläufigen Deckung eines Bedarfs nach einer Leitlinie [13]. Vornormen können veröffentlicht werden, sofern es die noch zu erwartende Entwicklung ratsam scheinen lässt, noch keine definitive Normierung vorzunehmen. Die Vornormen sind nach spätestens drei Jahren zu überprüfen [15].

3.4.1.3 Technische Merkblätter

Merkblätter enthalten Erläuterungen und ergänzende Regelungen zu speziellen Themen. Das Genehmigungsverfahren ist gegenüber den Normen und Vornormen vereinfacht. Ebenso sind geringere formale Ansprüche einzuhalten [13]. Merkblätter dienen ins. dem Zweck, neue Erkenntnisse rasch umzusetzen. An die Ausgestaltung und Konsensfindung sind bei Merkblättern reduzierte Anforderungen gestellt [15].

3.4.1.4 Nationale Elemente

Europäische Normen werden in der Schweiz übernommen und bei Bedarf mit nationalen Elementen (Titelblatt, Vorwort, Anhänge) ergänzt. Diese Texte dienen der Anpassung an die spezifischen nationalen Gegebenheiten [13].

3.4.2 Erarbeitung und Pflege der SIA-Normen

3.4.2.1 Organisation der Normenarbeit

Haupttätigkeit der Normenorganisation ist die Pflege des Normenwerks verbunden mit der Neuschaffung, der Revision und dem Rückzug von Normen. Die damit verbundenen Aktivitäten laufen in der Regel im Rahmen eines Projektes ab [15].

Als oberste Instanz im Normenwesen wirkt die Zentralkommission für Normen und Ordnungen (ZNO). Dieser sind fünf sektorielle Normenkommissionen (SNK) unterstellt, die sich ihrerseits in Normenkommissionen (NK) und permanente und temporäre Arbeitsgruppen untergliedern (Abbildung 3.5). Die ZNO koordiniert die Arbeiten der Normen- und Ordnungskommissionen und weiterer Organisationen des Normenschaffens für den Erlass und die Revision von Publikationen des Normenwerks. Sie genehmigt die nationalen Normen und die normenspezifischen Allgemeinen Vertragsbedingungen vorbehaltlich von Rekursen an die Direktion [10]. Die sektoriellen Normenkommissionen bilden die Steuerungsebene, sie leiten und koordinieren die Normentätigkeit innerhalb ihres Fachgebietes. Sie prüfen die von den NK erarbeiteten Projekte und Dokumente und leiten sie an die ZNO weiter. Für Tragwerksnormen ist die KTN (Kommission für Tragwerksnormen) zuständig [15].

Rund 200 Kommissionen sind für die Pflege der bestehenden Normen, die Integration der europäischen Normung sowie eine sinn- und massvolle Weiterentwicklung des Normenwerks als Ganzes verantwortlich. Die Normenkommissionen als Erarbeitungsebene sind die Kompetenzzentren des SIA auf ihrem jeweiligen Fachgebiet. Sie übernehmen die Verantwortung für die Aktualität der Normierung, verfolgen zu diesem Zweck die Forschung und Entwicklung und stehen als SIA-interner und –externer Ansprechpartner für einschlägige Fachfragen zur Verfügung (Erarbeitung von Stellungnahmen). Sie begleiten auch die Arbeiten auf internationaler Ebene und orientieren sich über das Normschaffen von CEN. Die Erarbeitung einer konkreten Einzelnorm kann von einer Normenkommission in eine Arbeitsgruppe delegiert werden. Diese kann permanent oder auch nur temporär wirken [15].

Das Normenschaffen des SIA ist auf Eigenwirtschaftlichkeit ausgerichtet. Die Mitarbeit im Normenschaffen erfolgt im Wesentlichen im Volontariat. Die Aufbauorganisation und die Abläufe sind im Reglement r72 [15] festgelegt.

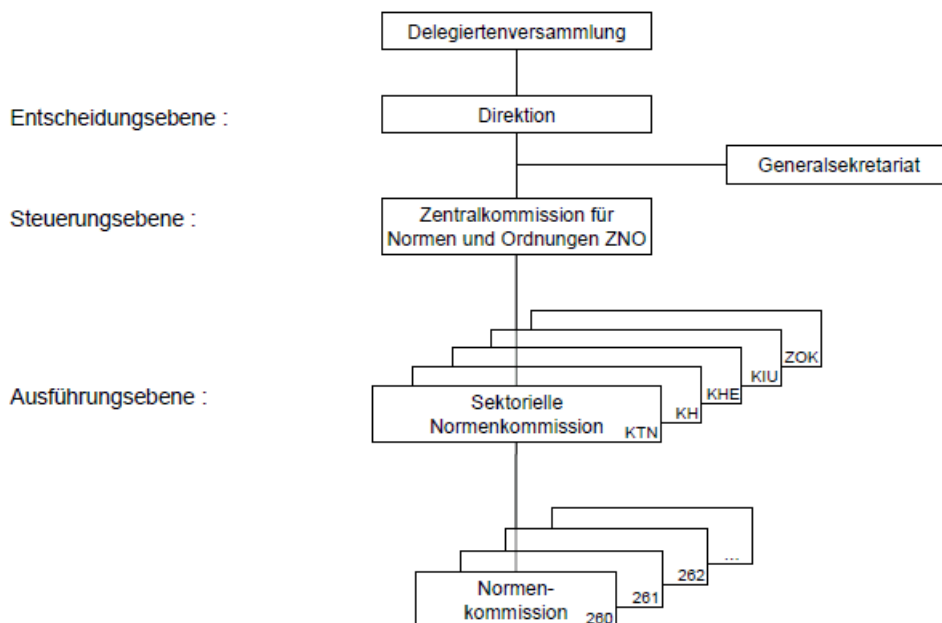


Abbildung 3.5: Organisation der Normenarbeit im SIA [11]

Der SIA arbeitet eng mit andern am Normenschaffen interessierten Institutionen und mit der Schweizerischen Normenvereinigung zusammen und unterstützt die Bestrebungen des Normenbeirats Bau zur Koordination [12]. *Er berücksichtigt bei seinem Normenschaffen die Entwicklung der europäischen und internationalen Normierung (CEN und ISO).*

3.4.2.2 Erarbeitung von Normen [15]

Die Erarbeitung von neuen Dokumenten und die Revision bestehender Dokumente erfolgt immer im Rahmen von Projekten. Die zuständige Normenkommission erarbeitet eine Projektskizze, die den Umfang der Arbeiten absteckt und Auswirkungen auf das bestehende Normenwerk abschätzt und leitet diese über die SNK an die ZNO zur Genehmigung weiter. Erste Kosten- und Termschätzungen können die Skizze begleiten.

Sofern die Skizze genehmigt wird, muss ein detaillierter Projektantrag mit Kosten- und Terminplan ausgearbeitet werden. Angaben über Kommission, Arbeitsgruppe, vorgesehene Finanzierung und Sachbearbeitung ergänzen den Projektantrag. Im Regelfall ist eine Umfrage zumindest bei den SIA-Organen erforderlich.

Die Erarbeitung von Normen erfolgt nach den Regeln des SIA-Reglements r73; dabei ist zwingend eine öffentliche Vernehmlassung mit einem nachgeschalteten Einspracheverfahren erforderlich.

Die fertiggestellte Publikation wird von der SNK auf Antrag der NK bei der ZNO zur Freigabe beantragt. Nach dem Freigabeentscheid der ZNO läuft eine vierwöchige Rekursfrist. Alleinige Rekursinstanz ist die Direktion des SIA.

3.4.2.3 Pflege der Normen

Der SIA überprüft periodisch sein Normenwerk und nimmt die erforderlichen Anpassungen vor [12]. Bei den europäischen Normen im Baubereich bildet der SIA Begleitgruppen (Spiegelkommissionen) oder integriert deren Funktion in seine Kommissionen. Er nimmt an den Abstimmungen teil und übernimmt die fertig gestellten europäischen Normen mit nationalen Elementen ergänzt ins nationale Normenwerk.

Normen und Ordnungen müssen spätestens fünf Jahre nach Genehmigung oder letztmaliger Überarbeitung gesamthaft überprüft und soweit erforderlich überarbeitet werden [13]. Vornormen, Empfehlungen und Merkblätter sind drei Jahre gültig. Sie müssen rechtzeitig vor Ablauf der Gültigkeitsdauer einer Überprüfung auf Richtigkeit des Inhalts unterzogen werden. Falls Vornormen unverändert bleiben, kann ihre Gültigkeitsdauer zweimal um drei Jahre verlängert werden. Nach dieser Zeit müssen Vornormen in Normen überführt, überarbeitet oder ungültig erklärt werden. Solange Merkblätter unverändert bleiben, kann ihre Gültigkeitsdauer jeweils um drei Jahre verlängert werden.

3.4.3 SIA-Normen im nationalen und internationalen Umfeld [15]

Die europäische Normierung bezweckt einen Abbau technischer Handelshemmnisse für Produkte und Dienstleistungen. Sie erarbeitet dazu eine auf die Eigenschaften bezogene Normierung handelbarer Güter sowie die dazu erforderlichen unterstützenden Normen (Prüfnormen, Terminologien, Anwendungsbeschreibungen usw.). Das technische Normenwerk des SIA besteht überwiegend aus Normen, die das Zusammenspiel dieser „handelbaren Güter“ im fertigen Bauwerk zum Gegenstand haben, welche als System aber nicht „handelbar“ sind. Es besteht daher eine recht grosse Abhängigkeit des SIA-Normenwerks vom europäischen Normenwerk, nicht aber eine direkte Konkurrenzierung.

Der SIA beteiligt sich im Rahmen seiner Möglichkeiten bei der Erarbeitung europäischer und internationaler Normen (EN, ISO). Diese Arbeit soll so weit als möglich in die ordentlichen Kommissionen integriert werden. Die vorhandenen Mittel des SIA werden schwergewichtig in die Integration der europäischen Normen in den nationalen Normen eingesetzt. Die gezielte Unterstützung der europäischen Normierung durch den SIA konzentriert sich auf den Planungs- und Projektierungsbereich. Die Mitarbeit bei der Erarbeitung einzelner europäischer Produktnormen muss durch die interessierten Hersteller geschehen, soweit nicht übergeordnete Interessen (Sicherheit, Gebrauchstauglichkeit) eine Einflussnahme rechtfertigen.

3.5 SIA-Tragwerksnormen

3.5.1 Philosophie bei der Erarbeitung von SIA-Tragwerksnormen

In der Schweiz sind die Normen des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins SIA massgebend für die Projektierung von Tragwerken. Das Normenwerk des SIA soll gemäss Leitlinie des Vereins ein kompaktes und trotzdem die wichtigsten Planungsaufgaben abdeckendes Arbeits- und Verständigungsmittel für die Berufsausübung der Planer und Planerinnen bilden [16]. Entsprechend dieser Normenphilosophie geben die SIA-Tragwerksnormen Leitplanken vor, welche der Kreativität der Fachleute möglichst grosse Freiheit lassen: Umfang und Inhalt der Tätigkeiten im Rahmen der Planung sind der Bedeutung des Bauwerks/Tragwerks, den Gefährdungsbildern und der Komplexität der Aufgabenstellung anzupassen. Dieser Philosophie entsprechend enthalten viele SIA-Normen im einleitenden Normteil eine Ziffer (z.B. Ziffer 0.4.1 in [17]), welche Abweichungen von der Norm zulassen, wenn sie durch Theorie oder Versuche ausreichend begründet werden oder wenn neue Entwicklungen und Erkenntnisse die Abweichungen rechtfertigen.

3.5.2 Massgebende SIA-Normen für die Planung von Holztragwerken

Für die Planung von Holztragwerken sind die folgenden Normen massgebend:

- SIA 260:2003 Grundlagen der Projektierung von Tragwerken [18]
- SIA 265:2012 Holzbau [17]
- SIA 265/1:2009 Holzbau – Ergänzende Festlegungen [19]
- SIA 269:2011 Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken [20]
- SIA 269/5:2011 Erhaltung von Tragwerken – Holzbau [21]
- SIA 118/265:2004 Allgemeine Bedingungen für Holzbau [22].

Bezüglich der vorliegenden Fragestellung der Marktimplementierung von BSH aus Laubholz stehen die Normen SIA 265:2012 Holzbau und SIA 265/1:2009 Holzbau – Ergänzende Festlegungen im Vordergrund. Beide Normen wurden in ihren Grundzügen im Rahmen des Swisscodes-Projektes erarbeitet und in erster Fassung 2003 [23, 24] herausgegeben. Die Zielsetzungen des Swisscode-Projekts waren [25]:

- *Rahmenbedingungen schaffen, die die Eigenverantwortung und Kreativität des Ingenieurs fördern und eine auf Nachhaltigkeit ausgerichtete Berufsausübung erlauben*
- *Effiziente Normen bereitstellen, die die Traditionen des SIA weiterführen und sich durch Kürze, Praxisnähe und einen hohen Informationsgehalt auszeichnen*
- *Den Ingenieuren SIA möglichst gute Hilfsmittel zur Verfügung stellen, um europaweit tätig zu sein*
- *Durch aktives Mitgestalten und Mittragen der Arbeiten in den Project-Teams und in den Sub-Commissions die Erarbeitung europäischer Ingenieurnormen unterstützen*
- *Die Philosophie der Eurocodes rasch und effizient an die Schweizer Fachwelt weitergeben*
- *Die Grundlagen der Eurocodes aufarbeiten und mit Ausführungsbestimmungen so ergänzen, dass die Swisscodes für praktische Anwendungen in der Schweiz in der Regel ausreichen*
- *Mit den Swisscodes die heute gültigen Tragwerksnormen ablösen.*

Die Swisscodes sollten sich dabei eng nach dem europäischen Pendant, den Eurocodes richten. Die Eurocodes zeichnen sich dadurch aus, dass es sich um reine Bemessungsnormen handelt. Sämtliche Angaben zu Produkten sind in Form von sogenannten charakteristischen Werten in den Europäischen Produktnormen EN erfasst. Dieses Vorgehen ist auch aus rechtlichen Gründen sinnvoll, denn der Hersteller eines Produktes ist grundsätzlich dafür verantwortlich, dass das von ihm in Verkehr gesetzte Produkte die deklarierten Eigenschaften aufweist. Der SIA und die Normenkommissionen, welche für die Erarbeitung, Betreuung und Weiterentwicklung der Tragwerksnormen verantwortlich sind, sehen daher die Trennlinie zwischen Bemessung und Produkteigenschaften bzw. zwischen Verantwortlichkeit der Normenkommissionen und derjenigen des Produzenten bei den charakteristischen Werten. Charakteristische Werte sind massgebliche, ein Produkt kennzeichnende Eigenschaften (z.B.

Festigkeit, Steifigkeit, Rohdichte, etc.). Aufgabe der Normenkommissionen bzw. der Tragwerksnormen ist es, die Bemessungsansätze und –formate so zu formulieren, dass man unabhängig der Art des Produktes mit diesen arbeiten kann. Aufgabe des Produzenten ist es, die charakteristischen Eigenschaften seines Produktes zu ermitteln und zu deklarieren und zwar in der Form, dass man bei der Projektierung von Tragwerken die SIA-Tragwerksnormen verwenden kann.

Die Norm 265/1:2003 [24] wurde 2009 einer Revision unterzogen und mit Bemessungsvorschriften für Bauteile aus Holzwerkstoffen ergänzt [26]. Im Rahmen des regulären Überprüfungsintervalls von SIA-Normen wurde die Norm SIA 265:2003[23] per 01.01.2012 teilrevidiert. Dabei wurden erkannte technische und redaktionelle Fehler korrigiert und die Normen, welche noch auf Vornormfassungen der europäischen Normen (EN und EC) basierten, auf den aktuellen Stand gebracht [16]. Zu beachten sind immer auch die Korrekturen der Normen. Diese werden durch den SIA unter www.sia.ch/korrigenda publiziert.

3.5.3 Zukunft der SIA-Tragwerksnormen

Die europäische Normierung hat, nicht zuletzt wegen des Bauproduktgesetzes und der Bauprodukteverordnung [5, 6], in den letzten Jahren auch in der Schweiz vermehrt an Bedeutung gewonnen. Die Schweiz ist zur Übernahme der europäischen Normen durch internationale Verträge verpflichtet (EFTA-Ratsbeschluss vom 24. Oktober 1984; Einheitliche Europäische Akte vom 1. Juli 1987; GATT/WTO-Übereinkommen über das öffentliche Beschaffungswesen vom 15. April 1994, usw.).

Nachdem sich bereits die ersten Fassungen der SIA-Tragwerksnormen (Inkrafttreten 1. Januar 2003) an die zur Zeit der Erarbeitung der Normen vorliegenden Vornorm- und Entwurfsfassungen der EC anlehnten [25], wurde die Übereinstimmung mit den z. T. abgeschlossenen, z. T. noch laufenden Revisionsprojekten R1 jetzt noch weiter vorangetrieben (Abbildung 3.6). Derzeit lancieren die für die Pflege und Weiterentwicklung der EC zuständigen Fachgruppen (Subcommittees SC) des Europäischen Komitees für Normung (CEN/TC 250) die Erarbeitung der zweiten, verbesserten Generation der EC. Was den EC 5 betrifft, sind entsprechende Arbeiten bereits in Planung [27]. Diese „Second Generation EC“ sollen möglichst auch in der Schweiz eingesetzt werden, um der Forderung des CEN nach dem Rückzug der nationalen, den EC widersprechenden Normen gerecht zu werden. Eine nächste Revision R2 der Tragwerksnormen wäre in diesem Fall nicht mehr nötig. Damit die „Second Generation EC“ möglichst weitgehend auch die Ansprüche, wie sie traditionell an SIA-Normen gestellt werden (siehe 3.5.1), erfüllen, soll das Engagement der Schweiz in den Arbeitsgruppen des CEN/TC 250 zukünftig intensiviert werden. Um bereits jetzt mit den vorliegenden EC-Fassungen arbeiten zu können, ist es notwendig, die national festzulegenden Parameter (NDP) für die Schweiz festzulegen. Dazu läuft im Moment ein SIA-Projekt, welches per Ende 2013 abgeschlossen werden soll.

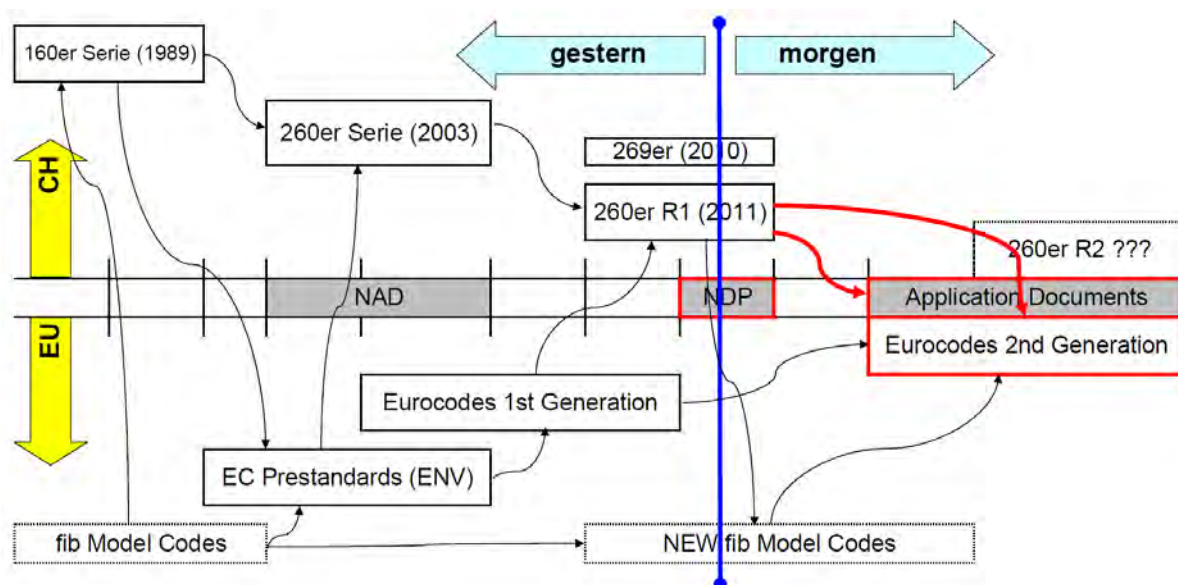


Abbildung 3.6: Europäische und Schweizer Tragwerksnormen und ihre Wechselwirkungen [28]

3.6 Literatur zu Kapitel 3

1. Matt P., Hirt M.A. 2003: Die Bedeutung des europäischen Regelwerks für die neuen Tragwerksnormen SIA 260 bis 267. SIA-Dokumentation D 0181: Grundlagen der Projektierung von Tragwerken / Einwirkungen auf Tragwerke - Einführung in die Normen SIA 260 und 261. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.
2. Deutsches Institut für Normung, DIN 2000: Gesamtwirtschaftlicher Nutzen der Normung - Zusammenfassung der Ergebnisse. Beuth Verlag, Berlin, Wien, Zürich.
3. Der Rat der Europäischen Gemeinschaft: Richtlinie des Rates vom 21. Dezember zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über Bauprodukte (89/106/EWG), geändert durch die Richtlinie 93/68/EWG des Rates vom 22. Juli 1993. Europäische Gemeinschaft. Amtsblatt Nr. L 40 vom 12. Februar 1989 und Amtsblatt Nr. L 220 vom 30. August 1993.
4. Bossenmayer H.J., Springborn M. 2003: Europäische Harmonisierung für Bauprodukte - Technische Baubestimmungen. Stahlbau-Kalender 2003. Ernst & Sohn: Berlin.
5. Bundesamt für Bauten und Logistik, BBL 2001: Bauproduktengesetz (BauPG).
6. Bundesamt für Bauten und Logistik, BBL 2000: Verordnung über Bauprodukte (Bauprodukteverordnung, BauPV).
7. Bundesamt für Bauten und Logistik, BBL 2011: Rechtsgrundlagen des Bundes betreffend Bauprodukte.
8. Bundesamt für Bauten und Logistik, BBL 2009: Rechtsgrundlagen der Kantone betreffend Bauprodukte.
9. Bundesamt für Bauten und Logistik, BBL 2009: Abkommen mit der Europäischen Gemeinschaft über die gegenseitige Anerkennung von Konformitätsbewertungen als Rechtsgrundlage für den Handel mit der EU.
10. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, SIA 2007: Statuten.
11. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, SIA 2012: Normenschaffen.
12. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, SIA 2006: Reglement r76d: Normungspolitik SIA 2007 - 2009.
13. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, SIA 2005: Reglement r48: Reglement für Normen und Ordnungen.
14. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, SIA 2012: Normenarten.
15. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, SIA 2005: Reglement r72: Leitfaden für das Normenschaffen beim SIA.
16. Fischer J., Frangi A. 2012: Revidierte Norm SIA 265 Holzbau. tec21 / Schweizer Ingenieur und Architekt 138(15-16): 34-35.
17. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, SIA, 2012: Norm SIA 265 - Holzbau.
18. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, SIA 2003: Norm SIA 260 - Grundlagen der Projektierung von Tragwerken.
19. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, SIA 2009: Norm SIA 265/1 - Holzbau - Ergänzende Festlegungen.
20. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, SIA 2011: Norm SIA 269 - Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken.
21. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, SIA 2011: Norm SIA 269/5 - Erhaltung von Tragwerken - Holzbau.
22. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, SIA 2004: Norm SIA 118/265 - Allgemeine Bedingungen für Holzbau.
23. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, SIA 2003: Norm SIA 265 - Holzbau.
24. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, SIA 2003: Norm SIA 265/1 - Holzbau - Ergänzende Festlegungen.
25. Kunz P., Sigrist V. 1998: Swisscodes. Schweizer Ingenieur und Architekt 116(45): 11-14.
26. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, SIA 2010: Holzbau - Ergänzende Festlegungen Norm SIA 265/1, Bauteile aus Holzwerkstoffen. Bemessungskonzept und Beispiele. SIA-Dokumentation D 0235.
27. Dietsch P., Winter S. 2012: Eurocode 5 - Future developments towards a more comprehensive code on timber structures. Structural Engineering International 22(2): 223-231.
28. Gehri E. 2010: Laubholz-Konstruktionen hoher Leistung mit n'H-Brettschichtholz. Informations-Tagung der "neue Holzbau AG" Lungern.

4. Normierung von Brettschichtholz aus Laubholz

4.1 BSH aus Nadelholz als Richtschnur

Aus den folgenden Gründen kann die Produktion und die Normierung von BSH aus Nadelholz als Richtschnur bei der Marktimplementierung von BSH aus Laubholz dienen:

- Es handelt sich in beiden Fällen um ein Bauprodukt, an welches grundsätzlich identische bzw. vergleichbare Anforderungen gestellt werden (siehe Kapitel 9).
- BSH aus Nadelholz ist ein in der Praxis bewährter Baustoff, welcher massgeblich zur kontinuierlichen Ausweitung des Marktanteils von Holz im Hochbau und im Brückenbau beigetragen hat.
- Die Werkstoffe zur Herstellung des BSH sind von der Art her identisch: gemäss Festigkeit und Steifigkeit klassierte Bretter und auf die Art der Nutzung zugeschnittene Klebstoffe
- Die Elemente der BSH-Produktion sind dieselben: Eingangskontrolle des Rohmaterials (Bretter), Entfernung von Fehlstellen unzulässigen Ausmasses aus den Brettern, Lamellenproduktion durch Längsverbinding von Brettern mittels Keilzinkung, Hobeln der Lamellen, Flächenverklebung von gestapelten Lamellen zu BSH-Trägern gewünschter Höhe, Qualitätskontrolle sämtlicher Prozesse durch Eigenkontrolle und Fremdüberwachung.
- Die Baupraxis benötigt im Rahmen der Projektierung für beide Arten des BSH dieselben Eigenschaftswerte.
- Die Normierung von BSH aus Laubholz wird in denselben Strukturen ablaufen, wie diejenige für BSH aus Nadelholz.

Im Folgenden wird daher die Situation, wie sie sich für BSH aus Nadelholz betreffend Normierung und Anforderungen an die Produktion zurzeit stellt, beschrieben.

4.2 Situation in Europa

4.2.1 Massgebende Normen

Zum Zeitpunkt der Drucklegung dieses Berichts (März 2013) wurde die neue Europäische BSH-Norm prEN 14080 [1] dem Formal Vote unterstellt. Es ist anzunehmen, dass diese Norm die Vorgängernormen EN 1194 [2], EN 14080:2005 [3], EN 385 [4], EN 386 [5], EN 387 [6], EN 390 [7], EN 391 [8] und EN 392 [9] in Kürze ablösen wird. Als Grundlage für die folgenden Ausführungen wird daher die FprEN14080 (Formal Vote-Fassung der prEN 14080) verwendet.

4.2.2 Querschnittsaufbauten

BSH kann in homogenen oder in kombinierten Querschnitten hergestellt werden. Beim homogenen Querschnittsaufbau (Zusatz „h“ in der Festigkeitsklassenbezeichnung) entsprechen sämtliche Lamellen derselben Festigkeitsklasse (Tabelle 4.6). Kombinierte Querschnittsaufbauten (Zusatz „c“ in der Festigkeitsklassenbezeichnung) weisen Lamellen höherer Festigkeitsklasse in den Randzonen auf. Die minimalen Abmessungen der Randzonen sind von der Norm vorgegeben (Tabelle 4.5). Die Norm lässt auch asymmetrische Querschnittsaufbauten zu.

4.2.3 Festigkeitsklassen

Gemäss FprEN 14080 kann BSH in den Festigkeitsklassen GL20, GL22, GL24, GL26, GL28, GL30 und GL32 hergestellt werden. Die Zahl entspricht dabei dem charakteristischen (5%-Fraktilwert) der Biegefestigkeit. Die Festigkeitsklassen können auch herstellerspezifisch gewählt werden.

4.2.4 Charakteristische Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften sowie Rohdichten

Die mechanischen Eigenschaften und die Rohdichte für BSH der verschiedenen Festigkeitsklassen gemäss FprEN 14080 sind in Tabelle 4.1 (für kombiniertes BSH) und in Tabelle 4.2 (für homogenes BSH) zusammengestellt.

Tabelle 4.1: Charakteristische Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften, in N/mm^2 , sowie Rohdichten, in kg/m^3 , für kombiniertes Brettschichtholz gemäss FprEN 14080

Eigenschaft ^a	Symbol	Festigkeitsklasse von Brettschichtholz						
		GL 20c	GL 22c	GL 24c	GL 26c	GL 28c	GL 30c	GL 32c
Biegefestigkeit	$f_{m,g,k}$	20	22	24	26	28	30	32
Zugfestigkeit	$f_{t,0,g,k}$	15	16	17	19	19,5	19,5	19,5
	$f_{t,90,g,k}$	0,5						
Druckfestigkeit	$f_{c,0,g,k}$	18,5	20	21,5	23,5	24	24,5	24,5
	$f_{c,90,g,k}$	2,5						
Schubfestigkeit (Schub und Torsion)	$f_{v,g,k}$	3,5						
Rollschubfestigkeit	$f_{r,g,k}$	1,2						
Elastizitätsmodul	$E_{0,g,mean}$	10 400	10 400	11 000	12 000	12 500	13 000	13 500
	$E_{0,g,05}$	8 600	8 600	9 100	10 000	10 400	10 800	11 200
	$E_{90,g,mean}$	300						
	$E_{90,g,05}$	250						
Schubmodul	$G_{g,mean}$	650						
	$G_{g,05}$	542						
Rollschubmodul	$G_{r,g,mean}$	65						
	$G_{r,g,05}$	54						
Rohdichte ^b	$\rho_{g,k}$	355	355	365	385	390	390	400
	$\rho_{g,mean}$	390	390	400	420	420	430	440

Tabelle 4.2: Charakteristische Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften, in N/mm^2 , sowie Rohdichten, in kg/m^3 , für homogenes Brettschichtholz gemäss FprEN 14080

Eigenschaft	Symbol	Festigkeitsklasse von Brettschichtholz						
		GL 20h	GL 22h	GL 24h	GL 26h	GL 28h	GL 30h	GL 32h
Biegefestigkeit	$f_{m,g,k}$	20	22	24	26	28	30	32
Zugfestigkeit	$f_{t,0,g,k}$	16	17,6	19,2	20,8	22,3	24	25,6
	$f_{t,90,g,k}$	0,5						
Druckfestigkeit	$f_{c,0,g,k}$	20	22	24	26	28	30	32
	$f_{c,90,g,k}$	2,5						
Schubfestigkeit (Schub und Torsion)	$f_{v,g,k}$	3,5						
Rollschubfestigkeit	$f_{r,g,k}$	1,2						
Elastizitätsmodul	$E_{0,g,mean}$	8 400	10 500	11 500	12 100	12 600	13 600	14 200
	$E_{0,g,05}$	7 000	8 800	9 600	10 100	10 500	11 300	11 800
	$E_{90,g,mean}$	300						
	$E_{90,g,05}$	250						
Schubmodul	$G_{g,mean}$	650						
	$G_{g,05}$	540						
Rollschubmodul	$G_{r,g,mean}$	65						
	$G_{r,g,05}$	54						
Rohdichte	$\rho_{g,k}$	340	370	385	405	425	430	440
	$\rho_{g,mean}$	370	410	420	445	460	480	490

Die mechanischen Eigenschaften des BSH sind von den mechanischen Eigenschaften des Rohmaterials abhängig. Die FprEN 14080 gibt entsprechende Gleichungen für diese Abhängigkeiten an (Tabelle 4.3).

Tabelle 4.3: Festlegung der charakteristischen Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften, in N/mm², sowie Rohdichten, in kg/m³, von homogenem Brettschichtholz gemäss FprEN 14080

Eigenschaft		Charakteristische Werte
Biegefestigkeit (N/mm ²)	$f_{m,g,k}$	Die charakteristische Biegefestigkeit ist mit folgender Gleichung zu berechnen: $f_{m,g,k} = -2,2 + 2,5 f_{t,0,l,k}^{0,75} + 1,5(f_{m,j,k}/1,4 - f_{t,0,l,k} + 6)^{0,65}$ Diese Gleichung darf nur für eine charakteristische Flachkant-Biegefestigkeit der Keilzinkenverbindungen in folgendem Bereich angewendet werden: $1,4 f_{t,0,l,k} \leq f_{m,j,k} \leq 1,4 f_{t,0,l,k} + 12$ Die Gleichung ist auch auf Brettschichtholz ohne Keilzinkenverbindungen anwendbar, sofern für $f_{m,j,k}$ folgender Wert angesetzt wird: $f_{m,j,k} = 1,4 f_{t,0,l,k} + 12$
	$f_{t,0,g,k}$	Die charakteristische Zugfestigkeit ist mit 80 % des charakteristischen Wertes der Biegefestigkeit $f_{m,g,k}$ anzusetzen.
Zugfestigkeit (N/mm ²)	$f_{t,90,g,k}$	0,5
	$f_{c,0,g,k}$	Für die charakteristische Druckfestigkeit ist $f_{m,g,k}$ in N/mm ² anzusetzen, wobei $f_{m,g,k}$ die charakteristische Biegefestigkeit des Brettschichtholzes ist.
Druckfestigkeit (N/mm ²)	$f_{c,90,g,k}$	2,5
	$f_{v,g,k}$	3,5
Schubfestigkeit (N/mm ²)	$f_{r,g,k}$	1,2
	$E_{0,g,mean}$	Der mittlere Elastizitätsmodul ist mit $E_{0,g,mean} = 1,05 E_{t,0,l,mean}$ anzusetzen.
Elastizitätsmodul (N/mm ²)	$E_{90,g,mean}$	300
	$G_{g,mean}$	650
Schubmodul (N/mm ²)	$G_{r,g,mean}$	65
	$\rho_{g,k}$	1,1 $\rho_{l,k}$
Rohdichte (kg/m ³)	$\rho_{g,mean}$	$\rho_{l,mean}$

- $f_{t,0,l,k}$ charakteristischer Wert der Zugfestigkeit parallel zur Faserrichtung einer Lamelle
 $f_{m,j,k}$ charakteristischer Wert der Biegefestigkeit einer Keilzinkenverbindung
 $\rho_{l,k}$ charakteristischer Werte der Rohdichte der Lamellen
 $\rho_{l,mean}$ Mittelwert der Rohdichte der Lamellen

Für kombiniertes BSH sind die charakteristischen Eigenschaften mithilfe der elastischen Verbundtheorie aus den entsprechenden Werten für die verschiedenen Lamellenbereiche zu bestimmen, die als homogenes BSH betrachtet werden.

Die Festigkeitseigenschaften sind abhängig vom Bauteilvolumen. Die Werte in Tabelle 4.1 und Tabelle 4.2 gelten bezüglich Biegung und Zug parallel zur Faserrichtung für eine grössere Trägerabmessung als 600 mm und für Zug rechtwinklig zur Faserrichtung für ein Volumen von 0.01 m³.

4.2.5 Anforderungen an das Rohmaterial und Bereitstellung desselben

Zur Herstellung von BSH aus Fichte / Tanne werden Bretter verwendet, welche vorgängig einer Festigkeitssortierung unterworfen wurden. Letztere kann entweder mit visuellen oder mit maschinellen Methoden durchgeführt werden.

Bei der visuellen Festigkeitssortierung werden die Bretter auf Grund des Vorhandenseins und des Ausmasses von optisch feststellbaren Merkmalen (Astigkeit, Schrägfasrigkeit, Schnittart, etc.) in Fest-

tigkeitsklassen eingeteilt. Laut [10] sind die Parameter mit der besten Korrelation zur Festigkeit die Astigkeit, die Rohdichte und der E-Modul. Letztere beiden Parameter können jedoch mit visuellen Methoden nicht ausreichend genau bestimmt werden. Für eine genauere Bestimmung ist die Anwendung maschineller Methoden notwendig. Dies drängt sich insbesondere für die höheren Festigkeitsklassen auf und ist ab einer bestimmten Lamellenklasse zwingend vorgeschrieben.

Die maschinelle Festigkeitssortierung baut auf der Korrelation von apparativ messbaren Parametern (sogenannten Messgrössen oder Indikatoren) mit den mechanischen Eigenschaften (sogenannten Zielgrössen auf). Es existieren verschiedene Arten von Sortiermaschinen und –methoden, mit welchen einer oder mehrere Indikator(en) erfasst werden und daraus auf die massgeblichen Grössen Rohdichte, Steifigkeit und Festigkeit geschlossen wird [11]. Als Einzelparameter weist der Elastizitätsmodul die höchste Korrelation mit der Festigkeit auf; bei einer Mehrzahl von Parametern ist dies die Kombination aus E-Modul, Astigkeit und Rohdichte [10]. Je mehr Indikatoren zur Schätzung der mechanischen Eigenschaften und der Rohdichte der Bretter verwendet werden, desto grösser ist die Präzision der Sortierung, bei allerdings auch höherem Aufwand. Entscheidend ist nicht nur der Grad der Korrelation zwischen Mess- und Zielgrösse, sondern auch die Genauigkeit bzw. der Fehler bei der Messung des Indikators [10].

Für den Tragwiderstand von auf Biegung beanspruchten BSH-Trägern sind die Festigkeiten der äussersten Lamellen massgebend. Der Träger ist zwar einer Biegespannung ausgesetzt, die äussersten Lamellen jedoch mehrheitlich einer Zugspannung parallel zu Faserrichtung. Mit zunehmender Trägerhöhe verstärkt sich dieser Effekt. Daher werden die Biegeeigenschaften von BSH aus den Zugeigenschaften der Lamellen abgeleitet. Die Vorgängernorm der FprEN 14080, die EN 1194 verlangte daher folgerichtig eine Einteilung der Lamellen in Zugfestigkeitsklassen (sogenannte T-Klassen) und eine Festigkeitsprüfung der Lamellen auf Zug. Biegeversuche waren zulässig, sollten jedoch die Ausnahme bleiben. Unter dem Einfluss der Industrie, welche die mit einfacheren Maschinen durchführbaren Biegeversuche an Lamellen favorisierte, hat sich in der FprEN 14080 ein Wandel betreffend Lamellenprüfung eingestellt. Die Lamellen sind zwar immer noch in Zugfestigkeitsklassen einzuteilen (Tabelle 4.4), die Prüfung der Lamellen erfolgt jedoch im Normalfall auf Biegung und nur in Ausnahmefällen auf Zug. Da die Biegeeigenschaften des BSH aus den Zugeigenschaften der Lamellen abgeleitet werden (Tabelle 4.3), ist die Abkehr von der Priorisierung der Zugprüfung in Fachkreisen bis heute umstritten. Bekannt ist auch die Tatsache, dass das Verhältnis zwischen Zug- und Biegefestigkeit nicht konstant ist, wie dies die FprEN 14080 annimmt [12].

Tabelle 4.4: Charakteristische Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften für T-Klassen, in N/mm², sowie Rohdichten, in kg/m³, von Brettern oder Bohlen für Brettschichtholz gemäss FprEN 14080

T-Klasse der Bretter ^a	$f_{t,0,l,k}$	$E_{t,0,l,mean}$	$\rho_{l,k}$
T8 (C14)	8	7 000	290
T9	9	7 500	300
T10 (C16)	10	8 000	310
T11 (C18)	11	9 000	320
T12 (C20)	12	9 500	330
T13 (C22)	13	10 000	340
T14 (C24)	14	11 000	350
T14,5	14,5	11 000	350
T15	15	11 500	360
T16 (C27)	16	11 500	370
T18 (C30)	18	12 000	380
T21 (C35)	21	13 000	390
T22	22	13 000	390
T24 (C40)	24	13 500	400
T26	26	14 000	410
T27 (C45)	27	15 000	410

T-Klasse der Bretter ^a	$f_{t,0,l,k}$	$E_{t,0,l,mean}$	$\rho_{l,k}$
T28	28	15 000	420
T30 (C50)	30	15 500	430

Die Norm begrenzt die Lamellendicke auf maximal 45 mm. Massgebend für die Klassierung in die entsprechende T-Klasse sind die charakteristischen Werte der Zugfestigkeit parallel zur Faserrichtung $f_{t,0,l,k}$, der Rohdichte $\rho_{l,k}$ und des Zug-E-Moduls parallel zur Faserrichtung $E_{t,0,l,mean}$. Die Versuche sind gemäss EN 408 [13] durchzuführen und gemäss EN 384 [14] auszuwerten.

4.2.6 Anforderungen an die Keilzinkenstösse

Auf Grund der beschränkten Länge der Bretter werden diese mittels Keilzinkung zu Lamellen verbunden. Dadurch besteht auch die Möglichkeit, Schwachstellen in den Brettern zu entfernen und letztlich trotz Keilzinkung eine hohe mechanische Leistung bezüglich Steifigkeit und Festigkeit der Lamellen zu erzielen. Damit die Lamellen letztlich ausreichende Festigkeiten und Steifigkeiten aufweisen, werden an die Bretter und an die Keilzinkungen bestimmte Anforderungen gestellt. Die Tabelle 4.5 und die Tabelle 4.6 zeigen die je nach BSH-Festigkeitsklasse einzuhaltenden Anforderungen an die Zugfestigkeitsklasse der Lamellen und an die Biegefestigkeit $f_{m,j,k}$ der Keilzinkungen.

Tabelle 4.5: Balkenaufbau bei kombiniertem Brettschichtholz und Mindestwerte für die Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen in Lamellen, in N/mm^2 gemäss FprEN 14080

Brett- schicht- holz Festig- keits- klasse	Lamellen Randbereich			Lamellen Zwischenbereich			Lamellen Kern		
	Festig- keits- klasse	Anteil	$f_{m,j,k}$	Festig- keits- klasse	Anteil	$f_{m,j,k}$	Festig- keits- klasse	Anteil	$f_{m,j,k}$
		[%]	[N/mm ²]		[%]	[N/mm ²]		[%]	N/mm ²]
GL 20c	T13	2 × 33	21	–	–	–	T8	34	18
GL 22c	T13	2 × 33	26	–	–	–	T8	34	18
GL 24c	T14	2 × 33	31	–	–	–	T9	34	19
GL 26c	T16	2 × 33	34	–	–	–	T11	34	22
GL 28c	T18	2 × 25	37	–	–	–	T14	50	28
GL 28c	T21	2 × 17	36	–	–	–	T14	66	26
GL 28c	T21	2 × 17	38	–	–	–	T13	66	25
GL 28c	T21	2 × 25	35	–	–	–	T11	50	22
GL 28c	T21	2 × 20	35	T14	2 × 20	28	T11	20	22
GL 28c	T22	2 × 20	35	–	–	–	T13	60	25
GL 30c	T22	2 × 17	40	–	–	–	T15	66	27
GL 30c	T22	2 × 17	41	–	–	–	T14	66	28
GL 30c	T22	2 × 20	40	T14	2 × 20	30	T11	20	22
GL 30c	T22	2 × 17	42	T14	2 × 23	31	T11	20	22
GL 32c	T24	2 × 17	44	–	–	–	T18	66	31
GL 32c	T26	2 × 17	45	–	–	–	T14	66	26
GL 32c	T26	2 × 10	48	T18	2 × 20	32	T11	40	22

Tabelle 4.6: Balkenaufbau von homogenem Brettschichtholz und Mindestwerte für die Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen in Lamellen, in N/mm^2 gemäss FprEN 14080

Festigkeitsklasse des Brettschichtholzes	Festigkeitsklasse der Lamellen	$f_{m,j,k}$
GL 20h	T10	25
GL 20h	T11	22
GL 22h	T13	25
GL 24h	T14	30
GL 26h	T16	33
GL 28h	T18	36
GL 30h	T21	38
GL 30h	T22	37
GL 32h	T24	41
GL 32h	T26	38

4.2.7 Anforderungen an die Flächenverklebung

Die verwendeten Klebstoffe müssen in der Lage sein, den Klebverbund in den Feuchteklassen (Nutzungsklassen) in welchen das BSH-Bauteil eingesetzt wird, dauerhaft zu gewährleisten. Dies kann mittels Delaminierungsversuchen gemäss Anhang C der FprEN 14080 (bzw. früher EN 391 [8]) oder mittels Blockscherversuchen gemäss Anhang D der FprEN 14080 (bzw. früher EN 392 [9]) geprüft bzw. nachgewiesen werden.

4.2.8 Weitere Anforderungen

Je nach Einsatzzweck des BSH-Bauteils sind weitere Anforderungen einzuhalten, z.B. bezüglich:

- Dauerhaftigkeit (kein biologischer Befall)
- Feuerwiderstandsfähigkeit
- Brandverhalten
- Formaldehydabgabe
- Freisetzung von / Gehalt an weiteren gefährlichen Stoffen
- Massabweichungen.

Die Details dazu können der FprEN 14080 entnommen werden.

4.2.9 Mindestanforderungen an die Produktion

Die Mindestanforderungen an die Produktion von FprEN 14080-konformem BSH sind im Anhang I der Norm im Detail festgelegt. Die Norm stellt Anforderungen an:

- Personal
- Herstellungs- und Lagerräume: Trocknungs- und Lagermöglichkeiten für Holz, Möglichkeiten zur Verarbeitung und Lagerung von Klebstoffen, Möglichkeiten für die Herstellung und Aushärtung
- Geräte
- Keilzinkenverbindungen in Lamellen: Baumkante und Kantenbeschädigung, Keilzinkengeometrie, Äste und örtliche Faserabweichungen, Feuchtegehalt zum Zeitpunkt der Verklebung, zu verbindende Oberflächen und Klebstoffauftrag (manuell oder maschinell), Zeit zwischen Schneiden und Verkleben, Pressdruck, Aushärtung
- Verklebung der Lamellen: zulässige endgültige Lamellenmasse und Krümmungsradien, Lamellen bestehend aus 2 nebeneinanderliegenden Brettern, Nuten in Lamellen, Ausrichtung der Lamellen im Querschnitt, Feuchtegehalt zum Zeitpunkt der Verklebung, Hobeln der Lamellen, zu verbindende Oberflächen und Klebstoffauftrag, Klebfugendicke, Pressdruck, Aushärtung
- BSH mit Universal-Keilzinkenverbindungen und Verbundbauteile aus BSH.

4.2.10 Qualitätskontrolle

Die Übereinstimmung des hergestellten Produktes mit den Anforderungen der FprEN 14080 ist durch eine Erstprüfung und durch eine laufende Produktionskontrolle durch den Hersteller nachzuweisen. Dabei muss der Hersteller jederzeit die Gesamtkontrolle in der Qualitätssicherung behalten und über die notwendigen Mittel verfügen, um die Verantwortung für das Produkt zu übernehmen. Umfang, Verfahren und massgebende Normen bzw. Kriterien für die Erfüllung sind sowohl für die Erstprüfung als auch für die laufende Produktionskontrolle durch die FprEN 14080 vorgegeben.

4.3 Situation in der Schweiz

4.3.1 Massgebende Normen

Für den Einsatz von BSH-Bauteilen in der Schweiz sind die Normen des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins SIA massgebend, für den Export in den Europäischen Wirtschaftsraum jedoch die Europäischen Produktnormen EN.

4.3.2 Querschnittsaufbauten, Festigkeitsklassen und Bemessungswerte

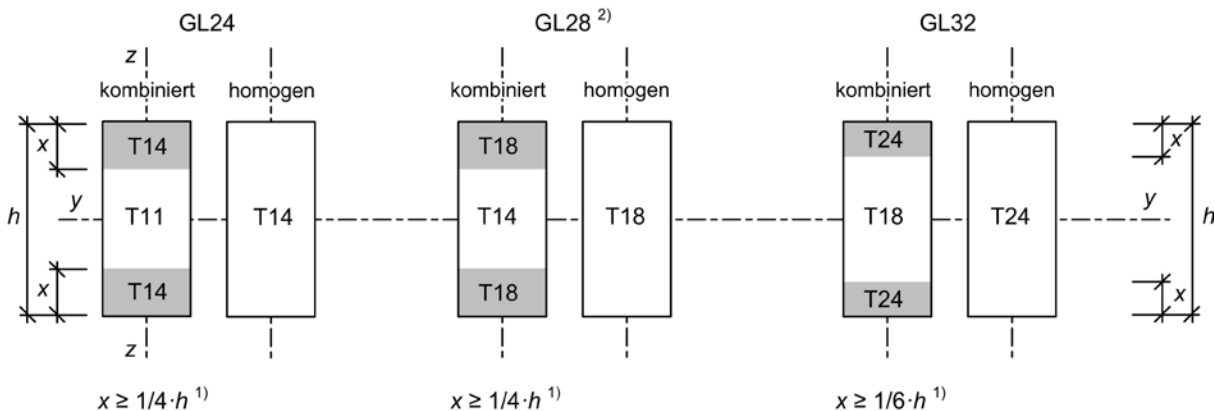
Die Schweizer Norm SIA 265:2012 [15] gibt Bemessungswerte für BSH der Festigkeitsklassen GL24, GL28, GL32 und GL36 an (Tabelle 4.7). Die Querschnittsaufbauten sind homogen (Zusatz „h“ in der Festigkeitsklassenbezeichnung) oder kombiniert (Zusatz „k“ in der Festigkeitsklassenbezeichnung). Die Ableitung der Bemessungswerte aus den charakteristischen Festigkeitswerten und den früher verwendeten zulässigen Spannungen ist in [16] erläutert.

Tabelle 4.7: Kennzeichnende Eigenschaften und Bemessungswerte für Brettschichtholz aus Nadelholz gemäss Norm SIA 265:2012

Festigkeitsklassen				normales BSH				hochwertiges BSH ⁵⁾			
				GL24k	GL24h	GL28k	GL28h	GL32k	GL32h	GL36k	GL36h
Kennzeichnende Eigenschaften ¹⁾											
– Biegefestigkeit				$f_{m,k}$	N/mm ²	24	24	28	28	32	32
– mittl. Biege-Elast.-modul				$E_{m,mean}$	N/mm ²	11 000	11 000	12 000	12 000	13 000	13 000
Bemessungswerte ¹⁾											
Festigkeit	Biegung	$f_{m,d}$	N/mm ²	16	16	18,5	18,5	21	21	24	24
	Zug zur Faserrichtung	$f_{t,0,d}$	N/mm ²	10	12	12	14	14	16	16	18
	Druck zur Faserrichtung	$f_{c,0,d}$	N/mm ²	13	14,5	16	17	17,5	19	18	20,5
	Zug ⊥ zur Faserrichtung	$f_{t,90,d}$	N/mm ²	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	Druck ⊥ zur Faserrichtung	$f_{c,90,d}$	N/mm ²	1,9	1,9	2,0	2,0	2,1	2,1	2,2	2,2
	– generell		N/mm ²	1,9	1,9	2,0	2,0	2,1	2,1	2,2	2,2
	– mit Vorholz ^{2) 3)}		N/mm ²	2,5 (4,0)	2,5 (4,0)	2,7 (4,3)	2,7 (4,3)	2,8 (4,4)	2,8 (4,4)	3,0 (4,7)	3,0 (4,7)
	– Endauflagerung ³⁾		N/mm ²	2,5 (4,0)	2,5 (4,0)	2,7 (4,3)	2,7 (4,3)	2,8 (4,4)	2,8 (4,4)	3,0 (4,7)	3,0 (4,7)
Schub				$f_{v,d}$	N/mm ²	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
Steifigkeit	$E_{0,mean}$ in Faserrichtung ⁴⁾	$E_{m,mean}$ $E_{t,0,mean}$ $E_{c,0,mean}$	N/mm ²	11 000	11 000	12 000	12 000	13 000	13 000	14 000	14 000
	$E_{90,mean}$ ⊥ zur Faserricht. ⁴⁾	$E_{t,90,mean}$ $E_{c,90,mean}$	N/mm ²	300	300	300	300	400	400	400	400
	Schubmodul ⁴⁾	G_{mean}	N/mm ²	500	500	500	500	600	600	600	600
Rohdichte ¹⁾				ρ_k	kg/m ³	350	380	380	410	430	450
¹⁾ Eigenschaften und Bemessungswerte beziehen sich auf eine Holzfeuchte von 12%. ²⁾ Das Vorholz muss beidseitig mindestens 100 mm betragen. Andernfalls ist mit dem generellen Wert zu rechnen. ³⁾ Der höhere (Klammer-)Wert ist nur dort zulässig, wo die auftretenden grösseren Eindrückungen nachweisbar ohne Einfluss auf den Bestand des tragenden Bauteils sind. ⁴⁾ 5%-Fraktilwerte sind auf das 0,85-Fache der Mittelwerte festgelegt. ⁵⁾ Für diese Klassen (basieren auf maschinell sortierten Lamellen) ist die Erhältlichkeit abzuklären.											

Die Biegeeigenschaften von Brettschichtholz sind auf der Grundlage normierter Versuche zu bestimmen, oder sie leiten sich von den Holzeigenschaften auf Zug und den Stosseigenschaften auf Zug der einzelnen Schichten (bzw. auf Biegung beim Vorliegen von Gesamtstössen) sowie vom Trägeraufbau ab.

Die Norm SIA 265/1:2009 [17] bzw. deren Korrigenda vom 04.11.2012 (www.sia.ch/korrigenda) legen die Querschnittsaufbauten für die in der Schweiz üblicher Weise verwendeten BSH-Klassen (Abbildung 4.1) und die dazu erforderlichen Lamelleneigenschaften fest (Tabelle 4.8). Für die Anforderungen an die Produktion von Brettschichtholz der Festigkeitsklassen GL36k und GL36h ist die in 4.3.1 erwähnte SFH-Richtlinie massgebend.



¹⁾ aber mindestens 2 Lamellen

²⁾ Alternative Querschnittsaufbauten für kombiniertes BSH GL28k:

- T21 anstelle von T18 und T11 anstelle von T14
- T21 anstelle von T18, wobei die Randzonenhöhe bis zu einem Minimalwert von $x \geq 1/5 \cdot h$ (aber mindestens 2 Lamellen) reduziert werden kann.

T11: Bezeichnung der Lamellen, mit:

T = Zug

11 = charakteristischer Wert der Zugfestigkeit in N/mm^2 .

Abbildung 4.1: Querschnittsaufbauten von BSH gemäss Norm SIA 265/1 bzw. FprEN 14080

Tabelle 4.8: Erforderliche Eigenschaften der gekappten Bretter und Stösse gemäss Norm SIA 265/1 bzw. FprEN 14080

Bezeichnung der Lamellen		T11	T14	T18	T21	T24 ³⁾
Charakteristischer Wert der Zugfestigkeit in N/mm^2	$f_{t,0,k}$ ¹⁾	11	14	18	21	24
Mittlerer Zug-E-Modul in N/mm^2	$E_{t,0,mean}$	9000	11 000	12 000	13 000	13 500
Charakteristischer Wert der Rohdichte in kg/m^3	ρ_k	320	350	380	390	400
Charakteristischer Wert der Biegefestigkeit der Keilzinkenstösse in N/mm^2 für den homogenen Querschnittsaufbau	$f_{m,j,k}$ ⁴⁾	22	30	36	38	41
Charakteristischer Wert der Biegefestigkeit der Keilzinkenstösse in N/mm^2 für den kombinierten Querschnittsaufbau	$f_{m,j,k}$ ⁴⁾	22	32	37	38	44
¹⁾ bestimmt für den vollen Brettquerschnitt und über eine freie Länge von 2000 mm. ²⁾ bestimmt für den vollen Stossquerschnitt und über eine freie Länge von ≥ 200 mm. ³⁾ Erhältlichkeit abklären (bedingt maschinelle Sortierung) ⁴⁾ bestimmt gemäss FprEN 14080.						

Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte von Brettschichtholz mit anderem als dem in Abbildung 4.1 angegebenen Lamellenaufbau sind unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Elastizitätsmoduln der einzelnen Schichten zu ermitteln. Der charakteristische Wert der Rohdichte darf wie für homogenes Brettschichtholz, hergestellt aus der niedrigsten Festigkeitsklasse der verwendeten Lamellen, angenommen werden.

4.3.3 Anforderungen an die Produktion von BSH und an das Produkt

Die in Tabelle 4.7 angegebenen Bemessungswerte setzen ein BSH voraus, das unter einer fremdkontrollierten Eigenüberwachung gemäss den Richtlinien der Schweizerischen Fachgemeinschaft Holzleimbau SFH (oder gemäss SN EN 14080) hergestellt wurde.

Je nach Verwendungszweck ergeben sich für Brettschichtholz bezüglich Dauerhaftigkeit, Festigkeit, Fugenbeständigkeit oder Steifigkeit unterschiedliche Anforderungen. Diese sind ausgehend vom Tragwerkskonzept vorgängig festzulegen. Spezielle Anforderungen bezüglich Erscheinung, Masshaltigkeit, Bearbeitung und Beschaffenheit der Oberfläche sind in Abhängigkeit des Verwendungszwecks gesondert festzulegen. Diesbezügliche Angaben sind in den Qualitätskriterien für Holz und Holzwerkstoffe im Bau und Ausbau – Handelsgebräuche [18] für die Schweiz zu finden.

Die Verklebungen (Keilzinkenstösse von Lamellen und Flächenverklebungen) haben den Anforderungen gemäss Norm SIA 265:2012 [15], Ziffer 6.11 zu genügen.

4.3.4 Unterschied zur Situation Europa

Auch in der Schweiz ist also, nicht zuletzt auch auf Wunsch der Schweizerischen Fachgemeinschaft Holzleimbau SFH die FprEN 14080 massgebend für die Produktion von BSH. Allerdings kann BSH für den Schweizer Markt auch nach den SFH-Richtlinien produziert werden. Dadurch bleibt die Herstellung von BSH der Festigkeitsklassen GL36h und GL36k weiterhin möglich. Diese BSH-Klassen waren in der Vorgängernorm zur FprEN 14080, der EN 1194 noch enthalten und werden durch mindestens einen Betrieb in der Schweiz hergestellt.

4.4 Literatur zu Kapitel 4

1. Europäisches Komitee für Normung CEN 2013: FprEN 14080: Holzbauwerke - Brettschichtholz und Balkenschichtholz - Anforderungen.
2. Europäisches Komitee für Normung CEN 1999: EN 1194: Holzbauwerke - Brettschichtholz - Festigkeitsklassen und Bestimmung charakteristischer Werte.
3. Europäisches Komitee für Normung CEN 2005: EN 14080: Holzbauwerke - Brettschichtholz – Anforderungen.
4. Europäisches Komitee für Normung CEN 2001: EN 385: Keilzinkenverbindungen im Bauholz - Leistungsanforderungen und Mindestanforderungen an die Herstellung.
5. Europäisches Komitee für Normung CEN 2001: EN 386: Brettschichtholz - Leistungsanforderungen und Mindestanforderungen an die Herstellung.
6. Europäisches Komitee für Normung CEN 2001: EN 387: Brettschichtholz - Universal-Keilzinkenverbindungen - Leistungsanforderungen und Mindestanforderungen an die Herstellung.
7. Europäisches Komitee für Normung CEN 1994: EN 390: Brettschichtholz - Masse - Grenzabmasse.
8. Europäisches Komitee für Normung CEN 2001: EN 391: Brettschichtholz - Delaminierungsprüfung von Klebstofffugen.
9. Europäisches Komitee für Normung CEN 1995: EN 392: Brettschichtholz - Scherprüfung der Klebstofffugen.
10. Glos P. 1983: Die technischen Möglichkeiten der Schnittholzsortierung im Mittel- und Kleinbetrieb. Bulletin der Schweizerischen Arbeitsgemeinschaft für Holzforschung SAH. 13-35.
11. Meierhofer U.A., Richter K. 1990: Sortierung und Qualität von Bauholz - Teil 4: Apparative Möglichkeiten zur Erfassung der Holzcharakteristika. Schweizer Ingenieur und Architekt 116(39): 1100-1106.

12. Steiger R., Arnold M. 2009: Strength grading of Norway spruce structural timber: revisiting property relationships used in EN 338 classification system. Wood Science and Technology 43(3-4): 259-278.
13. Europäisches Komitee für Normung CEN 2010: EN 408: Holzbauwerke - Bauholz für tragende Zwecke und Brettschichtholz - Bestimmung einiger physikalischer und mechanischer Eigenschaften.
14. Europäisches Komitee für Normung CEN 2010: EN 384: Holzbauwerke - Bestimmung charakteristischer Werte für mechanische Eigenschaften und Rohdichte.
15. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein SIA, 2012: Norm SIA 265 - Holzbau.
16. Steiger R. 2003: Tragsicherheit: Bemessungskonzept und Baustoffe. SIA-Dokumentation D 0185 - Einführung in die Norm SIA 265 Holzbau. 2003. 31-50.
17. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein SIA, 2009: Norm SIA 265/1: Holzbau - Ergänzende Festlegungen.
18. Holzbau Schweiz 2010: Qualitätskriterien für Holz und Holzwerkstoffe im Bau und Ausbau Handelsgebräuche für die Schweiz. Lignum, Zürich

5. Normierung von Vollholz für tragende Zwecke

5.1 Situation Europa

5.1.1 Massgebende Normen

Im Europäischen Wirtschaftsraum sind die Normen EN 336 [1], EN 338 [2], EN 1912 [3] und EN 14081-1 bis -4 [4-7] massgebend für tragend eingesetztes Vollholz.

5.1.2 Einteilung in Festigkeitsklassen

Die EN 338 gibt ein Festigkeitsklassensystem für Vollholz und die je nach Festigkeitsklasse anzusetzenden charakteristischen Werte der Steifigkeit, der Festigkeit und der Rohdichte vor (Tabelle 5.1). Die Nadelholz-Festigkeitsklassen werden als C14 bis C50 bezeichnet, die Laubholz-Festigkeitsklassen als D18 bis D70. Der Buchstabe C steht dabei für „coniferous“, der englischen Übersetzung von „zapfentragend“, der Buchstabe D für „deciduous“, der englischen Übersetzung von „laubabwerfend“. Die Zahl entspricht dem charakteristischen Wert (5%-Fraktilwert) der Biegefestigkeit bei einer Bezugshöhe von 150 mm und einer Holzfeuchte, welche sich in einem Umgebungsklima von 20°C und 65% relativer Luftfeuchte einstellt. Bei der Einteilung in die C- und D-Klassen ist die Holzart nicht massgebend.

Tabelle 5.1: Europäisches Festigkeitsklassensystem für Vollholz [2]

		Nadelholz												Laubholz									
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70		
Festigkeitseigenschaften (in N/mm ²)																							
Biegung	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	18	24	30	35	40	50	60	70		
Zug in Faserrichtung	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	11	14	18	21	24	30	36	42		
Zug rechtwinklig zur Faserrichtung	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6		
Druck in Faserrichtung	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	18	21	23	25	26	29	32	34		
Druck rechtwinklig zur Faserrichtung	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	7,5	7,8	8,0	8,1	8,3	9,3	10,5	13,5		
Schub	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	5,0		
Steifigkeitseigenschaften (in kN/mm ²)																							
Mittelwert des Elastizitätsmoduls in Faserrichtung	$E_{0,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16	9,5	10	11	12	13	14	17	20		
5 %-Quantil des Elastizitätsmoduls in Faserrichtung	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7	8	8,5	9,2	10,1	10,9	11,8	14,3	16,8		
Mittelwert des Elastizitätsmoduls rechtwinklig zur Faserrichtung	$E_{90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,63	0,67	0,73	0,80	0,86	0,93	1,13	1,33		
Mittelwert des Schubmoduls	G_{mean}	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00	0,59	0,62	0,69	0,75	0,81	0,88	1,06	1,25		
Rohdichte (in kg/m ³)																							
Rohdichte	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	475	485	530	540	550	620	700	900		
Mittelwert der Rohdichte	ρ_{mean}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	570	580	640	650	660	750	840	1 080		
ANMERKUNG 1 Die oben angegebenen Werte für die Zug-, Druck- und Schubfestigkeit, das 5 %-Quantil des Elastizitätsmoduls, der Mittelwert des Elastizitätsmoduls rechtwinklig zur Faserrichtung und der Mittelwert des Schubmoduls wurden mit den in Anhang A angegebenen Gleichungen berechnet.																							
ANMERKUNG 2 Die tabellierten Eigenschaften gelten für Holz mit einem bei 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte üblichen Feuchtegehalt.																							
ANMERKUNG 3 Es kann sein, dass Bauholz der Klasse C45 und C50 nicht immer zur Verfügung steht.																							
ANMERKUNG 4 Die charakteristischen Werte für die Schubfestigkeit werden entsprechend EN 408 für Holz ohne Risse angegeben. Die Auswirkung von Rissen sollte in Bemessungsnormen behandelt werden.																							

Für die Einstufung in eine bestimmte Festigkeitsklasse sind die Biegefestigkeit, der Biege-E-Modul und die Rohdichte (nicht jedoch die Holzart!) massgebend. Diese Parameter werden deshalb als kennzeichnende Eigenschaften bezeichnet. Sie sind in normierten Versuchen [8, 9] bei Standardklima (20°C, 65% rel. Luftfeuchte) an repräsentativen Stichproben zu ermitteln.

Aus den kennzeichnenden Eigenschaften werden die restlichen für die Bemessung von Bauteilen nötigen mechanischen Eigenschaften abgeleitet. Dazu verwendet die EN 338 die folgenden Beziehungen:

Zugfestigkeit in Faserrichtung	$f_{t,0,k} = 0.6 f_{m,k}$
Druckfestigkeit in Faserrichtung	$f_{c,0,k} = 5(f_{m,k})^{0.45}$
Schubfestigkeit	$f_{v,k}$ ist der Tabelle 5.1 zu entnehmen
Zugfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung	$f_{t,90,k} = 0.4 \text{ N/mm}^2$ für Nadelhölzer
	$f_{t,90,k} = 0.6 \text{ N/mm}^2$ für Laubhölzer
Druckfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung	$f_{c,90,k} = 0.007 \rho_k$ für Nadelhölzer
	$f_{c,90,k} = 0.015 \rho_k$ für Laubhölzer
Elastizitätsmodul in Faserrichtung	$E_{0,05} = 0.67 E_{0,mean}$ für Nadelhölzer
	$E_{0,05} = 0.84 E_{0,mean}$ für Laubhölzer
Mittelwert des Elastizitätsmoduls rechtwinklig zur Faserrichtung	$E_{90,mean} = E_{0,mean}/30$ für Nadelhölzer
	$E_{90,mean} = E_{0,mean}/15$ für Laubhölzer
Mittelwert des Schubmoduls	$G_{mean} = E_{0,mean}/16$
Mittelwert der Rohdichte	$\rho_{mean} = 1.2 \rho_k$

Die meisten dieser Zusammenhänge wurden für Nadelholz abgeleitet. Man nimmt an, dass sie auch für Laubholz gültig sind.

5.1.3 Festigkeitssortierung

Die Festigkeitssortierung kann mittels visueller oder mittels maschineller Methoden erfolgen.

5.1.3.1 Visuelle Festigkeitssortierung

Bei der visuellen Festigkeitssortierung erfolgt die Klassierung des Holzes nach den folgenden Merkmalen:

- Holzart
- Wuchsmerkmale (Jahringbreite, Reaktionsholz, Schrägfasrigkeit, Astigkeit, Überwallungen, Splint- und Kernholz, Harztaschen und Harzstellen)
- physikalischen Eigenschaften (Dichte, Holzfeuchte)
- biologischen Schädigungen (Pilz-, Insektenbefall)
- mechanischen Schädigungen am stehenden Baum beim Fällen, beim Transport und bei der Verarbeitung (Stauchungen, Quetschungen, Risse)
- Rissen (Innenrisse infolge unsachgemässer Trocknung, Querrisse, Schälrisse)
- Verformungen (Krümmung, Verwölbung, Verwindung)
- Schnittart (Mark, Rift, Halbrift, markdurchschnitten, Seitenware, Baumkante)
- Querschnittsabmessungen.

Bei der visuellen Sortierung ergeben sich die folgenden Probleme:

- Wichtige, die mechanischen Eigenschaften des Holzes stark beeinflussende Merkmale sind visuell gar nicht (z. B. Dichte, Holzfeuchte) oder erst nach dem Einschnitt erkennbar. Visuell lässt sich die Dichte lediglich auf Basis der Jahringbreite abschätzen.
- Der Zeitbedarf zur exakten Erfassung der Sortiermerkmale ist hoch. In der Produktionspraxis steht jedoch die Effizienz im Vordergrund. Die zur visuellen Klassierung des Holzes zur Verfügung stehende Zeit ist knapp, denn die Sortierung erfolgt meist im Durchlaufverfahren. Daher werden die Hölzer nicht in erster Linie auf Grund der (häufig unsichtbaren) guten Eigenschaften klassiert, sondern wegen offensichtlich vorhandenen Strukturstörungen (Äste, Schrägfas-

rigkeit, Reaktionsholz, Risse, Baumkante, Mark) deklassiert. Die visuelle Sortierung ist also primär eine Negativauslese.

- Von Auge sind vor allem die Äste erkennbar. Visuelle Sortierung unter beschränkten Zeitverhältnissen orientiert sich daher vorwiegend an der Astigkeit. Die Korrelation Astigkeit / Festigkeit ist allerdings schwach.
- Die visuelle Sortierung ist weder objektiv (2 Sortierer erhalten das gleiche Resultat), noch reproduzierbar (1 Sortierer erhält bei Wiederholung der Sortierung das gleiche Resultat), noch trennscharf.
- Das vorhandene Potential des Rohmaterials kann mittels der visuellen Sortierung also nicht optimal genutzt werden. Mittels einer maschinellen Sortierung könnte man die Ausbeute verbessern.

5.1.3.2 Maschinelle Festigkeitssortierung

Um den Problemen der visuellen Sortierung zu begegnen, wurden beginnend ab den frühen 1960er Jahren v.a. in den USA und in Australien, in neuerer Zeit auch in Europa diverse maschinelle Verfahren zur Holzsortierung entwickelt. Die verwendeten Techniken beruhen auf der apparativen Messung von Holzmerkmalen, welche gut mit den kennzeichnenden Eigenschaften (Biege-Elastizitätsmodul, Biegefestigkeit und Dichte) korrelieren. Für die Holzart Fichte sind in Tabelle 5.2 sind Korrelationskoeffizienten R für die Zusammenhänge zwischen der Zug- und der Druckfestigkeit parallel zur Faser ($f_{c,0}$, $f_{t,0}$) sowie der Biegefestigkeit f_m und den Sortierparametern Astigkeit, Faserneigung, Dichte, Jahrringbreite, Elastizitätsmodul jeweils als Einzelindikator oder in Kombination untereinander zusammengestellt.

Tabelle 5.2: Korrelationskoeffizienten R zwischen möglichen Sortierparametern und Festigkeitseigenschaften für die Holzart Fichte [10]

Sortierparameter	Korrelation mit		
	f_m	$f_{t,0}$	$f_{c,0}$
Astigkeit	0.5	0.6	0.4
Faserneigung	0.2	0.2	0.1
Dichte	0.5	0.5	0.6
Jahrringbreite	0.4	0.5	0.5
Astigkeit + Jahrringbreite	0.5	0.6	0.5
Astigkeit + Dichte	0.7 – 0.8	0.7 – 0.8	0.7 – 0.8
Elastizitätsmodul E	0.7 – 0.8	0.7 – 0.8	0.7 – 0.8
E + Dichte	0.7 – 0.8	0.7 – 0.8	0.7 – 0.8
E + Astigkeit	> 0.8	> 0.8	> 0.8

Der Elastizitätsmodul ist dasjenige Einzelkriterium, welches den höchsten Korrelationskoeffizienten mit der Festigkeit aufweist. Die Korrelation kann nur durch Hinzunahme des Kriteriums Astigkeit noch verbessert werden. Die zur messtechnischen Erfassung dieser Sortierparameter angewandten Methoden werden nachfolgend kurz beschrieben [11]:

Astigkeit

Die Astigkeit kann durch oberflächliches Scannen mittels Photo- und Videokameras, welche das menschliche Auge imitieren, ermittelt werden. Neuartige Röntgenscanner können auch das Innere der Hölzer erfassen und geben somit einen Eindruck über die Tiefenwirkung der Äste und über von außen nicht sichtbare Fehlstellen.

Faserneigung

Die Faserneigung kann mittels Oberflächenscannern oder Durchstrahlung erfasst werden.

Jahrringbreite

Die Messung der Jahrringbreite ist nur an den Stirnseiten der Hölzer möglich. Zur Messung werden sogenannte Stirnseiten-Scanner eingesetzt.

Dichte und Holzfeuchte

Die Dichte wird entweder mittels eines Röntgenscanners bestimmt oder aus der Masse eines Holzstücks und dessen Abmessungen errechnet. Die Masse wird durch einfaches Wägen bestimmt. Da die Dichte von der Holzfeuchte abhängig ist, muss auch diese gemessen werden, z. B. mittels eines elektrischen Widerstandsmessgeräts. Der Röntgenscanner ist in der Lage, nicht nur die Dichte(verteilung) in einem Holzstück zu ermitteln, sondern auch die Holzfeuchte.

Bei der Anwendung der Pylodyn-Methode wird aus dem Widerstand, den eine Nadel beim Einpressen in das Holz erfährt, auf die Dichte geschlossen. Allerdings ist dies nur eine lokale Information und kann zu Fehlinterpretationen bei Messungen in Astbereichen führen.

Elastizitätsmodul

Der Elastizitätsmodul wird entweder mittels einer mechanischen Belastung oder mittels dynamischer Methoden bestimmt. Bei der statischen Methode steht die Biegebelastung und deren apparative Umsetzung, der Stress Grader im Vordergrund. Dass anstelle des statischen auch der dynamische E-Modul bestimmt werden kann, wurde in diversen Forschungsarbeiten gezeigt. Ermittelte Korrelationen zwischen dem dynamischen und dem statischen E-Modul liegen um 0.8 – 0.9 [12-14].

5.1.3.3 Auf dem Markt erhältliche Sortiermaschinen

Die auf dem Markt erhältlichen Sortiermaschinen können in die folgenden Gruppen eingeteilt werden [11]:

Biegemaschinen (Stress Grader)

Diese Art von Sortiermaschinen klassiert das Holz im Durchlaufverfahren auf Grund der gemessenen Steifigkeit. Das Biegemoment wird mittels einer Abfolge von Gruppen von Rollen erzeugt. Zur Messung der Steifigkeit ist mindestens eine der Rollenbatterien mit einer Federlagerung ausgerüstet. Die Biegung erfolgt entweder einseitig oder zweiseitig. Während die amerikanischen Maschinen Bretter bis zu einer maximalen Dicke von 38 mm mit 200 bis 300 m/min. sortieren, haben die Europäischen Maschinen Durchlaufgeschwindigkeiten von 90 bis 160 m/min und können Holzquerschnitte bis zu einer maximalen Dicke von 75 mm sortieren [10].

Scanner

Unter dem Stichwort „Scanner“ sind Sortiermaschinen gemeint, welche das Holz entweder auf Grund einer Analyse der Oberfläche oder auf Grund einer Durchstrahlung sortieren.

Der Oberflächen-Scanner imitiert das menschliche Auge und erzeugt mittels Laser-Scanning oder photo-optisch ein Bild der Holzoberfläche, das nach Detektions- und Digitalisierungsschritten im Computer analysiert wird. Registriert werden Äste, Risse und Verfärbungen sowie die Geometrie des Holzstücks, dies zwecks Optimierung des Einschnitts.

Geräte nach dem Durchstrahlungsverfahren erfassen berührungsfrei physikalische Holzeigenschaften wie Masse, Dichteunterschiede und dielektrische Eigenschaften. Aus letzteren kann auf die Holzfeuchte geschlossen werden. Hauptsächlich werden Röntgen- und Kernstrahlen verwendet. Es kommen jedoch auch Mikrowellen zum Einsatz [15].

Neueste Entwicklungen der Röntgentomografie machen es möglich, ein räumliches Bild von Struktureigenschaften des Holzes mittels Computer zu produzieren, abzuspeichern und in beliebigen Schritten abzurufen. Damit kann ein Stamm bzw. ein Schnittholzstück mit all seinen Strukturstörungen vollständig erfasst und digital verarbeitet werden [16].

Maschinen auf Basis von Schwingungsverfahren

Neuere Entwicklungen der Sortiermaschinen-Hersteller verwenden zunehmend auch dynamische Methoden zur Ermittlung des Elastizitätsmoduls. Diese Maschinen haben gegenüber den Stress Graden den Vorteil, dass die Querschnittsabmessungen nicht auf Dicken von maximal 75 mm beschränkt bleiben. Eingesetzt werden Spannungswellen und Schallwellen.

Maschinen mit kombinierten Methoden

In Europa werden vermehrt sogenannte Kombi-Maschinen produziert und eingesetzt [10, 17, 18], welche auf der Erfassung verschiedener Holzmerkmale beruhen. In Tabelle 5.3 sind die in Deutschland zugelassenen Sortiermaschinen zusammengestellt und die Sortiermerkmale, welche sie erfassen, aufgelistet.

Tabelle 5.3: In Deutschland zugelassene Kombi-Grader: Erfasste Merkmale, verwendete Messtechnik

Sortiermaschine	Sortiermerkmal	Messtechnik
Grademaster 403 (Dimter)	E-Modul	Längsschwingung
	Astigkeits	Oberflächen-Scan
	Dichte	Wägung
	Abmessungen	Oberflächen-Scan
Eurogrecomat 702 (Grecon)	Astigkeits	Durchstrahlung
	Dichte	Durchstrahlung
Eurogrecomat 904 (Grecon)	E-Modul	Biegung
	Astigkeits	Durchstrahlung
	Dichte	Durchstrahlung
Goldeneye (Microtec)	Astigkeits	Oberflächen-Scan
	Dichte	Durchstrahlung

5.1.3.4 Normen für die Festigkeitssortierung

Visuelle Festigkeitssortierung

Da kein Konsens für eine europäische Norm zur Festigkeitssortierung von Vollholz gefunden werden konnte, erfolgt die Festigkeitssortierung weiterhin nach nationalen Sortiernormen. Die EN 14081-1 [4] spezifiziert die Anforderungen, welchen die nationalen Sortiernormen zu genügen haben.

Nadelholz-Festigkeitsklassen von C40 und höher verlangen zwingend eine maschinelle Sortierung. Zur Sortierung der Laubholzarten Buche, Esche, Eiche, Ahorn und Edelkastanie existieren in Deutschland und Italien nationale Sortiernormen, welche eine Einteilung in die folgenden Sortierklassen zulassen (Tabelle 5.4):

Tabelle 5.4: Zuordnung von Sortierklassen von Laubholzarten zu Festigkeitsklassen (FK) [3]

FK	Land, das die Sortiervorschrift veröffentlicht	Sortierklasse	Holzart	Herkunft	Botanische Bezeichnung	Bemerkung
D40	Deutschland	LS 13 ≥ LS 10	Buche Esche	Deutschland Deutschland	<i>Fagus sylvatica</i> <i>Fraxinus excelsior</i>	
D35	Deutschland	≥ LS 10	Buche	Deutschland	<i>Fagus sylvatica</i>	
D30	Deutschland	LS 10 ≥ LS 10	Eiche Ahorn	Deutschland Deutschland	<i>Quercus petraea</i> <i>Quercus robur</i> <i>Acer pseudoplatanus</i>	
D24	Italien	S	Edelkastanie	Italien	<i>Castanea sativa</i>	$t \leq 100 \text{ mm}$

Bei der Norm, welche in Deutschland zur Sortierung von Laubholz verwendet wird, handelt es sich um die DIN 4074-5 [19].

Maschinelle Festigkeitssortierung

Die Anforderungen an die maschinelle Sortierung ist in den Normen EN 14081-2 [5] und EN 14081-3 [6] festgehalten. Die Norm EN 14081-4 enthält eine Liste der Einstellungen für in der Praxis eingesetzte Sortiermaschinen [7].

5.2 Situation Schweiz

5.2.1 Massgebende Normen

Für die tragenden Einsatz von Vollholz in der Schweiz sind die Normen SIA 265:2012 [20] und SIA 265/1:2009 [21] (inkl. zugehörige Korrigenda vom 04.11.2012, www.sia.ch/korrigenda) massgebend. Für den Export von Vollholz in den Europäischen Wirtschaftsraum sind die Europäischen Produktnormen zu beachten (siehe 5.1.1).

5.2.2 Festigkeitsklassen und Bemessungswerte

Die Schweizer Norm SIA 265:2012 [20] gibt Bemessungswerte für Vollholz der Nadelholz-Festigkeitsklassen C16, C24 und C30 und der Laubholz-Festigkeitsklassen D30 an, dies für die Laubholzarten Buche und Eiche (Tabelle 5.5). Die Ableitung der Bemessungswerte aus den charakteristischen Werte ist in [22] erklärt.

Tabelle 5.5: Kennzeichnende Eigenschaften und Bemessungswerte für Vollholz gemäss Norm SIA 265:2012

Festigkeitsklassen				Nadelholz			Buche Eiche
				C16	C24	C30	D30
Kennzeichnende Eigenschaften ¹⁾							
– Biegefestigkeit	$f_{m,k}$	N/mm ²		16	24	30	30
– mittlerer Biege-Elastizitätsmodul	$E_{m,mean}$	N/mm ²		8 000	11 000	12 000	10 000
– Rohdichte	ρ_k	kg/m ³		310	350	380	530
Bemessungswerte ¹⁾							
Festigkeit	Biegung	$f_{m,d}$	N/mm ²	9,5	14	17,5	17
	Zug zur Faserrichtung	$f_{t,0,d}$	N/mm ²	5,5 ²⁾	8	10,5	10
	Druck zur Faserrichtung	$f_{c,0,d}$	N/mm ²	9,5	12	13,5	13
	Zug ⊥ zur Faserrichtung	$f_{t,90,d}$	N/mm ²	0,1	0,1	0,1	0,2
	Druck ⊥ zur Faserrichtung	$f_{c,90,d}$					
	– generell		N/mm ²	1,5	1,8	2,0	5,3
	– mit Vorholz ³⁾ ⁴⁾		N/mm ²	2,0 (2,6)	2,3 (2,9)	2,7 (3,3)	7,0
	– Endauflagerung ⁴⁾		N/mm ²	1,5 (2,6)	1,8 (2,9)	2,0 (3,3)	5,3
	Schub	$f_{v,d}$	N/mm ²	1,5	1,5	1,5	2,0
Steifigkeit	$E_{0,mean}$ in Faserrichtung ⁵⁾	$\left\{ \begin{matrix} E_{m,mean} \\ E_{t,0,mean} \\ E_{c,0,mean} \end{matrix} \right\}$	N/mm ²	8 000	11 000	12 000	10 000
	$E_{90,mean}$ ⊥ zur Faserrichtung ⁵⁾	$\left\{ \begin{matrix} E_{t,90,mean} \\ E_{c,90,mean} \end{matrix} \right\}$	N/mm ²	270	300	300	600
	Schubmodul ⁵⁾	G_{mean}	N/mm ²	500	500	500	1000
¹⁾ Eigenschaften und Bemessungswerte beziehen sich auf eine Holzfeuchte von 12%. ²⁾ Für Zugglieder nicht zulässig. ³⁾ Das Vorholz muss beidseitig mindestens 100 mm betragen. Andernfalls ist mit dem generellen Wert zu rechnen. ⁴⁾ Der höhere (Klammer-)Wert ist nur dort zulässig, wo die auftretenden grösseren Eindrücken nachweisbar ohne Einfluss auf den Bestand des tragenden Bauteils sind. ⁵⁾ 5%-Fraktilwerte sind für Nadelholz auf das 2/3-Fache und für Laubholz auf das 5/6-Fache der Mittelwerte festgelegt.							

Es gelten grundsätzlich auch in der Schweiz die europäischen Produktnormen. D.h., für die Einstufung in die entsprechende Festigkeitsklasse sind die charakteristischen Werte der Biegefestigkeit, des Biege-E-Moduls und der Rohdichte (sogenannte kennzeichnende Werte) massgebend.

Die Zuordnung des Vollholzes zu Festigkeitsklassen hat gemäss der DIN 4074-1 oder einer in der SN EN 1912 aufgeführten Sortiervorschrift zu erfolgen. Spezielle Anforderungen bezüglich Erscheinung, Masshaltigkeit, Bearbeitung und Beschaffenheit der Oberfläche sind in Abhängigkeit des Verwendungszwecks gesondert festzulegen. Diesbezügliche Angaben sind in den Qualitätskriterien für Holz und Holzwerkstoffe im Bau und Ausbau – Handelsgebräuche für die Schweiz [23] zu finden.

Bisher ist in der Schweiz nur die Festigkeitsklasse D30 normativ erfasst und die Holzarten Eiche und Buche. Grundsätzlich stehen jedoch sämtliche Laubholzklassen der EN 338 zur Verfügung (Tabelle 5.1), um Laubholz verschiedener Holzarten zu klassieren und für Bauzwecke zu verwenden. Um dies zu tun, muss jedoch eine Sortiernorm vorhanden sein, für welche an Hand von Versuchen an repräsentativen Stichproben gezeigt wurde, dass bei Anwendung dieser Norm bzw. der Sortierparameter und –kriterien Vollholz die von der entsprechenden Festigkeitsklasse geforderten kennzeichnenden Eigenschaften einhält. Der für die Klasse D30 in Tabelle 5.1 angegebene E-Modul von $10'000 \text{ N/mm}^2$ entspricht der Angabe in der 2003-Ausgabe der EN 338 und weicht von der Angabe in der aktuellen Normausgabe ($11'000 \text{ N/mm}^2$) ab. Von einer Korrektur dieser Angabe im Zuge der Normrevision wurde abgesehen, da Erfahrungswerte in der Schweiz zeigen, dass ein mittlerer E-Modul von $10'000 \text{ N/mm}^2$ für die Klasse D30 zu erwarten ist.

5.2.3 Festigkeitssortierung

Gemäss Norm SIA 265/1:2009 [21] inkl. Korrigenda vom 04.11.2012 (www.sia.ch/korrigenda) erfolgt die Festigkeitssortierung von Vollholz (sowohl Nadelholz als auch Laubholz) gemäss der Deutschen Normenreihe DIN 4074 [19, 24, 25]. Der zuständige Produzentenverband Holzindustrie Schweiz HIS hatte sich im Zuge der kürzlich erfolgten Überarbeitung der Schweizer Holzbaunormen (Abbildung 5.1, Abbildung 5.2 und Tabelle 5.6) dafür ausgesprochen, für die Festigkeitssortierung von Vollholz in der Schweiz ab sofort die Normenreihe DIN 4074 anzuwenden. Die Vollholzproduzenten versprechen sich davon erleichterte Bedingungen für den Export ihrer Produkte in den Europäischen Wirtschaftsraum. Bedingt durch diesen Wechsel in der Sortiernorm mussten auch die in der Tabelle 6 der Norm SIA 265 tabellierten Festigkeitsklassen für Nadelholz (heute C16, C24, C30; früher: C20, C24, C27, C35 und C45) angepasst werden.

Zur Sortierung der in der Schweiz vorherrschenden Laubholzarten steht zurzeit lediglich die DIN 4074-5 zur Verfügung. Mit dieser Norm lässt sich Laub-Vollholz in die Sortierklassen LS 7, LS 10 und LS 13 bzw. in die europäischen Klassen D30, D35 und D45 einteilen (Tabelle 5.4). Diese Einteilung schöpft das Potential von Laubholz bei weitem nicht aus. Um hier einen Schritt weiter zu kommen, müssten die visuellen Sortiermethoden verbessert und geeignete apparative Methoden evaluiert werden.

Nach gemäss Ziffer 5.3 durchgeführter visueller Sortierung wird Nadel- bzw. Laubvollholz in folgende Sortierklassen eingeteilt:

- S13 bzw. LS13: Vollholz höherer Festigkeit (spezielle Anforderungen)
- S10 bzw. LS10: Vollholz normaler Festigkeit (übliches Konstruktionsholz)
- S7: Vollholz geringerer Festigkeit.

Abbildung 5.1: SIA 265/1:2009, korrigierte Ziffer 5.2.1 (www.sia.ch/korrigenda)

Die Festigkeitssortierung von Schnitt- und Rundholz in der Schweiz hat gemäss folgenden Normen bzw. Bestimmungen zu erfolgen:

- Nadel-Schnittholz: gemäss DIN 4074-1 und DIN 4074-1/A1
- Laub-Schnittholz: gemäss DIN 4074-5
- ...

Abbildung 5.2: SIA 265/1:2009, korrigierte Ziffer 5.3 (www.sia.ch/korrigenda)

Tabelle 5.6: Einstufung von gemäss Abbildung 5.2 sortiertem Vollholz in das europäische Klassierungssystem (SN EN 1912 und SN EN 338)

Klassierung auf Grund visueller Sortierung gemäss DIN 4074-1 (Nadelholz) bzw. DIN 4074-5 (Laubholz)			Zugeordnete Festigkeitsklasse gemäss SN EN 1912 und SN EN 338
Gruppe	Sortierklasse	Handelsname der Holzart	
Nadelholz	S 13	Fichte ¹⁾ , Tanne ²⁾ , Lärche ³⁾ , Föhre ⁴⁾ , Douglasie ⁵⁾	C 30
	S 10		C 24
	S 7		C 16
Laubholz	LS 13	Buche ⁶⁾	D 30 ⁹⁾
	LS 10	Esche ⁷⁾	
		Buche ⁶⁾	
		Eiche ⁸⁾	
<div><div>1)</div><div>(Rottanne), Picea abies</div></div> <div><div>2)</div><div>(Weisstanne), Abies alba</div></div> <div><div>3)</div><div>Larix decidua</div></div> <div><div>4)</div><div>(Kiefer) Pinus silvestris</div></div> <div><div>5)</div><div>Pseudotsuga menziesli</div></div> <div><div>6)</div><div>(Rotbuche), Fagus silvatica</div></div> <div><div>7)</div><div>Fraxinus excelsior</div></div> <div><div>8)</div><div>(Traubeneiche, Stieleiche), Quercus petraea, Quercus robur</div></div> <div><div>9)</div><div>Eine Einteilung in höhere Festigkeitsklassen ist möglich, sofern eine zuverlässige Festigkeits- sortierung des Holzes erfolgt und die für den Einsatzzweck massgebenden kennzeichnenden Eigenschaften und Bemessungswerte angegeben werden können.</div></div>			

5.2.4 Unterschied zur Situation Europa

Der einzige Unterschied zur Situation in Europa liegt darin, dass die Schweizer Norm lediglich die Festigkeitsklasse D30 für Laubholz der Holzarten Buche und Eiche anbieten. Grundsätzlich ist es aber möglich, das Laubholz nach Sortierung gemäss DIN 4074-5 auch in die Klassen D35 und D40 einzuteilen und die entsprechenden Bemessungswerte der mechanischen Eigenschaften aus den charakteristischen Werten abzuleiten.

5.3 Literatur zu Kapitel 5

1. Europäisches Komitee für Normung CEN 2012: EN 336: Bauholz für tragende Zwecke - Masse, zulässige Abweichungen.
2. Europäisches Komitee für Normung CEN 2010: EN 338: Bauholz für tragende Zwecke - Festigkeitsklassen.
3. Europäisches Komitee für Normung CEN 2012: EN 1912: Bauholz für tragende Zwecke - Festigkeitsklassen - Zuordnung von visuellen Sortierklassen und Holzarten.
4. Europäisches Komitee für Normung CEN 2012: EN 14081-1: Holzbauwerke - Nach Festigkeit sortiertes Bauholz für tragende Zwecke mit rechteckigem Querschnitt - Teil 1: Allgemeine Anforderungen.
5. Europäisches Komitee für Normung CEN 2012: EN 14081-2: Nach Festigkeit sortiertes Bauholz für tragende Zwecke mit rechteckigem Querschnitt - Teil 2: Maschinelle Sortierung: zusätzliche Anforderungen an die Erstprüfung.
6. Europäisches Komitee für Normung CEN 2012: EN 14081-3: Nach Festigkeit sortiertes Bauholz für tragende Zwecke mit rechteckigem Querschnitt - Teil 3: Maschinelle Sortierung: zusätzliche Anforderungen an die werkseigene Produktionskontrolle.
7. Europäisches Komitee für Normung CEN 2009: EN 14081-4: Holzbauwerke - Nach Festigkeit sortiertes Bauholz für tragende Zwecke mit rechteckigem Querschnitt - Teil 4: Maschinelle Sortierung - Einstellungen von Sortiermaschinen für maschinenkontrollierte Systeme.

8. Europäisches Komitee für Normung CEN 2010: EN 408: Holzbauwerke - Bauholz für tragende Zwecke und Brettschichtholz - Bestimmung einiger physikalischer und mechanischer Eigenschaften.
9. Europäisches Komitee für Normung CEN 2010: EN 384: Holzbauwerke - Bestimmung charakteristischer Werte für mechanische Eigenschaften und Rohdichte.
10. Glos P. 1983: Die technischen Möglichkeiten der Schnittholzsortierung im Mittel- und Kleinbetrieb. Bulletin der Schweizerischen Arbeitsgemeinschaft für Holzforschung SAH. 13-35.
11. Meierhofer U.A., Richter K. 1990: Sortierung und Qualität von Bauholz - Teil 4: Apparative Möglichkeiten zur Erfassung der Holzcharakteristika. Schweizer Ingenieur und Architekt 116(39): 1100-1106.
12. Schöne W. 1989: Einige Grundlagen der zerstörungsfreien Prüfung von Brettschichtholz. Holztechnologie 30(22): 65-69.
13. Steiger R., Arnold M. 2009: Strength grading of Norway spruce structural timber: Revisiting property relationships used in EN 338 classification system. Wood Science and Technology 43 (3-4): 259-278.
14. Walters E.O., Westbrook R.F. 1970: Vibration machine grading of southern pine dimension lumber. Forest Products Journal 20(5): 24-32.
15. Schajer G.S., Orhan F.B. 2006: Measurement of wood grain angle, moisture content and density using microwaves. Holz als Roh- und Werkstoff 64(6): 483-490.
16. Giudiceandrea F. 2008: Erster Computertomograf für Holz vorgestellt. Holz-Zentralblatt 134(26): 728.
17. Glos P. 1995: Festigkeitssortierung. Holzbauwerke nach Eurocode 5: Step 1 - Bemessung und Baustoffe. Arbeitsgemeinschaft Holz e. V., Düsseldorf. A6/1-A6-9.
18. Glos P., Schleifer A., Diebold R. 2004: Stand der maschinellen Festigkeitssortierung von Schnittholz. AFZ - Der Wald 59(19): 1028-1029.
19. Deutsches Institut für Normung DIN 2008: DIN 4074-5: Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit - Teil 5: Laubschnittholz.
20. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, SIA 2012: Norm SIA 265 - Holzbau.
21. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, SIA 2009: Norm SIA 265/1 - Holzbau - Ergänzende Festlegungen.
22. Steiger R. 2003: Tragsicherheit: Bemessungskonzept und Baustoffe. SIA-Dokumentation D 0185 - Einführung in die Norm SIA 265 Holzbau. 2003. 31-50.
23. Holzbau Schweiz 2010: Qualitätskriterien für Holz und Holzwerkstoffe im Bau und Ausbau Handelsgebräuche für die Schweiz. Lignum, Zürich.
24. Deutsches Institut für Normung DIN 2012: DIN 4074-1: Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit - Teil 1: Nadel Schnittholz.
25. Deutsches Institut für Normung DIN 1958: DIN 4074-2: Bauholz für Holzbauteile - Gütebedingungen für Baurundholz (Nadelholz).

6. Ausgeführte Bauwerke mit BSH aus Laubholz

6.1 Einleitung

Der liberale Umgang mit Bauvorschriften in der Schweiz bietet Möglichkeiten für innovative Projekte. So wurden trotz fehlender Normierung und begrenzter Erfahrung bis heute bereits eine beachtliche Anzahl von Konstruktionen unter Verwendung von BSH aus Laubholz für tragende Zwecke realisiert.

Im Folgenden werden einige dieser Objekte vorgestellt. Dabei geht es nicht um eine vollständige Dokumentation aller relevanten Bauten. Vielmehr sollen anhand ausgesuchter Beispiele verschiedene Möglichkeiten für den erfolgreichen Einsatz von BSH aus Laubholz aufgezeigt werden.

6.2 Seeparksaal Arbon

In Arbon wurde 1984 ein Mehrzwecksaal (Abbildung 6.1) errichtet, dessen Dachkonstruktion aus einem Holz-Raumfachwerk mit BSH-Stäben aus Föhre und Buche (Abbildung 6.2) besteht. Das Raumfachwerk überspannt eine Fläche von 27×45 m, und es besitzt eine Maschenweite von 3 m und eine Systemhöhe von 2.5 m. Die Stäbe sind über stählerne Kugelnknoten und mehrschnittige Stabdübelverbindungen miteinander verbunden (Abbildung 6.3). Rund ein Viertel der insgesamt 1056 Fachwerkstäbe der Dachkonstruktion wurden aus Buchen-BSH gefertigt. Die Buchenstäbe wurden in den hochbeanspruchten Bereichen eingesetzt, da sich aufgrund der höheren Festigkeiten geringere Stabquerschnitte und wesentlich höhere Anschlusskräfte erzielen liessen. Anstoss für die Wahl eines Raumfachwerkes mit Buchenholz waren Forschungsarbeiten der ETH Zürich [1]. Die Konstruktion wurde mit dem „Lignum“-Holzbaupreis 1984/85 ausgezeichnet.

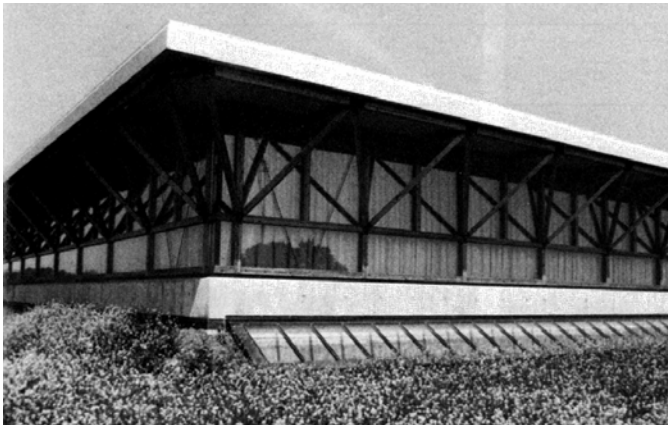


Abbildung 6.1: Seeparksaal Arbon [2]



Abbildung 6.2: Raumfachwerk mit Stäben aus Buchen-BSH [2]

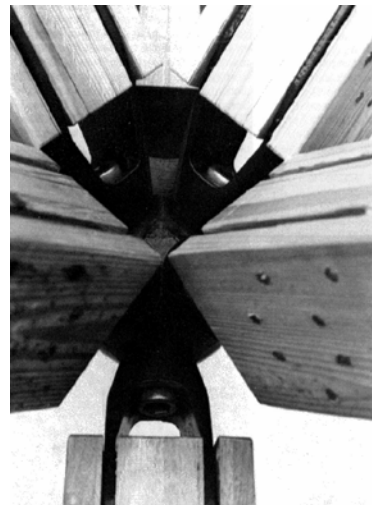


Abbildung 6.3: Kugelnknoten mit mehrschnittigen Stabdübelverbindungen [2]

6.3 Dörflibrücke Eggiwil

1985 wurde in Eggiwil die damals 100-jährige Dörflibrücke über den Rötenbach durch einen Neubau ersetzt. Das Erscheinungsbild sollte den Prinzipien der traditionellen Holzbauregion folgen. Für die Ausführung wurden auch Untersuchungen der ETH Zürich [1] berücksichtigt, was zu einer Kombination der Holzarten Fichte und Buche führte.



Abbildung 6.4: Dörflibrücke Eggiwil [3]

Abbildung 6.5 zeigt das Tragwerk der Brücke. Es handelt sich um eine zweispurige Strassenbrücke (Fahrbahnbreite 6.50 m) ohne Lastbegrenzung. Der Zweigelenkbogen besteht aus Fichten-BSH und besitzt eine Spannweite von 30.60 m. Die Fahrbahnplatte besteht aus einer quervorgespannten einteiligen Platte ebenfalls aus Fichten-BSH. Für die hochbelasteten Hängepfosten kam teerölimprägnierter Buche zum Einsatz, welche mittels eingeneteten Stahlplatten und hochfesten Stabdübeln an den Bogen angeschlossen wurden. Aufgrund der hohen Lasten und der beschränkten Bauhöhe bei grosser Spannweite wurden die Querträger mit teerölimprägniertem Buchen-BSH erstellt (Abbildung 6.6) [3].

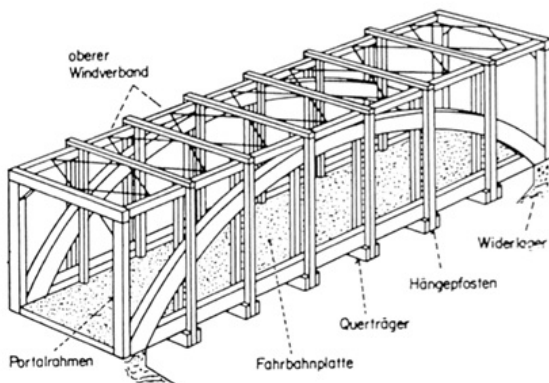


Abbildung 6.5: Tragstruktur Dörflibrücke [4].



Abbildung 6.6: Hängepfosten und Querträger aus teerölimprägnierter Buche [3].

6.4 Ökonomiegebäude Lauenen

In Lauenen ist 2010 im Rahmen eines Pilotprojektes ein landwirtschaftliches Ökonomiegebäude (Grundriss ca. 20 × 16 m) entstanden, bei dem Teile des Tragwerkes mit BSH aus Buche realisiert wurden. Mit dem Projekt sollte gezeigt werden, dass der Einsatz von BSH aus Buche technisch möglich und auch wirtschaftlich ist (Abbildung 6.7).



Abbildung 6.7: Aussenansicht (links) und Innenansicht (rechts) des Ökonomiegebäudes Lauenen [5]

Das Tragwerk ist in Abbildung 6.8 ersichtlich. Aufgrund von Bedenken bezüglich der Dauerhaftigkeit bei Feuchteeinwirkung wurde der Einsatz von Buche auf den vor der direkten Witterung geschützten Bereich unter dem Dach beschränkt. Die Stützen wurden deshalb mit BSH aus Fichte ausgeführt. Für die Herstellung der Träger der Festigkeitsklasse GL48k mit dem Querschnitt 280/700 mm wurden jeweils zwei Träger der Dimension 140/700 mm hergestellt und blockverleimt. Die verwendeten Buchenlamellen wurden vorgängig mittels Ultraschallmessung des E-Moduls sowie zusätzlich an Hand von visuellen Merkmalen festigkeitssortiert.

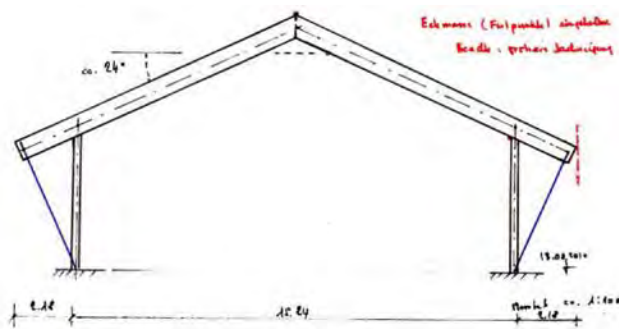


Abbildung 6.8: Tragwerk des Ökonomiegebäudes Lauenen [5]

Die Realisierung des Projektes Lauenen bestätigte die grundsätzliche Machbarkeit von Objekten dieser Dimensionen mit BSH aus Buche. Im Vergleich zu einer Fichten-Konstruktion konnten 50 – 70% an Holz eingespart werden. Die geringere Bauhöhe der Buchenträger ermöglichte ausserdem eine Optimierung der Geometrie bei gleichen Innenmassen. Bezüglich Transport und Montage ergaben sich keine nennenswerten Unterschiede, da das höhere spezifische Gewicht der Buche durch die kleineren Dimensionen kompensiert wurde. Nachteile ergaben sich aufgrund des fehlenden Know-hows entlang der gesamten Wertschöpfungskette (Schnittholz, Keilzinkung, Lamellierung, Abbund), weshalb behelfsmässig auf Erfahrungswerte der Fichtenbearbeitung zurückgegriffen werden musste. Ausserdem wurde die mangelnde kurzfristige Verfügbarkeit von Buchenlamellen als Problem identifiziert. Aufgrund dieser Probleme ergaben sich für das Projekt Mehrkosten von über 16% gegenüber einer Fichten-Konstruktion. Ohne staatliche Unterstützung (Aktionsplan Holz des Bundesamtes für Umwelt BAFU) hätte das Projekt nicht wirtschaftlich realisiert werden können [6-8]. Ein weiteres Problem war das Fehlen von Bemessungswerten für die Tragsicherheitsnachweise in den SIA-Tragwerksnormen.

6.5 „Portal“ Arosa

In Arosa wurde 2010 das „Einstiegsportal“ ins Schneesportgebiet Innerarosa-Tschuggen fertiggestellt (Abbildung 6.9). Auf einer ins Gelände eingebetteten Tiefgarage sind zwei Holzgebäude eines Skischulzentrums unter einer Dachkonstruktion vereint, welche teilweise mit BSH-Trägern aus Esche realisiert wurde [9]. Wie Abbildung 6.10 zu entnehmen ist, bestehen die ersten vier Trägerachsen aus weitgespannten Kragträgern, welche auf schlanken Stahlbetonstützen stehen. Da die Kragträger in einem Winkel zueinander stehen, wurden sie gelenkig zusammengeschlossen, um Zwängungskräfte zu vermeiden.



Abbildung 6.9: "Portal" Arosa [9]

Aufgrund der grossen Spannweiten (bis 19.70 m) und der extrem hohen Schneelasten von 11 kN/m^2 (charakteristischer Wert) waren Trägerquerschnitte aus Fichte herstellungs- und transportbedingt nicht mehr möglich, weshalb in den hochbeanspruchten Bereichen BSH aus Esche eingesetzt wurde (Abbildung 6.11). Die höheren Festigkeiten der Esche erlaubten etwa um 60% kleinere Querschnitte. Ausserdem kann Esche einfach mit Fichte kombiniert werden, wodurch das teurere Eschenholz gezielt nur dort zum Einsatz kommen konnte, wo es zwingend erforderlich war. Das Projekt zeigte die Möglichkeit eines effizienten Einsatzes von Laubholz in hochbeanspruchten Tragwerken, wobei aufgrund der nicht genormten Verwendung von BSH aus Laubholz der Qualitätssicherung eine besondere Bedeutung zugeschrieben wurde. Hierzu wurden im vorliegenden Projekt Zugversuche an Lamellen und Keilzinkungen durchgeführt, um die geforderten Festigkeiten (T40) garantieren zu können [9-11].

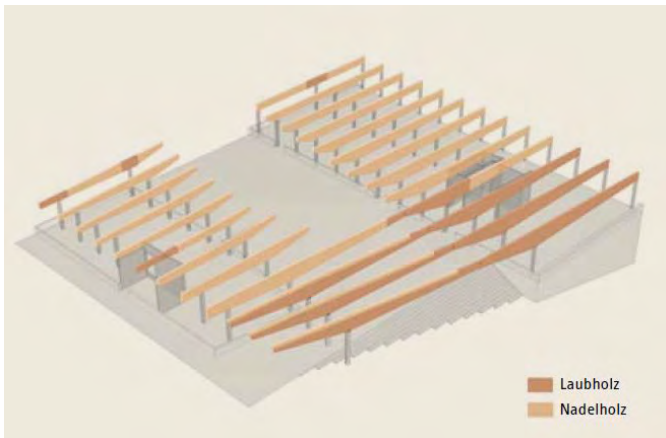


Abbildung 6.10: Tragstruktur der Dachkonstruktion [11]



Abbildung 6.11: Untersicht der Kragträger aus Esche [11]

6.6 Sporthalle Sargans

2012 wurde in Sargans eine neue Vierfachsporthalle (Abbildung 6.12) inklusive zweier Nebengebäude als Ersatzneubau für eine bestehende Sporthalle fertiggestellt. Aufgrund der schlechten Tragfähigkeit des Baugrundes sollte die vorhandene Pfahlgründung genutzt werden, weshalb für den Neubau eine leichte Holzbauweise entscheidende Vorteile aufwies.



Abbildung 6.12: Ansicht Sporthalle Sargans mit auskragender Holz-Beton-Verbunddecke [12]

Das Haupttragwerk der Vierfachsporthalle besteht aus BSH-Rahmen aus Fichte (Abbildung 6.13). Die Decke des zweigeschossigen Garderobentraktes wurde in Holz-Beton-Verbund ausgeführt, wobei ein Grossteil der Holzunterzüge aus armiertem BSH aus Esche (Festigkeitsklasse GL40) besteht. Grund für die Verwendung von Esche waren die grossen Schubbeanspruchungen, welche sich aus dem statischen System der Zwischendeckenträger (ungleichmässig gespannter Zweifeldträger mit Spannweiten von 10.65 m bzw. 4.80 m sowie einseitiger Auskragung von 2.50 m, Abbildung 6.14) und den hohen Lasten durch den vorgegebenen Einbau von Nasszellen mit Fertigbetonteilen ergaben. Durch Ausnützen der rund 1,5-fach höheren Schubfestigkeit von Esche gegenüber Fichte, konnten die massgebenden Schubnachweise mit kombinierten Eschen-Fichten-BSH-Trägern mit einem Querschnitt von 140/500 mm erfüllt werden. Um den Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit gerecht zu werden, wurden die Eschenträger armiert und teileingespannt an die Rahmen des Haupttragwerkes angeschlossen. Im Bereich der grossen Spannweite wurden die Träger ausserdem überhöht [12-14].

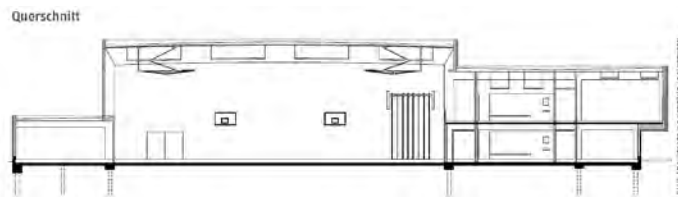


Abbildung 6.13: Querschnitt. Rechts der zweigeschossige Garderobentrakt [13]



Abbildung 6.14: Eschen-Fichten-BSH-Träger der Holz-Beton-Verbunddecke [12]

6.7 Literatur zu Kapitel 6

1. Gehri E. 1980: Möglichkeiten des Einsatzes von Buchenholz für Tragkonstruktionen. Schweizer Bauwirtschaft 79(56): 14-18.
2. Bogusch W. 1985: Neuartiges Holz-Raumfachwerk überspannt den "Seepark"-Saal in Arbon. Schweizer Holzbau 51(7): 35-38.
3. Minder W. Swiss Timber Bridges. <http://www.swiss-timber-bridges.ch>
4. Stadelmann W., Sehbenderyan N. 1990: Holzbrücken der Schweiz - ein Inventar. Bündner Monatsblatt.
5. Abplanalp B. 2011: Schlussbericht Ökonomiegebäude Lauenen mit BSH aus Buchenholz (Pilotanwendung). Bundesamt für Umwelt, BAFU, Bern.
6. neue Holzbau AG Lungern 2011: Flyer „Ökonomiegebäude Lauenen mit Buchen-BSH“.
7. Pirson L. 2011: Ein erstes Dach mit Buchen-Brettschichtholzbindern. Holz-Zentralblatt 137(31): 755.
8. Tschannen W. 2011: Ein Ökonomiegebäude mit Trägern aus Buchen-BSH. Wald und Holz 92(7): 34.
9. Bogusch W. 2011: Eschenholz im Tragwerksbau. <http://www.neueholzbau.ch>
10. Bogusch W. 2011: Entwicklungsschritt: Dachtragwerk mit BSH-Bindern aus Esche. Schweizer Holzbau 77(1): 6-11.
11. Kübler W., Jacob-Freitag S. 2011: Pionierleistung mit Ausblick. mikado 18(9): 31-34.
12. Trinkert A. 2012: Sportlich erstellt mit Laubholz. Bauen mit Holz 114(12): 14-18.
13. Jacob-Freitag S. 2013: Sporthalle in Sargans. mikado 20(1-2): 22-31.
14. Strahm T. 2011: Teileingespannter Holz-Beton-Verbundträger mit armiertem Eschen-Brettschichtholz. 17. Intern. Holzbauforum (IHF). Garmisch-Partenkirchen 7. - 9. 12. 2011.

7. Wissenschaftliche Untersuchungen zu Vollholz und zu Brettschichtholz aus Laubholz

Im Folgenden werden Erkenntnisse aus relevanten Forschungsarbeiten zusammengefasst, welche im Rahmen einer Literaturrecherche gesammelt wurden. Die Gliederung erfolgt nach den verschiedenen Aspekten, welche für den Einsatz von BSH aus Laubholz in der Praxis von Bedeutung sind. Primär werden dabei die Holzarten Buche, Esche und Eiche betrachtet.

7.1 Bereitstellung des Rohmaterials

7.1.1 Kantholz

Glos und Lederer [1] untersuchten die Festigkeitseigenschaften von Eichen- und Buchen-Kanthölzern mittels Hochkant-Biegeversuchen nach DIN EN 408:1996. Gleichzeitig wurde der Einfluss ausgesuchter Holzmerkmale auf die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften untersucht und darauf basierend Vorschläge für eine Festigkeitssortierung von Laubholz gemacht. Als Ausgangsmaterial diente vorwiegend Schnittholz aus Stämmen aus Durchforstungsmassnahmen.

Die Anzahl und Abmessungen der geprüften Eichen-Kanthölzer sind in Tabelle 7.1 ersichtlich. Dabei wurden nur die Proben der Abmessungen 80 x 80 mm technisch getrocknet und gehobelt, die restlichen Proben wurden in sägerauhem und ungetrocknetem Zustand (durchschnittliche Holzfeuchte 33%) getestet. Dies wurde damit begründet, dass in der Praxis eine technische Trocknung von Eichenholz in Bauholzdimensionen wegen des erheblichen Zeit- und Kostenaufwandes in der Regel nicht in Frage käme. Mit Prüfungen bei höheren Holzfeuchten als den üblichen 12% liege man mit den ermittelten Festigkeits- und Steifigkeitswerten auf der sicheren Seite. Die Angaben zu den Buchenprüfkörpern sind Tabelle 7.2 zu entnehmen. Alle Buchenprüfkörper wurden technisch getrocknet und bei einer Holzfeuchte von 12% geprüft.

Bei allen Hölzern wurden die visuell erkennbaren Merkmale Astigkeit, Normal-Rohdichte bzw. Dichte im Prüfzustand, Darrdichte, mittlere Jahrringbreite, Holzfeuchte, Markröhre, Risse und Faserneigung bestimmt. Es wird darauf hingewiesen, dass die Ermittlung der visuellen Parameter bei Laubholz viel aufwendiger und schwieriger sei als bei Nadelholz. Insbesondere die Faserneigung sei nur sehr schwer zu bestimmen. Deshalb wurde sie erst nach den Versuchen anhand des Bruchverlaufes aufgenommen. Nach Auswertung der Versuche zeigte sich die Astigkeit bei beiden Holzarten als der Parameter mit dem bei weitem grössten Einfluss auf die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften. Eine Sortierung nach der Astigkeit gemäss DIN 4074-1:1989 mit dem Parameter DEK (Einzlast bei Kanthölzern und Balken) wurde als geeignet befunden.

Die entsprechend der Sortierklasse S10 ($DEK \leq 0.40$) eingeteilten Eichen-Kanthölzer erreichten einen Fraktilwert der Biegefestigkeit von 27.5 N/mm^2 und einen Mittelwert des Biege-E-Moduls von $9'700 \text{ N/mm}^2$, womit die für Festigkeitsklasse D30 geforderten Werte von 30 N/mm^2 bzw. $10'000 \text{ N/mm}^2$ knapp nicht erreicht wurden. Es sei jedoch zu erwarten, dass getrocknete Eichen-Kanthölzer die Werte für D30 erreicht hätten, was aber durch weitere Versuche abgesichert werden müsse. Buchen-Kanthölzer der Klasse S10 erreichten einen Fraktilwert der Biegefestigkeit von 41.9 N/mm^2 und einen Mittelwert des Biege-E-Moduls von $14'400 \text{ N/mm}^2$, womit die Festigkeitsklasse D40 unter alleiniger Berücksichtigung der Astigkeit erreicht wurde, wobei die Ausbeute 79% betrug. Die Berücksichtigung weiterer visueller Kriterien führte zu keiner wesentlichen Steigerung der Werte.

Tabelle 7.1: Anzahl der Eichenprüfkörper nach Querschnitt und Prüfmart (BPK = Biegeprüfungen an Kanthölzern) [1]

EI	Eichenprüfkörper				
Querschnitt [mm]	40 x 80	80 x 80	60 x 120	60 x 180	gesamt
Prüfmart	BPK	BPK	BPK	BPK	
<i>geplante Anzahl</i>	80	20	80	80	260
<i>geprüfte Anzahl</i>	167	40	82	90	379

Tabelle 7.2: Anzahl der Buchenprüfkörper nach Querschnitt und Prüfmart (BPK = Biegeprüfung an Kanthölzern, ZKP = Zugprüfungen an Buchenbrettern) [1]

BU	Buchenprüfkörper					
Sollquerschnitt [mm]	40 x 80	60 x 120	60 x 180	35 x 120	35 x 160	gesamt
Prüfquerschnitt [mm]	35 x 70	60 x 120	60 x 175	32 x 120	32 x 160	
Prüfmart	BPK	BPK	BPK	ZKP	ZKP	
geplante Anzahl	50	50	50	100	100	350
geprüfte Anzahl	54	119	52	104	115	444

In einer nachfolgenden Arbeit [2] wurde die Datengrundlage für Schnittholz aus Eiche und Buche aus oben genannter Studie [1] in Bezug auf die visuelle Sortierung nach DIN 4074:2003 und die Einteilung in Festigkeitsklassen gemäss EN 338:2003 nochmals ausgewertet.

Bei den Eichen-Kanthölzern konnte durch Zusammenfassung der Sortierklassen LS10 und LS13 zu einer Sortierklasse „LS10 und besser“ (LS10+) eine charakteristische Biegefestigkeit von 30.3 N/mm^2 und ein E-Modul von $11'600 \text{ N/mm}^2$ berechnet werden, wobei diese Grössen bezüglich der Holzfeuchte korrigierte Werte darstellen. Die Versuche waren bei einer durchschnittlichen Holzfeuchte von über 26% durchgeführt worden. Mittels zusätzlicher Versuche und Angaben aus Normen wurden die Resultate mit auf der sicheren Seite liegenden Faktoren auf die Referenzfeuchte von 12% korrigiert. Damit konnten für LS10+ die Bedingungen der Festigkeitsklasse D30 nach EN 338 erfüllt werden.

Die Buchen-Kanthölzer wurden einerseits bezüglich der zusammengefassten Sortierklasse LS10+ untersucht, wobei sich ein charakteristischer Wert der Biegefestigkeit von 35.9 N/mm^2 und ein E-Modul von $15'900 \text{ N/mm}^2$ ergab. Die Sortierklasse LS13 ergab 40.4 N/mm^2 bzw. $16'100 \text{ N/mm}^2$. Somit konnte LS10+ der Festigkeitsklasse D35 und LS13 der Festigkeitsklasse D40 zugeordnet werden.

In einer weiteren Arbeit [3] wurde mit dem gleichen Vorgehen auch für Schnittholz aus Ahorn, Esche und Pappel die Zuordnung der visuellen Sortierklassen zu Festigkeitsklassen nach EN 338:2003 bestimmt. Die Anzahl und Abmessungen der auf Biegung geprüften Probekörper sind in Tabelle 7.3 zusammengestellt. Bei der Auswertung wurden jeweils die Sortierklassen LS10+ und LS13 betrachtet.

Für Ahorn lagen die charakteristischen Werte beider Sortierklassen nahe beieinander. LS10+ wies eine Biegefestigkeit von 32.1 N/mm^2 und einen E-Modul von $14'400 \text{ N/mm}^2$ auf, LS13 Werte von 31.3 N/mm^2 bzw. $14'600 \text{ N/mm}^2$. Damit konnte sowohl LS10+ als auch LS13 für Ahorn der Festigkeitsklasse D30 zugeordnet werden.

Esche wies Werte von 41.0 N/mm^2 bzw. $13'900 \text{ N/mm}^2$ für LS10+ und 44.0 N/mm^2 bzw. $14'100 \text{ N/mm}^2$ für LS13 auf. Damit entsprachen beide Sortierklassen (LS10+ und LS13) für Esche der Festigkeitsklasse D40.

Für Pappel ergaben sich Werte von 22.3 N/mm^2 bzw. $10'500 \text{ N/mm}^2$ für LS10+ und 34.5 N/mm^2 bzw. $11'000 \text{ N/mm}^2$ für LS13 auf. LS10+ konnte somit der Festigkeitsklasse D22 zugeordnet werden. LS13 erfüllte zwar die Anforderung an die Biegefestigkeit für Festigkeitsklasse D30, nicht aber jene an den E-Modul. Somit musste LS13 für Pappel in die Festigkeitsklasse D27 eingeteilt werden.

Tabelle 7.3: Anzahl und Abmessungen der untersuchten Prüfkörper in Studie [3]

	Ahorn	Esche	Pappel	Σ
50 x 100 mm ²	136	142	164	442
50 x 150 mm ²	140	183	170	493
50 x 175 mm ²	-	-	136	136
52 x 100 mm ²	83	-	-	83
52 x 150 mm ²	52	-	-	52
52 x 175 mm ²	49	-	-	49
Σ	460	325	470	1255
Σ Auswertung	459	324	467	1250

7.1.2 Bretter

Glos und Lederer [1] untersuchten mittels Zugversuchen nach DIN EN 408:1996 die Festigkeitseigenschaften von Buchenbrettern. Gleichzeitig wurde der Einfluss ausgesuchter Holzmerkmale auf die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften untersucht und darauf basierend Vorschläge für eine Festigkeitssortierung von Laubholz gemacht. Als Ausgangsmaterial diente vorwiegend Schnittholz aus Stämmen aus Durchforstungsmassnahmen. Die Angaben zu den Buchenprüfkörpern sind Tabelle 7.2 zu entnehmen. Alle Buchenprüfkörper wurden technisch getrocknet und bei einer Holzfeuchte von 12% geprüft. Es wurden die visuell erkennbaren Merkmale Astigkeit, Normal-Rohdichte bzw. Dichte im Prüfzustand, Darrdichte, mittlere Jahrringbreite, Holzfeuchte, Markröhre, Risse und Faserneigung bestimmt. Auch bei den Brettern wurde festgestellt, dass die Ermittlung der visuellen Parameter bedeutend aufwendiger und schwieriger ist als bei Nadelholz. Dies gilt insbesondere für die Faserneigung. Die Astigkeit hatte bei weitem den grössten Einfluss auf die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften. Eine Sortierung nach der Astigkeit gemäss DIN 4074-1:1989 mit den Parametern DEB (Einzelast bei Brettern und Bohlen) und evtl. DAB (Astansammlung bei Brettern und Bohlen) wurde als geeignet befunden. Buchenbretter der Sortierklasse S10 ($DEB \leq 0.33$ und $DAB \leq 0.50$) konnten bei Ausschluss grober Holzfehler der Festigkeitsklasse D30 zugeordnet werden, dies bei einer Ausbeute von 93%. Bei zusätzlichem Ausschluss von Brettern mit Markröhre wurde sogar D40 erreicht.

In einer nachfolgenden Arbeit [2] wurde die Datengrundlage aus oben genannter Studie [1] in Bezug auf die visuelle Sortierung nach DIN 4074:2003 und die Einteilung in die Festigkeitsklassen gemäss EN 338:2003 nochmals ausgewertet. Dabei wurden auch entsprechende Versuche von Blass et al. [4] berücksichtigt. Die Einteilung von Buchenbrettern in die Sortierklassen LS10+ (LS10 und besser) und LS13 ergab charakteristische Werte der Zugfestigkeit von 27.5 N/mm^2 für LS10+ und 33.4 N/mm^2 für LS13, womit die Anforderung für D35 (21.0 N/mm^2) bzw. D40 (24 N/mm^2) erfüllt wurden. Damit wurde die für Kanthölzer erfolgte Einstufung der Buche bestätigt (siehe 7.1.1).

Frühwald et al. [5] haben zur Beurteilung von Sortierparametern Zugversuche nach DIN EN 408:1996 an 70 Buchenbrettern durchgeführt, welche aus einer Gesamtheit von 700 zuvor sortierten Brettern entnommen wurden. Als Sortierparameter wurden die mittlere Jahrringbreite, die globale Faserabweichung, die Rohdichte, der dynamische E-Modul sowie die Astigkeit (differenziert nach Einzelast und Astansammlung) aufgenommen und deren Korrelation mit der Zugfestigkeit und dem E-Modul aus den Versuchen bestimmt. Die Auswertung führte zum Schluss, dass die Sortierung von Buchenbrettern mit den Sortierparametern dynamischer E-Modul und Astigkeit (Einzelast DEB) eine zuverlässige Methode darstellt, um die Tragfähigkeit von Buchenlamellen zu beurteilen. Voraussetzung hierfür sei die maschinelle Erfassung der Astigkeit. Folgende Einteilung von Buchenbrettern wurde vorgeschlagen:

- Festigkeitsklasse D30: $0.2 < DEB < 0.33$ (entspricht LS10 nach DIN 4074-5:2002)
- Festigkeitsklasse D40: $DEB < 0.2$; $E > 12'000 \text{ N/mm}^2$
- Festigkeitsklasse D70: $DEB < 0.1$; $E > 15'000 \text{ N/mm}^2$

Von den untersuchten Brettern lagen rund 15% in Sortierklasse D30, knapp 50% in D40 und gut 30% in D70. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass die begrenzte Anzahl an Versuchen (14 in Sortierklasse D30, 33 in D40 und 21 in D70) keine abschliessenden Folgerungen zulässt. Bei der Sortierklasse D70 wird ausserdem darauf hingewiesen, dass zwar die nach EN 338:1995 geforderten Festigkeitswerte eingehalten wurden, nicht jedoch die Steifigkeitswerte. Es wird vorgeschlagen, die Anforderungen bezüglich Steifigkeit in der Sortierklasse D70 zu reduzieren, da die bisherigen Werte von europäischen Laubhölzern nicht zu erreichen seien.

In einer Arbeit von Frühwald und Schickhofer [6] zur Sortierung von Brettern aus Buche, Esche und Eiche wurden folgende Sortierparameter und deren Korrelation zu Festigkeit und E-Modul untersucht: Dynamischer E-Modul, Dichte, Astigkeit (Einzelast DEB sowie Astansammlung DAB), Faserabweichung, mittlere Jahrringbreite, Distanz des Lamellenschwerpunktes zum Kern, Jahrringneigung im Lamellenschwerpunkt, Verfärbung des Kernholzes (Buche und Esche) resp. Splintholzes (Eiche). An 112 Buchen-, 45 Eichen- und 45 Eschenbrettern wurden die Zugfestigkeit und der E-Modul nach EN 408 bestimmt. Die Auswertung ergab die grössten Korrelationen für den dynamischen E-Modul, die Astigkeit (DEB und DAB) und die Faserabweichung. Die dreidimensionale Faserabweichung sei allerdings nur sehr schwer bestimmbar. Die in vielen Normen enthaltene Korrelation zwischen der Dichte und den elastomechanischen Eigenschaften konnte nicht bestätigt werden. Die Autoren der

Studie halten fest, dass die Normvorgaben der Dichte für höhere Festigkeitsklassen von europäischen Laubhölzern nicht erfüllt werden könnten, obwohl die erforderlichen Werte der Zugfestigkeit und des E-Moduls erreicht werden.

Blass et al. [4] haben anhand von 350 Buchenbrettern aus Deutschland die Eignung des dynamischen E-Moduls als Sortierparameter bestätigt. Aufgrund dessen Korrelation mit den Festigkeits- und Steifigkeitswerten der Bretter, wird der dynamische E-Modul als zusätzlicher Sortierparameter zur Astigkeit empfohlen, um das Potential von Buchenholz besser ausnutzen zu können.

Frese und Blass [7] haben die Eigenschaften von 1888 Buchenbrettern aufgenommen und anschliessend Biegeversuche an Brettschichtholzträgern nach EN 408:1996, sowie numerische Simulationsrechnungen durchgeführt. Im Vergleich zu einer rein visuellen Sortierung nach der Astigkeit konnte durch eine Sortierung nach dem dynamischen E-Modul die Biegefestigkeit der Brettschichtholzträger signifikant erhöht werden. Deshalb wird der dynamische E-Modul bei der Sortierung in höhere Festigkeitsklassen als Voraussetzung festgehalten.

Eine grundlegende Untersuchung von Buchenschnittholz hinsichtlich der Eignung zur Produktion von Brettschichtholz wurde von Frese und Riedler [8] durchgeführt. Dabei wurde Schnittholz betrachtet, welches zuvor gemäss den Sortierregeln der National Hardwood Lumber Association NHLA (2007) [9] vorsortiert worden war. Insgesamt 218 Bretter, welche je zur Hälfte einer hochwertigen („Superior“) und einer durchschnittlichen („Cabinet/Custom Shop“) Qualität entsprachen, wurden bezüglich der visuellen Sortierung nach DIN 4074-5:2003 untersucht. Es wurde festgestellt, dass 90% der Bretter der hochwertigen und 50% der durchschnittlichen Qualität die Anforderungen der Sortierklasse LS10 nach DIN 4074-5:2003 entsprachen und somit auch die Voraussetzungen für Brettschichtholz der Festigkeitsklasse GL28 erfüllten. Durch eine zusätzliche Sortierung nach dem dynamischen E-Modul konnten 80% der hochwertigen und 40% der durchschnittlichen Qualität für GL40 sortiert werden. Die Autoren halten fest, dass der überwiegende Teil des gemäss NHLA vorsortierten Ausgangsmaterials mindestens die Anforderungen an die Sortierklassen LS10 oder LS13 erfüllt, womit es sich prinzipiell für die Herstellung von Buchenbrettschichtholz eignet.

Torno und van de Kuilen [10] untersuchten die Festigkeitseigenschaften von visuell sortiertem Eschenholz. Dazu wurden 324 Eschenbretter aus Stammholz der Stärkeklassen 2a bis 5 verwendet, wobei die Holzqualität im Hinblick auf den geplanten Einsatz im Bauwesen aus wirtschaftlichen Gründen unterhalb der üblichen Qualität für Schreinerware lag. Die Bretter wurden in Sortierklassen nach DIN 4074-5 eingeteilt. Dabei wurde die in der Sortierpraxis nur schwer erkennbare Faserabweichung nicht berücksichtigt. 14% der Bretter mussten dem Ausschuss zugeordnet werden, wofür überwiegend das Vorhandensein der Markröhre verantwortlich war, was auf die für Esche typische „wandernde Markröhre“ aufgrund eines krummen Wachstums zurückgeführt wird. 81% erreichten mindestens die Anforderungen von LS10 und wurden als „LS10 und besser“ (LS10+) gruppiert. 67% wurden in die Klasse LS13 eingestuft. Mittels hochkant durchgeführten 4-Punkt-Biegeversuchen nach europäischen Normen wurde die Biegefestigkeit der Bretter bestimmt. Demnach konnten die Eschenbretter der Gruppe LS10+ der Festigkeitsklasse D40 zugeordnet werden. Bei LS13 wird auf weiteren Untersuchungsbedarf verwiesen, die Resultate deuten aber auf eine Einteilung in D50 hin. Zusammenfassend wird dem Eschenholz ein hohes Potential für tragende Bauteile attestiert und auf den weiteren Forschungsbedarf für eine effiziente maschinelle Sortierung hingewiesen.

7.1.3 Fazit „Rohmaterial“

Zur Festigkeitssortierung von Laubholz gibt es bereits mehrere ausführliche Studien, welche eine gute Grundlage für die Anwendung von Laubholz in der Praxis darstellen, jedoch noch einiges an Forschungsbedarf identifizieren.

Bei den visuellen Sortierparametern zeigte sich durchwegs die Astigkeit als für die Festigkeit massgebendes und für die Sortierung geeignetes Kriterium [1, 5, 6]. Die Faserabweichung wurde ebenfalls als wichtige Einflussgrösse bezeichnet. Da sie jedoch bei Laubholz in der Sortierpraxis nur schwierig zu bestimmen ist, wurde sie jeweils bei der Einteilung in die Sortierklassen nicht berücksichtigt [1, 6, 10]. Der negative Einfluss der Markröhre wurde durch Zugversuche an Buchenbrettern bestätigt [1].

In einer Vielzahl von Versuchen hat sich gezeigt, dass eine visuelle Festigkeitssortierung gemäss der für Nadelholz erarbeiteten Norm DIN 4074-5 auch auf Laubholz anwendbar ist und eine Zuteilung in die Festigkeitsklassen gemäss EN 338 erlaubt. Aufgrund der vorhandenen Datengrundlage kann für die prioritär betrachteten Holzarten Buche, Esche und Eiche eine Zuordnung der visuellen Sortierklassen zu entsprechenden EN 338-Festigkeitsklassen gemäss Tabelle 7.4 erfolgen.

Tabelle 7.4: Festigkeitsklassen nach EN 338 für visuell nach DIN 4074-5 sortierte Laubhölzer

Holzart	Festigkeitsklassen nach EN 338				
	D30	D35	D40	D45	D50
Buche		LS10+	LS13		
Esche			LS10+		(LS13)
Eiche	LS10				

Durch eine rein visuelle Festigkeitssortierung kann das Potential von Laubholz jedoch noch nicht ausgeschöpft werden. Eine zusätzliche maschinelle Sortierung nach dem dynamischen E-Modul ermöglicht die Einteilung in Klassen höherer Festigkeiten [4-6]. Für eine Umsetzung in der Praxis besteht hier allerdings noch weiterer Forschungsbedarf.

Gemäss EN 338 werden für höhere Festigkeitsklassen auch sehr hohe Ansprüche an den E-Modul und die Rohdichte gestellt. Mit einer maschinellen Sortierung ist bezüglich der Festigkeitswerte prinzipiell eine Sortierung in die Festigkeitsklasse D70 möglich, die Anforderungen an den mittleren E-Modul von $20'000 \text{ N/mm}^2$ und an die mittlere Rohdichte von $1'080 \text{ kg/m}^3$ können von europäischen Laubhölzern jedoch nicht erfüllt werden [5, 6].

7.2 Keilzinkenverbindung der Bretter

7.2.1 Buche

Bereits Egner und Kolb [11] haben in ihrer Pionierarbeit im Jahr 1966 Zugversuche an insgesamt 30 keilgezinkten Buchenlamellen durchgeführt. Die Abmessungen der 12 mm starken Buchenlamellen ($B = 120 \text{ mm}$, $L = 1000 \text{ mm}$) sowie das Keilzinkenprofil (Zinkenlänge $l = 48 \text{ mm}$, Zinkenteilung $t = 11 \text{ mm}$, Zinkengrund $b = 1.3 \text{ mm}$, siehe Abbildung 7.1) waren für alle Probekörper identisch. Es wurden Keilzinkungen mit Resorcinharz-, Kaurit- (WHK) sowie gefülltem Harnstoff-Klebstoff bei einem 15 Stunden konstant gehaltenen Pressdruck von rund 1 N/mm^2 hergestellt. Die Hälfte der Probekörper (je 5 pro Klebstoffsorte) wurde vor der Zugprüfung einer Klimawechsellagerung (Tabelle 7.5) unterzogen. Die Klimawechsellagerung hatte leichte Verwerfungen sowie bei den mit Kaurit-Klebstoff WHK und Harnstoffharz verklebten Keilzinkungen teilweise offene Klebfugen zur Folge.

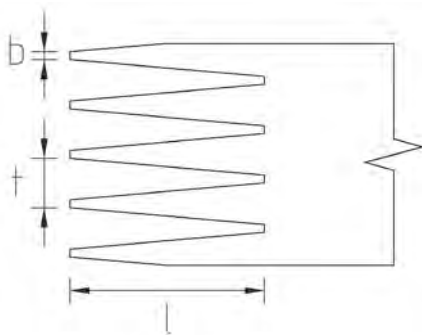


Abbildung 7.1: Definition der geometrischen Abmessungen (Zinkenlänge l , Zinkenteilung t , Zinkengrund b) in einer Keilzinkung

Tabelle 7.5: Klimawechsellagerung der verklebten Probekörper [11]

Lagerungs- folge	Klimaart	Lagerungs- dauer Std.
1	feucht (40° C, 85 % rel. Luftfeuchtigkeit)	94
2	trocken (40° C, 20 % rel. Luftfeuchtigkeit)	72
3	feucht	96
4	trocken	72
5	feucht	96
6	trocken	72
7	Wasserlagerung Wassertemperatur rd. 18° C	32
8	Wieder-Trocknung bei rd. 18° C, 90 % bis 50 % rel. Luftfeuchtigkeit rd. 30° C, 30 % bis 20 % rel. Luftfeuchtigkeit rd. 40° C, 20 % rel. Luft- feuchtigkeit	180
9	Normalklima 20/65	480

Die Zugprüfungen ergaben eine durchschnittliche Zugfestigkeit aller geprüften Keilzinkungen von 71.5 N/mm² (vgl. Tabelle 7.6). Die überwiegende Versagensart war ein Scherbruch in den Zinkenflanken. Der Holzbruchanteil lag bei den Proben ohne Klimawechsellagerung zwischen 90 und 100%, bei den Proben mit Klimawechsellagerung zwischen 70 und 90%. Ein wesentlicher Festigkeitsabfall durch die Klimawechsellagerung konnte nur bei den mit gefülltem Harnstoffharz verklebten Keilzinkungen beobachtet werden. Zusammenfassend konstatieren die Autoren der Studie eine einwandfreie Verklebbarkeit der Keilzinkenverbindungen von Buchenbrettern mit im Holzleimbau üblichen Klebstoffsorten.

Tabelle 7.6: Mittelwerte der Zugfestigkeiten von Keilzinkenverbindungen [11]

Lagerung	Klebstofftyp					
	Resorcinharz		Kaurit WHK		Harnstoffharz	
	n	f _{t,m} [N/mm ²]	n	f _{t,m} [N/mm ²]	n	f _{t,m} [N/mm ²]
Ohne Klimawechsellagerung	5	79.4	5	67.7	5	76.0
Nach Klimawechsellagerung	5	74.7	5	69.9	5	61.8

Gehri [12] hat in den 1980er-Jahren im Rahmen einer grundlegenden Arbeit über die „Möglichkeiten des Einsatzes von Buchenholz für Tragkonstruktionen“ auch Versuche an insgesamt 25 keilgezinkten Buchenlamellen mit den Querschnittsabmessungen 20 × 80 mm durchgeführt. Dabei wurde Resorcin- und Harnstoff-Klebstoff verwendet. Bei den mit Harnstoff-Klebstoff verklebten Proben wurden zudem zwei unterschiedliche Keilzinkenformen verwendet. Der Mittelwert der Zugfestigkeit aller Versuche betrug rund 56 N/mm². Die Resultate der mit Resorcin-Klebstoff hergestellten Proben zeigten ausserdem eine Steigerung von nahezu 40 % gegenüber Vergleichsproben aus Fichte. Aufgrund der geringen Probenzahl sah Gehri davon ab, weitere Schlüsse zu ziehen, und verwies auf den weiteren Forschungsbedarf betreffend Keilzinkenverbindungen.

Aicher et al. [13] haben zusätzlich zur Zugfestigkeit von insgesamt 42 Keilzinkenverbindungen in Buchenlamellen auch die Korrelation der Zugfestigkeit mit der Dichte und der Steifigkeit der gestossenen Bretter untersucht. Für die Versuche wurden fehlerfreie Bretter (d.h. keine Fehler > 5 mm) aus sechs verschiedenen Buchenstämmen gewonnen und auf einen Feuchtegehalt zwischen 12.5 und 15.7% luftgetrocknet. Die Keilzinkenverbindungen wurden unter industriellen Bedingungen mit einer in Deutschland geläufigen Zinkengeometrie (l = 20 mm, t = 6 mm, b = 1.2 mm) und einem mit der EN 301 konformen Melamin-Klebstoff hergestellt. Nach einer fünfmonatigen Klimalagerung (20° C / 65% rF) wurden die Probekörper auf die Querschnittsabmessungen 42 × 115 mm gehobelt und in zweistufigen Zugversuchen getestet. In der ersten Stufe wurde unter kleinerer Belastung der Zug-E-Modul E_{t,0} beider jeweils beteiligter Bretter direkt aus den gemessenen Längsdehnungen bestimmt. In der zweiten Stufe wurden die Proben bis zum Bruch belastet. Neben der Höchstlast wurde auch die Faserabweichung in der Bruchfläche bestimmt.

Bei der Auswertung der Versuche wurde insbesondere ein starker Einfluss der Faserabweichung festgestellt. Für 21 Proben mit Faserabweichungen zwischen 0 und 6 Grad wurde eine mittlere

Zugfestigkeit von 69 N/mm^2 ermittelt, wobei in 90% der Fälle ein reines Keilzinkenversagen vorlag. Für die restlichen 21 Proben mit Faserabweichungen zwischen 6 und 10 Grad wurde eine mittlere Zugfestigkeit von 52 N/mm^2 (-24 %) und nur noch in 19 % der Fälle ein reines Keilzinkenversagen festgestellt. In den restlichen Fällen verlief die Bruchlinie teilweise oder vollständig ausserhalb der Keilzinkung. Weiter wurde eine gute Korrelation ($R = 0.67$) zwischen dem Zug-E-Modul und der Zugfestigkeit der Keilzinkung festgestellt. Die Dichte hingegen zeigte praktisch keine Korrelation zur Festigkeit der Keilzinkung, da sie den Einfluss der Faserabweichung nicht widerspiegelt. Die Autoren beurteilen die industrielle Keilzinkung von Buchenlamellen als prinzipiell gut umsetzbar. Die Lösung des Problems der bei Buche schwierig zu detektierenden Faserabweichung könnte die Leistungsfähigkeit von Bauteilen aus keilgezinkten Buchenbrettern weiter verbessern.

Frühwald et al. [5] prüften im Zusammenhang mit der Beurteilung der Eigenschaften von BSH aus Buche auch eine begrenzte Anzahl von 28 Lamellen mit Keilzinkungen. Dabei wurden die drei unterschiedlichen Klebstoffe Phenol-Resorcin-Formaldehyd-Harz (PRF), Polyurethanklebstoff (PUR) und Melamin-Harnstoff-Formaldehyd-Harz (MUF) verwendet. Der Lamellenquerschnitt betrug $30 \times 150 \text{ mm}$, und es wurde ein für Nadelholz übliches Keilzinkenprofil verwendet ($l = 15 \text{ mm}$, $t = 3.8 \text{ mm}$, $b = 0.54 \text{ mm}$). Bei der Auswertung der durchgeführten Zugversuche wurden erhebliche Unterschiede in Abhängigkeit des Klebstoffes festgestellt, wobei mit PUR die niedrigsten Werte erreicht wurden. Aufgrund der geringen Probenzahl wurden keine generellen Schlüsse gezogen. Es wurde lediglich die prinzipielle Möglichkeit hochwertiger Keilzinkenverbindungen mit Buchenholz bestätigt und auf den weiteren Forschungsbedarf verwiesen.

Im Rahmen einer ausführlichen Forschungsarbeit zu BSH aus Buche von Blass et al. [4] wurden Versuche an Keilzinkenverbindungen durchgeführt. Ziel war in einem ersten Schritt die Ermittlung von Festigkeits- und Steifigkeitswerten sowie von deren Verteilung innerhalb von keilgezinkten Buchenbrettern. Dazu wurden 50 keilgezinkte Proben auf Druck und 371 keilgezinkte Proben auf Zug in Anlehnung an die Norm EN 408 getestet. Die Keilzinkungen wurden mit dem Profil 15/3.8 mm und einem MUF-Klebstoff (Kauramin 681) ausgeführt, die verbundenen Bretter waren jeweils mindestens über eine Länge von 100 mm vom Hirnholzende astfrei. Die Querschnitte variierten zwischen $100 \times 25 \text{ mm}$ und $150 \times 35 \text{ mm}$, die Länge der Prüfkörper betrug 200 mm bei den Druck- resp. 800 mm bei den Zugprüfungen. Die Zugversuche ergaben einen Mittelwert der Zugfestigkeit von 65.7 N/mm^2 und einen charakteristischen Wert von 39.8 N/mm^2 . In den Druckversuchen wurden 47.9 N/mm^2 resp. 38.5 N/mm^2 erreicht. Im Vergleich zu parallel durchgeführten Versuchen mit Vollholzproben wurden für die keilgezinkten Proben vergleichbare Mittelwerte der Festigkeit (-4% auf Zug, +5% auf Druck) erreicht, während die charakteristischen Werte der keilgezinkten Proben deutlich höher lagen (+63.1% auf Zug, +23.8% auf Druck). Die astfreien keilgezinkten Proben zeigten stets eine wesentlich geringere Streuung als die mit Ästen behafteten Vollholzproben. Beim Elastizitätsmodul wurden für die keilgezinkten Proben Mittelwerte von $14'900 \text{ N/mm}^2$ auf Zug und $13'400 \text{ N/mm}^2$ auf Druck ermittelt. Diese Werte lagen jeweils rund 15% über denjenigen der Vollholzproben. Die Resultate dieser Prüfreihe wurden anschliessend in ein numerisches Berechnungsmodell zur Berechnung des Biegewiderstandes von BSH-Trägern aus Buche integriert (siehe 7.4.1). Dazu wurden mittels Regressionsanalysen Korrelationen zwischen den Sortierparametern und den Festigkeits- bzw. Steifigkeitswerten der keilgezinkten Abschnitte ermittelt. Unter der Voraussetzung einer maschinellen Sortierung konnte zusätzlich berücksichtigt werden, dass durch die Sortierung nur Bretter miteinander keilgezinkt werden, deren E-Modul maximal 10% voneinander abwich, wodurch die Keilzinkenfestigkeit erhöht werden konnte.

In Folgearbeiten [14, 15] wurde anhand von 367 Biegeversuchen an Keilzinkenverbindungen untersucht, inwiefern visuelle und maschinelle Sortierkriterien für Buchenbretter auch ausreichende Festigkeiten von keilgezinkten Brettern gewährleisten. Alle untersuchten Proben wiesen das Keilzinkenprofil 15/3.8 mm auf und wurden mit einem Melamin-Klebstoff verklebt. 108 Proben der visuellen Sortierklassen LS10 und LS13 nach DIN 4074-5 ergaben einen charakteristischen Wert der Keilzinkenbiegefestigkeit von 56 N/mm^2 . Insgesamt wurden auch 259 maschinell nach dem dynamischen E-Modul sortierte Proben auf Biegung geprüft. Hierbei stellte sich erst oberhalb eines E-Moduls von $15'000 \text{ N/mm}^2$ eine signifikante Erhöhung der Keilzinkenfestigkeit gegenüber visuell sortierten Proben ein. Die 127 Proben, welche dieses Kriterium erfüllten, ergaben einen charakteristischen Wert der Biegefestigkeit von 70 N/mm^2 . Die Resultate der Untersuchung haben gezeigt, dass die visuellen Sortierklassen LS10 und LS13 bezüglich der Keilzinkenfestigkeit die Herstellung von BSH der Klasse GL36 ermöglichen. Mit einer maschinellen Sortierung nach dem

dynamischen E-Modul kann sogar GL48 erreicht werden. Aufgrund der höheren Steifigkeit der Keilgezinkungen innerhalb der Lamellen müssen dazu an die Keilzinkungen höhere Festigkeitsanforderungen gestellt werden als an die verbundenen Bretter (Tabelle 7.10 in 7.4.1).

7.2.2 Esche

Spezifische Forschungsarbeiten zu Keilzinkenverbindungen mit Eschenholz sind den Autoren nicht bekannt. Im Rahmen der Planung von Pilotprojekten mit BSH aus Esche hat die neue Holzbau AG in Lungern [16] Keilzinkenverbindungen an Eschenlamellen untersucht und erfolgreich in Bauprojekten eingesetzt. Als Anforderung wurde für die Keilzinkungen das 1.2-fache der charakteristischen Zugfestigkeit der Festigkeitsklasse des Brettes festgelegt. Für T30-Bretter mussten die Keilzinkungen somit $f_{t,j,k} = 36 \text{ N/mm}^2$ erreichen, für T40-Bretter $f_{t,j,k} = 48 \text{ N/mm}^2$. Erreicht wurden diese Werte durch Anpassung einer Vielzahl an Parametern (Fräsgeometrie, Klebstofftyp, Leimauftrag, offene bzw. geschlossene Wartezeit, Pressdruck, Temperatur, Feuchte, usw.).

7.2.3 Eiche

Die Keilzinkung von Eichenbrettern wurde von Pitzner et al. [17] als problematisch beurteilt. Zugversuche an 46 keilgezinkten Brettern mit den Abmessungen $28 \times 150 \times 800 \text{ mm}$ deuteten auf eine schwierige Verklebbarkeit der Eiche hin. Es wurden mit MUF, mit PRF und mit PUR verklebte Proben untersucht. Die Anzahl der Proben und die ermittelten Festigkeiten sind in Tabelle 7.7 zusammengestellt. Als Bruchart wurde bei je rund 60% der mit MUF und PUR verklebten Proben ein gemischter Bruch von Holz und Keilzinkung beobachtet, die restlichen jeweils rund 40% zeigten einen Klebstoffbruch an den Zinkenflanken. Die mit PRF verklebten Proben zeigten in 100% der Fälle reine Klebstoffbrüche. Aufgrund dieser Resultate wurde PRF für die Verklebung von Keilzinkenstössen aus Eiche als ungeeignet befunden. Mit MUF und PUR konnten im Vergleich zwar etwas höhere Festigkeiten erzielt werden, die geringen Holzbruchanteile wurden aber auch hier als Indiz für die schwierige Verklebbarkeit der Eiche beurteilt.

Tabelle 7.7: Mittelwerte ($f_{t,m}$) und 5%-Fraktilwerte ($f_{t,k}$) von Keilzinkungen aus Eiche [17]

Klebstoff	MUF	PRF	PUR
n	14	13	19
$f_{t,m} [\text{N/mm}^2]$	43.9	35.4	21.6
$f_{t,k} [\text{N/mm}^2]$	31.5	21.4	16.2

7.2.4 Fazit „Keilzinkung“

Bereits ältere Untersuchungen an Buchenbrettern zeigten, dass für diese Holzart die Herstellung von hochwertigen Keilzinkenverbindungen prinzipiell möglich ist [11, 12]. Spätere Studien bestätigten die Umsetzbarkeit mit aus der BSH-Produktion für Nadelholz bekannten Keilzinkenprofilen [4, 5, 13]. Unter der Voraussetzung, dass nur Bretter mit fehlerfreien Endbereichen verbunden werden, können für Keilzinkungen bedingt durch die geringere Streuung höhere charakteristische Festigkeitswerte erzielt werden als in den angrenzenden (mit Strukturstörungen behafteten) Bereichen. Aufgrund der höheren Steifigkeit der keilgezinkten Stellen und der daraus resultierenden grösseren Belastung müssen an die Keilzinkungen höhere Festigkeitsanforderungen gestellt werden als an die angrenzenden Brettbereiche [4, 15]. Diese Erkenntnisse beruhen auf einer Vielzahl von Versuchen und Simulationsrechnungen und wurden in die für Deutschland gültige bauaufsichtliche Zulassung Z-9.1-678 [18] aufgenommen.

Aufgrund der Korrelation zwischen dem E-Modul der verbundenen Bretter und der Keilzinkenfestigkeit kann mit einer Sortierung nach dem dynamischen E-Modul die Keilzinkenfestigkeit zusätzlich erhöht werden [4, 13].

Bezüglich der Klebstoffwahl zeigte sich für Buche eine primäre Eignung von MUF sowie PRF. PUR-Klebstoffe erzielten in Studie [5] schlechtere Resultate. Die Neue Holzbau AG in Lungern hat gemäss

eigenen Angaben PUR-Klebstoffe erfolgreich für die Keilzinkung von Buche angewandt. Damit werden Erkenntnisse aus der Flächenverklebung von Laubholz bestätigt, welche in 7.3 näher erläutert werden.

Die Keilzinkung von Buche liefert also mit den für Nadelholz gebräuchlichen Zinkengeometrien zufriedenstellende Ergebnisse. Auf Laubholz angepasste Geometrien könnten möglicherweise die Ergebnisse weiter verbessern, entsprechende Untersuchungen stehen jedoch noch aus. Versuche mit Keilzinkungen an Eichenbrettern zeigten unbefriedigende Ergebnisse, insbesondere aufgrund des hohen Anteils an Brüchen in den Klebfugen. Deshalb ist die Keilzinkung von Eichenholz als problematisch zu beurteilen [17]. Forschungsarbeiten zu Keilzinkenverbindungen mit Eschenholz sind den Autoren keine bekannt. Erste Erfahrungen aus der Praxis zeigten jedoch gute Resultate.

7.3 Flächenverklebung von Lamellen

7.3.1 Buche

Egner und Kolb [11] haben bei ihren Versuchen an Brettschichtholzträgern aus Buche bereits auch den Einfluss der Klebstoffsorte wie auch einer Klimawechsellagerung auf die Verklebungsqualität im Ansatz untersucht. Von insgesamt drei geraden Brettschichtholzträgern mit Rechteckquerschnitt (300 × 120 mm) und drei Trägern mit I-Profil (220 × 120 mm, Steg- und Flanschstärke jeweils 40 mm) wurde jeweils je einer mit Resorcinharz-, mit Kaurit- und mit Harnstoffharz-Klebstoff verklebt. In 4-Punkt-Biegeversuchen wurde kein Einfluss der Klebstoffsorte auf die Festigkeit festgestellt. Die mit Resorcinharz verklebten Träger wurden vor der Biegeprüfung einer Klimawechsellagerung (Tabelle 7.5) unterzogen. Es wurden zum Teil erhebliche Schwindrisse (hauptsächlich im Holz) festgestellt, ein Einfluss auf die Festigkeit der Träger konnte jedoch nicht nachgewiesen werden. Die Autoren kamen zum Schluss, dass sich Bauteile aus Buchenholz mit den im Holzleimbau üblichen Klebstoffen herstellen lassen.

Frühwald et al. [5] haben verschiedene Prüfserien zur Untersuchung der Verklebbarkeit von Buchenholz durchgeführt. An BSH-Balken wurden Delaminierungsprüfungen nach DIN EN 391:2001 Verfahren B sowie Klimalagerungsversuche durchgeführt. Hierzu wurden Balken mit drei ausgewählten Klebstoffen (MUF, PRF und PUR) und drei verschiedenen Lamellenstärken (30/24/18 mm) hergestellt. Die Delaminierungsversuche an insgesamt 74 Prüfkörpern zeigten deutliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Klebstoffen und ebenso einen positiven Einfluss von kleineren Lamellenstärken. Einzig die mit MUF verklebten Proben mit der kleinsten Lamellenstärke von 18 mm erfüllten im Mittel die Anforderungen der DIN EN 386:2002, wonach zum Bestehen der Prüfung der Gesamtprozentsatz der Delaminierung maximal 4% betragen darf. PRF ergab nur geringfügig schlechtere Resultate, während bei PUR durchgehend grosse Delaminierungen auftraten. Die Eignung des Prüfverfahrens wird von den Autoren jedoch hinterfragt, insbesondere im Hinblick auf die vorerst hauptsächlich im Innenbereich vorgesehene Anwendung von Buchen-BSH.

Für die Klimalagerungsversuche wurden jeweils zwischen 7 und 17 Balkenabschnitte (L = 1 m) in einem kontrollierten Wechselklima, einem natürlichen Aussenklima sowie einem unbeheizten Innenklima über einen Zeitraum von 30 Wochen gelagert und anschliessend der Delaminierungsprozentsatz bestimmt. Bei der Auswertung wird auf die geringe Stichprobenzahl verwiesen. Der Einfluss der Lamellenstärke auf die Fugenöffnungswerte konnte nicht eindeutig bestätigt werden. Prüfkörper mit versiegelten Hirnholzenden zeigten tendenziell eine geringere Delaminierung im Bereich der Trägerenden. Dersweiteren wurden an 1983 Kleinproben die Druckscherfestigkeit nach DIN EN 392:1995 und die Querkzugfestigkeit nach DIN 68141:1969 ermittelt. In Stichprobengrössen von je rund 24 Proben wurden Konfigurationen mit acht Klebstoffen (MUF (2), PRF (2), PUR (3), Epoxid), sowie mit gedämpfter oder ungedämpfter Buche mit oder ohne Rotkern getestet. Ausserdem wurde die Verklebbarkeit von Buche mit Fichte geprüft. Die Resultate zeigten, insgesamt über alle Klebstoffe betrachtet, eine gute Verklebbarkeit von Buchenlamellen. Bezüglich Klebstoffart konnte keine klare Tendenz festgestellt werden; jeder Klebstoff sei individuell nach Eignung zu prüfen. Ein signifikanter negativer Einfluss des Rotkerns konnte nicht festgestellt werden. Die Verklebung von Buche mit Fichte funktionierte mit allen Klebstoffen gut, es wurde stets die Festigkeit des Fichtenholzes massgebend.

Ohnesorge et al. [19, 20] untersuchten an Kleinproben aus Buchenholz die Verklebungsqualität in Abhängigkeit der Klebstoffsorte (PRF, MUF, PUR), einer vorgängigen Klimabehandlung sowie der Rotkernigkeit. Es wurden an insgesamt 580 Proben Scherprüfungen nach DIN EN 392-1:1995 und

Querzugprüfungen nach DIN EN 302-3:2004 durchgeführt. Ein Teil der Proben wurde vor der Prüfung einer Klimabehandlung A3 nach EN 302 unterzogen, die restlichen wurden unbehandelt (A1) geprüft. Die Scherprüfungen der unbehandelten Proben zeigten den höchsten Mittelwert der Scherfestigkeit für PRF (18.3 N/mm^2), gefolgt von MUF (15.9 N/mm^2) und PUR (13.5 N/mm^2). Damit wurden von allen Klebstoffen der nach DIN EN 301:2001 unter normalen Klimabedingungen geforderte Wert von 10 N/mm^2 übertroffen. Die Holzbruchanteile betrugen 100% für PRF, 85% für MUF und 10% für PUR. Bei den Querzugversuchen ohne Klimabehandlung wurde der geforderte Wert von 2 N/mm^2 ebenfalls von allen Klebstoffen erfüllt. Die klimabehandelten Proben führten für jeden Klebstoff zu tieferen Festigkeitswerten. Die Scherfestigkeit nahm nur marginal ab, bei der Querzugfestigkeit war ein grösserer Abfall festzustellen. Mit PRF wurden dennoch alle Bedingungen nach DIN EN 302 erfüllt, MUF und PUR konnten die Anforderungen nach der Klimabehandlung nicht mehr erfüllen. In der gesamten Versuchsreihe konnte kein relevanter Einfluss der Rotkernigkeit bezüglich der Mittelwerte der Festigkeiten festgestellt werden. Hingegen zeigte sich bei rotkernigen Proben eine etwas grössere Streuung. Damit wird rotkernigem Buchenholz das Potential für die Verwendung in tragenden Bauteilen attestiert.

Pöhler et al. [21] bestimmten an Proben aus Buchenholz die Längszugscherfestigkeit nach EN 302-1:2001 unter Berücksichtigung des Einflusses der Rotkernigkeit. Es wurden ein Einkomponenten-Polyurethan-Klebstoff (PUR) sowie ein MUF-Klebstoff geprüft. Unbehandelte Proben (Behandlung A1 nach EN 302) zeigten generell Werte über den Minimalanforderungen nach EN 301:2001, wobei bei MUF alle Proben einen Holzbruchanteil von 100% aufwiesen. Proben, welche der Klimabehandlung A4 nach EN 302 unterzogen wurden, konnten die Anforderungen nach EN 301 (6 N/mm^2) nicht erfüllen. Die Leistung beider Klebstoffe unter einer hohen Feuchteeinwirkung wurde als ungenügend beurteilt. Dies obwohl bei MUF Holzbruchanteile von stets über 50% auftraten. Bei PUR hingegen wurde kein Holzbruch mehr beobachtet. Zusammenfassend wird Buchenholz unter Normalklima eine gute Verklebbarkeit attestiert. Ein negativer Einfluss der Rotkernigkeit konnte nicht festgestellt werden.

Aicher und Reinhardt [22] untersuchten die Scherfestigkeit und die Delaminierungseigenschaften von Klebfugen rotkerniger und nicht rotkerniger Buchenholzlamellen. Die Lamellenstärke betrug i.d.R. 36 mm. Die geprüften 36 Parameterkombinationen (3 Versuche pro Konfiguration) umfassten die Rotkernigkeit, zwei Querschnittsbreiten der Lamellen (90/130 mm), zwei Klebstofffamilien (MUF, PUR) und zwei Delaminierungsverfahren nach DIN EN 302-2 für den Nachweis des Klebstofftyps I (Nutzungsklassen 1,2,3) und II (Nutzungsklassen 1,2). Die Blockscherprüfungen nach DIN EN 392 zeigten keinen Einfluss der Rotkernigkeit auf die Scherfestigkeit. In allen Prüfkonfigurationen wurden sehr hohe Scherfestigkeiten ($> 10 \text{ N/mm}^2$) erzielt, welche ausnahmslos über den Leistungsanforderungen der DIN EN 386 lagen. Die Delaminierungsversuche ergaben einen deutlich negativen Einfluss der Rotkernigkeit sowie einer grösseren Lamellenbreite. Die Delaminierungsanforderungen an Klebstofftyp I wurde von keiner Konfiguration erreicht. Die Anforderungen an Klebstofftyp II wurden nur von Konfigurationen ohne Rotkern erreicht, Fugen zwischen zwei rotkernigen Lamellen zeigten durchwegs starke Delaminierungen von über 50%. Die hier angewandten – an Nadelholz kalibrierten – Prüfverfahren und die zugehörigen Delaminierungsanforderungen seien allerdings bezüglich ihrer Relevanz für Laubholz noch zu prüfen.

Eine weitere Untersuchung bezüglich Scherfestigkeit und Delaminierungsverhalten von Buchenholz wurde von Ohnesorge et al. [23] durchgeführt. In Abbildung 7.2 ist das Schema für die Delaminierungsversuche dargestellt. Im Hinblick auf die Anwendung von Buchen-BSH hauptsächlich in Nutzungsklasse 1 wurde das Verfahren C nach EN 391:2001 gewählt. Es wurden im Labor hergestellte sechslagige BSH-Balken (B) sowie industriell gefertigte I-Träger getestet. Zur Verklebung wurde ein MUF-Klebstoff verwendet. Die untersuchten Parameter waren die Rotkernigkeit, die Lamellenstärke, die geschlossene Wartezeit und die Faserorientierung bezüglich der Klebfuge (tangential, rift, halbrift). Für jede Konfiguration wurden jeweils auch Scherprüfungen nach DIN EN 392:1995 durchgeführt. Eine Auswahl von Proben wurde der Klimabehandlung A3 nach DIN EN 301:2006 unterzogen, die restlichen Proben wurden unbehandelt (A1) geprüft. Die Versuche ergaben keinen signifikanten Einfluss der Rotkernigkeit auf die Verklebungsqualität. Hingegen wurde die Lamellenstärke als wesentlicher Faktor identifiziert. Lamellenstärken unter 30 mm führten zu einer starken Reduktion der Delaminierung. Bezüglich Faserneigung wurde ein ähnlich positiver Effekt bei der Verwendung von Riffbrettern festgehalten, wobei die praktische Relevanz dieser Erkenntnis bezweifelt wurde. Des Weiteren hatte eine verlängerte geschlossene Wartezeit ebenfalls einen positiven Effekt. Die Scherversuche erfüllten unabhängig vom Rotkernanteil insgesamt die geforderten Festigkeiten, sowohl für unbehandelte (A1) als auch für klimabehandelte (A3) Proben. Eine Korrelation zwischen den Resultaten der Scher- und der Delaminierungsversuche wurde nicht festgestellt.

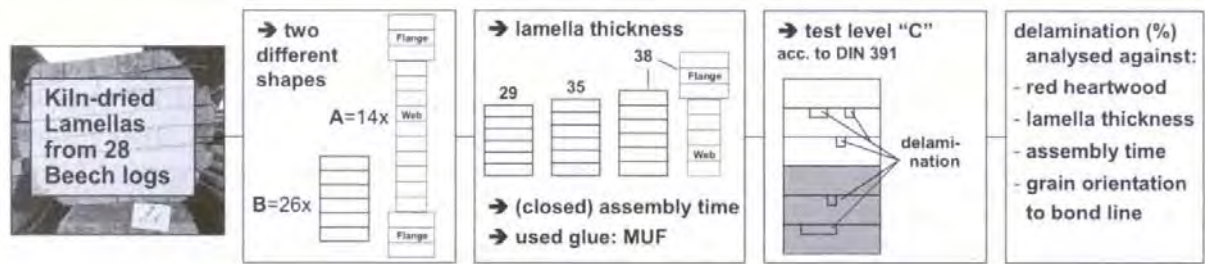


Abbildung 7.2: Schema der Delaminierungsversuche nach DIN EN 391:2001 [23]

2007 wurde von Ohnesorge et. al. [24] eine Befragung von Herstellern von BSH in Deutschland, Österreich und der Schweiz durchgeführt, zur Erfassung bisheriger Erfahrungen mit BSH aus Laubholz. 29 Hersteller nahmen an der Umfrage teil. Die Menge an BSH aus Laubholz war mit 90 m^3 (0,01% der Produktionsmenge) marginal und wurde von nur vier Herstellern erbracht. Im Vergleich zu Fichtenholz beurteilten die Hersteller die Verklebung von Laubholz insgesamt als schwieriger. Einige Unternehmen gaben allerdings auch an, keine Probleme mit der Verklebung von Laubholz gehabt zu haben. Für eine hinreichende Verklebungsqualität und eine langfristige Fugenbeständigkeit sahen diese folgende gegenüber der Verklebung von Fichtenholz veränderte Verarbeitungsparameter als wesentlich: Erhöhung des Pressdruckes (auf $\approx 1.2 \text{ N/mm}^2$), Verringerung der Lamellendicke sowie Verlängerung der Warte-, Press- und Nachhärtezeit.

Schmidt et al. [25] untersuchten die Verklebung von 30 mm dicken Buchenlamellen mit handelsüblichen MUF- und auch PUR-Klebstoffen. Dazu wurden Delaminierungsversuche nach EN 302-2:2002 (Verfahren I und II) und Scherprüfungen nach EN 392:1995 durchgeführt. Neben dem Klebstoff wurde der Einfluss der Parameter Rotkernigkeit und geschlossene Wartezeit untersucht. Der Pressdruck betrug stets 1.2 N/mm^2 . Bei längeren geschlossenen Wartezeiten konnten für die zwei untersuchten MUF-Systeme die Anforderungen an die Delaminierung nach EN 301:2006 von Klebstofftyp I und II eingehalten werden. Auch rotkernige Lamellen konnten ohne Einschränkungen verklebt werden. Kurze geschlossene Wartezeiten führten hingegen zu einer unzureichenden Fugenbeständigkeit. Die mit einem PUR verklebten Fugen wurden nur mit kurzen Wartezeiten und in einem geringen Probenumfang hergestellt. Damit wurden nur unzureichende Resultate erzielt, welche jedoch keine abschließende Beurteilung zulassen. Die Scherprüfungen ergaben für alle untersuchten Klebstoffe und geschlossene Wartezeiten hohe Festigkeiten. Insgesamt erzielten die MUF-Klebstoffe bessere Resultate, insbesondere auch bezüglich des Holzbruchanteils. Die Anforderungen nach EN 386:2001 wurden von den MUF-Klebstoffen weit übertroffen. Die Rotkernigkeit hatte weder auf die Scherfestigkeit noch auf die Holzbruchanteile einen Einfluss. Zwischen den Ergebnissen der Scher- und Delaminierungsprüfungen wurden keine Zusammenhänge gefunden. Die Autoren empfehlen daher zur Qualitätssicherung von BSH aus Buche die Durchführung einer Delaminierungsprüfung. Diese Arbeit lieferte einen Beitrag an die in Deutschland erteilte allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für BSH aus Buche zur tragenden Anwendung in Nutzungsklasse 1.

Von Aicher und Ohnesorge [26] durchgeführte Scherprüfungen gemäss EN 392:1995 an MUF-Klebfugen in Buchen-BSH ergaben ebenfalls keinen statistisch signifikanten Einfluss der Rotkernigkeit, weder auf die Scherfestigkeitswerte noch auf den Holzbruchanteil. Je 102 Proben mit bzw. ohne Rotkern wurden geprüft. Die Anforderungen nach EN 386:2001 bezüglich Festigkeit wurde von praktisch allen Proben erfüllt. Die kombinierte Anforderung von Scherfestigkeit und Holzbruchanteil wurde von rund 10% der Proben nicht erfüllt (Abbildung 7.3a). Bezüglich der Mittelwerte wurden die Grenzwerte jedoch eingehalten (Abbildung 7.3b). Es wird von den Autoren der Studie darauf verwiesen, dass die Anforderungen gemäss EN 386 anzupassen seien, wobei sie bezüglich Scherfestigkeit zu erhöhen und bezüglich Holzbruchanteil zu lockern seien.

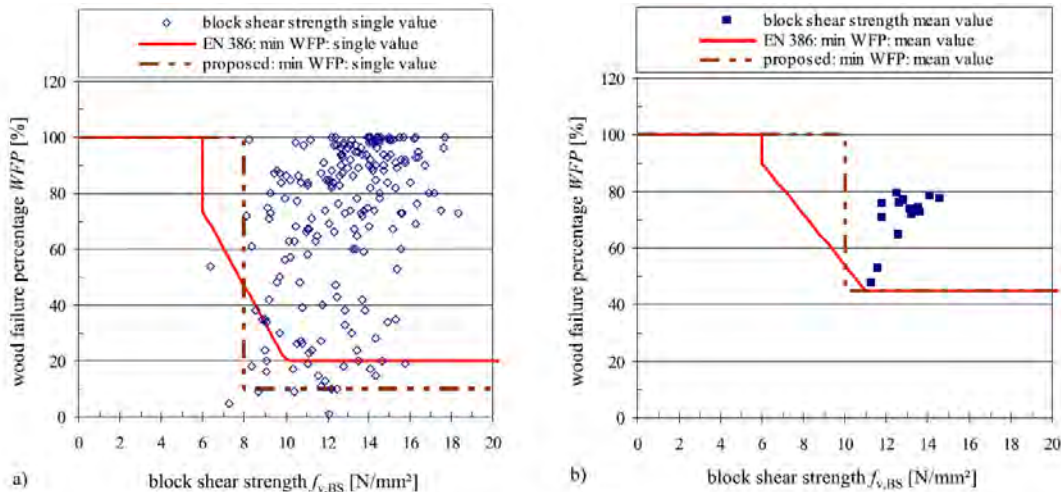


Abbildung 7.3: Blockscherfestigkeit und Holzfaserbruchanteil von Proben aus den geprüften Buchen-BSH-Trägern – bisherige und empfohlene (gestrichelte Linie) Anforderungen an den Mindestfaserbruchanteil (a) für Einzelwerte der Blockscherfestigkeit; (b) für Durchschnittswerte der Blockscherfestigkeit [26]

7.3.2 Esche

Spezifische Forschungsarbeiten zu Flächenverklebung von Eschenholz sind den Autoren nicht bekannt.

7.3.3 Eiche und Robinie

Pitzner et al. [17] untersuchten unter anderem die Verklebbarkeit von Eichen- und Robinienholz im Hinblick auf eine tragende Verwendung im Aussenbereich. Mit verschiedenen Prüfmethode wurde die Verklebbarkeit bei unterschiedlichen Holzfeuchten (12%, 18% und >24%) mit 7 handelsüblichen Klebstoffprodukten zwei MUF-Produkte, zwei PRF-Produkte, zwei PUR-Produkte sowie ein Epoxidharz-Produkt untersucht. An insgesamt über 3'000 Kleinproben wurden Druckscher- und Querzugversuche in Anlehnung an die DIN 52187 und die DIN 68141 durchgeführt. Die Versuche ergaben für Eichenholz nur bei einer Holzfeuchte von 12% und nur mit einem der beiden MUF- sowie mit einem der beiden PRF-Klebstoffe gute Resultate. Daraus wurde geschlossen, dass die Verklebbarkeit von Eichenholz nur im getrockneten Zustand möglich ist, und dass die Verklebungsqualität nicht nur vom Klebstofftyp, sondern auch vom jeweiligen Produkt abhängig ist. Für die Robinie wurden ähnliche Resultate erhalten. Es zeigten sich auch hier deutliche Unterschiede abhängig vom Klebstofftyp sowie vom jeweiligen Produkt, so dass keine generelle Aussage gemacht werden konnte. Ausserdem wurden Delaminierungsprüfungen nach DIN EN 391:1995 Verfahren B an Eichenholz-BSH-Elementen (Querschnitt 240 × 145 mm) durchgeführt. Die Prüfkörper wurden unter Verwendung von drei Klebstoffsorten (MUF, PRF, PUR) bei 18% relativer Holzfeuchte verklebt. Pro Klebstoffsorte wurden sechs Prüfkörper hergestellt. Die Prüfungen ergaben nur für MUF-Klebstoffe zufriedenstellende Resultate. Zusammenfassend wird festgehalten, dass Robinienholz mit MUF- und PRF-Klebstoffen auch bei erhöhter Holzfeuchte grundsätzlich verklebt werden kann. Bei Eichenholz wurde nur bei getrockneten Proben (12% relative Holzfeuchte) und nur bei geeigneter Klebstoffauswahl eine gute Verklebung erreicht.

7.3.4 Fazit „Flächenverklebung“

Verschiedene Studien bestätigen die grundsätzliche Verklebbarkeit von Laubholz, wobei vorwiegend Untersuchungen zur Verklebung von Buchenlamellen vorliegen. Bezüglich der Klebstoffwahl erzielen vor allem MUF-, aber auch PRF-Klebstoffe die besten Resultate [5, 17, 20]. PUR-Klebstoffe sind weniger geeignet, was sich auch in generell tieferen Holzbruchanteilen zeigt [20, 21]. Es gilt aber zu beachten, dass auch innerhalb der verschiedenen Klebstofffamilien je nach Produkt signifikante Unterschiede bestehen können [5, 17].

In Delaminierungsversuchen zeigt sich die Verklebung von Laubholz bei starker Beanspruchung durch Feuchtewechsel allerdings als problematisch. Die Anforderungen für Klebstofftyp I gemäss EN 301

konnten in den meisten Studien nicht eingehalten werden [21, 22]. Hingegen hat sich gezeigt, dass bei angepassten Verklebungsparametern unter Umständen auch diese Anforderungen erfüllt werden können [25]. Eine Verbesserung der Fugenbeständigkeit kann primär durch einen erhöhten Pressdruck (1.2 N/mm^2) und eine verlängerte geschlossene Wartezeit erreicht werden [23-25]. Ausserdem wirkt sich eine reduzierte Lamellenstärke ($< 30 \text{ mm}$) ebenfalls positiv aus [5, 19, 23, 24], da der feuchtebedingten Verwindung bei dünneren Lamellen besser begegnet werden kann.

In Bezug auf die Verwendung rotkerniger Buche besteht kein signifikanter negativer Einfluss des Rotkerns auf die Verklebungseigenschaften [5, 19-21, 23, 25, 26]. Einzelne widersprüchliche Ergebnisse [22] können wahrscheinlich auf andere Parameter (z.B. Lamellenstärke) zurückgeführt werden.

In mehreren Arbeiten [23, 25] wird festgestellt, dass zwischen den Resultaten der zur Qualitätssicherung verwendeten Scher- und Delaminierungsprüfungen keine Korrelation besteht. Ausserdem wird die Aussagekraft der für Nadelholz entwickelten Delaminierungsversuche gemäss EN 302 von mehreren Autoren infrage gestellt [5, 22]. Damit zeigt sich ein Bedarf der Überprüfung und eventuellen Anpassung der Prüfverfahren für Laubholzverklebungen. Bezüglich der Verklebung ist für eine Anwendung in Nutzungsklasse 1 eine ausreichende Datenmenge vorhanden, was in Deutschland bereits zu einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung für BSH aus Buche [18] geführt hat. Für die Qualitätssicherung sollten angepasste Verklebungsparameter (Pressdruck, geschlossene Wartezeit) noch näher untersucht und spezifiziert werden. Anwendungen in höheren Nutzungsklassen scheinen möglich [25], hierfür bedarf es aber noch weiterer Untersuchungen.

7.4 Mechanische Eigenschaften von BSH aus Laubholz

7.4.1 Biegung

Bereits 1966 haben Egner und Kolb [11] verklebte Träger aus Buchenlamellen auf Biegung getestet. Je drei gerade Träger mit Rechteckquerschnitt ($300 \times 120 \text{ mm}$) und drei Träger mit I-Profil ($220 \times 120 \text{ mm}$, Steg- und Flanschstärke jeweils 40 mm) wurden in 4-Punkt-Biegeversuchen geprüft. Ausserdem wurde ein gekrümmter Träger mit variablem Querschnitt in Druck-Biegeversuchen sowie Biegeversuchen mit verteilter Lasteinleitung untersucht. Diese Versuche ergaben bereits damals, dass sich Bauteile aus verklebtem Buchenholz einwandfrei herstellen liessen und zu rechnerischen Bruchspannungen führen, welche wesentlich ($40 - 120\%$) über den Werten vergleichbarer Bauteile aus verklebtem Fichtenholz lagen. Beim Biege-E-Modul wurde allerdings nur eine unwesentliche Steigerung gegenüber Fichte festgestellt.

Untersuchungen von Gehri [12, 27] bestätigten im Grundsatz die positiven mechanischen Eigenschaften von BSH-Trägern aus Buchenlamellen. Vier Biegeträger von 5.40 m Länge mit einem Querschnitt von $500 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}$ wurden in 4-Punkt-Biegeversuchen getestet. Die Lamellenstärke betrug 20 resp. 30 mm . Für die Versuche wurde im mittleren Bereich mit konstantem Biegemoment bewusst jeweils ein Keilzinkenstoss in der zugbeanspruchten Randlamelle angeordnet. Die Resultate zeigten stets Biegefestigkeiten von über 50 N/mm^2 . Durch Vergleiche mit ähnlichen Trägern aus Fichtenholz stellte Gehri für BSH aus Buche eine um mindestens 30% höhere Biegefestigkeit fest.

Frühwald et al. [5] führten 4-Punkt-Biegeversuche nach DIN EN 408:1996 an insgesamt 101 Buchen-BSH-Trägern durch. Die Prüfkörper bestanden jeweils aus sechs 30 mm starken vorgängig sortierten Lamellen (Sortierung nach visuellen Merkmalen und nach dem dynamischen E-Modul). Abmessungen und geprüfte Konfigurationen sind in Abbildung 7.4 ersichtlich. Bei den kombinierten Buchen/Fichten-Trägern bestanden jeweils die beiden Mittellamellen aus Fichte. Die Prüfkörper enthielten keine Keilzinkungen. Überwiegend wurde ein Biegezugbruch der Randlamelle als Versagensursache beobachtet (bei 90 der 101 Versuche). Als Schwachstellen wurden neben Ästen auch Stellen mit grosser Faserabweichung identifiziert. Bei fünf kombinierten Trägern trat bei überdurchschnittlich hohen Lasten ein Schubbruch in einer der beiden Mittellamellen aus Fichte auf. Die rechnerischen Biegefestigkeiten wurden mit dem Korrekturfaktor für Bauteile aus BSH unter 600 mm Höhe gemäss prEN1194:1999 korrigiert. Je nach Sortierung entsprachen sie den Nadelholzklassen GL48 bis GL60. Die E-Moduln lagen zwischen $13'900$ und $14'000 \text{ N/mm}^2$ und stellten somit keine markante Erhöhung gegenüber BSH aus Fichte dar. Die Resultate wurden hinsichtlich der für Fichten-BSH anerkannten Beziehung zwischen der Zugfestigkeit der Lamellen und der Biegefestigkeit der Träger nach prEN1194:1999 untersucht. Hierfür wurden Resultate aus Zugversuchen an einzelnen Lamellen (siehe 7.1.2) sowie

darauf basierende Simulationswerte herangezogen. Es wurde festgestellt, dass die für Fichte anerkannte Beziehung in guter Näherung auch für Buche anwendbar sei (siehe Abbildung 7.5).

Buchen-Brettschichtholz	
• 65 Buchen-Träger	
○ 45 PU-verleimt	
○ 10 MUF-verleimt	
○ 10 PRF-verleimt	
• 36 Buchen/Fichten-Träger	
○ nur PU-verleimt	
• Endmaße (LxBxH)	
3,42 x 0,15 x 0,18 m	

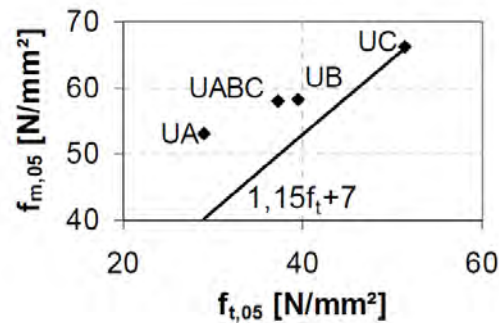


Abbildung 7.4: Leimplan [5]

Abbildung 7.5: Zusammenhang von Lamellen-Zugfestigkeit und Biegefestigkeit der BSH-Träger [5]

Untersuchungen der Universität Karlsruhe (Blass et al. [4], Frese und Blass [7, 15]) beinhalteten 59 4-Punkt-Biegeversuche an BSH-Trägern aus Buche gemäss EN 408:1996 sowie eine ausführliche Analyse mittels numerischem Simulations- und Rechenprogramm. Die geprüften Konfigurationen sind Tabelle 7.8 zu entnehmen. Für die Träger wurden nach dem dynamischen E-Modul sortierte keilgezinkte Lamellen verwendet. In der Querschnittsmitte wurden prinzipiell tiefer klassierte Bretter verwendet als in den Randbereichen. Es wurde festgestellt, dass sich eine höhere Klassifizierung der Lamellen nach dem dynamischen E-Modul auch in höheren Biegefestigkeiten des Trägers niederschlug. Bei gleicher Klasse der Bretter wurde mit zunehmender Trägerhöhe eine Abnahme der Biegefestigkeit beobachtet. In den beiden oberen Tragfähigkeitsklassen (H und SH) lagen die kleinsten Festigkeitswerte durchwegs oberhalb von 44.5 N/mm^2 . In den meisten Fällen wurde das Biegeversagen durch ein Keilzinkenversagen in den Randlamellen eingeleitet, womit sich der Einfluss der Keilzinkenqualität auf die Biegefestigkeit zeigte.

Mit einem Rechenmodell bestehend aus einem Simulations- und Finite-Elemente-Programm wurden Biegeversuche an BSH-Trägern nach DIN EN 408 simuliert. Das Rechenmodell basierte auf dem „Karlsruher Modell“ nach Ehlbeck et al. [28, 29]. Im Modell wurden die Lamellen in Abschnitte konstanter mechanischer Eigenschaften von 150 mm Länge unterteilt. Über eine Bestimmungsgleichung für die mechanischen Eigenschaften lieferten hierfür die an 1888 Buchenbrettern ermittelten strukturellen Eigenschaften (Rohdichte, dynamischer E-Modul, Astigkeit) die Datengrundlage. Durch Modellierung und Nachrechnung der oben erwähnten Biegeversuche wurde das Rechenmodell geprüft. Aufgrund der guten Übereinstimmung der Simulationsrechnungen mit den Versuchsergebnissen wurde das Rechenmodell für geeignet befunden, die Festigkeit und Steifigkeit von BSH aus Buche vorherzusagen. Das Rechenmodell wurde anschliessend verwendet, um in Abhängigkeit der charakteristischen Biegefestigkeit der Keilzinkenverbindungen und verschiedenen Sortiermodellen Festigkeitsklassen für BSH aus Buche aufzustellen. Durch eine visuelle Sortierung in die Sortierklasse LS13 konnte GL32 erreicht werden. Die Begrenzung der maximalen Astgrösse auf 5 mm führte zu GL36. Eine maschinelle Sortierung nach dem dynamischen E-Modul und der Astigkeit in die Festigkeitsklasse D50 bzw. D60 wurde als Voraussetzung für GL40 bzw. GL48 festgehalten.

Tabelle 7.8: Angaben zu den in [4] geprüften Versuchsträgern

Höhe h [cm]	11	34	60
Tragfähigkeitsklasse	Kurzbezeichnung/Anzahl der Versuchsträger		
sehr hoch (SH)	-	SH-34/12	SH-60/10
hoch (H)	H-11/6	H-34/12	H-60/8
niedrig (N)	N-11/6	N-34/5	-
Produktion	3/2004	12/2003	2/2004 u. 3/2004
Stützweite l [cm]	150	510	900
Holzherkunft	Schönbuch	Spessart	Nordhessen u. Schönbuch

In einer Folgearbeit [14] wurden die Resultate von insgesamt 235 Biegeversuchen an keilgezinkten Buchen-Lamellen in das Modell integriert und die Erkenntnisse aus [4, 7, 15] konkretisiert. Vorgesprochen wurden Sortierklassen nach Tabelle 7.9 sowie Festigkeitsklassen für BSH aus Buche für die Referenzträgerhöhe von 600 mm nach Tabelle 7.10, mit entsprechenden Anforderungen an die Rand- bzw. Mittellamellen, sowie an die Keilzinkungen.

Tabelle 7.9: Vorschlag für Sortierklassen von Buchenlamellen [14]

Table 4 Grades

No.	Model	knots	MOE (N/mm ²)	characteristic tensile strength EN 408 (N/mm ²)
1	LS10	DEB $\leq 0,33$	-	22
2	LS13a	DEB $\leq 0,20$	-	27
3	LS13b	DEB $\leq 0,042$	-	31
4	MSa	DEB $\leq 0,20$	15000 < E _{dyn}	40
5	MSb	DEB $\leq 0,042$	15000 < E _{dyn}	48

Tabelle 7.10: Festigkeits- und Steifigkeitsanforderungen für BSH aus Buche; Referenzträgerhöhe 600 mm; $f_{m,j,k}$: charakteristischer Wert der Biegefestigkeit der Keilzinkungen [14]

Table 5 Strength and stiffness values and requirements; reference beam height 600 mm

	GL28c	GL32c	GL36c	GL40c	GL44c	GL48c
strength values (N/mm ²)						
$f_{m,k}$	28	32	36	40	44	48
stiffness values (N/mm ²)						
E _{0,mean}	13500	13500	13500	15100	15100	15100
E _{0,05}	12700	12700	12700	14700	14700	14700
requirements outer zone 1						
DEB	$\leq 0,33$	$\leq 0,20$	$\leq 0,042$	$\leq 0,20$	$\leq 0,20$	$\leq 0,042$
E _{dyn}	-	-	-	>15000	>15000	>15000
$f_{m,j,k}$	≥ 45	≥ 50	≥ 56	≥ 59	≥ 66	≥ 70
requirements inner zone 2						
DEB	$\leq 0,50$	$\leq 0,50$	$\leq 0,50$	$\leq 0,50$	$\leq 0,50$	$\leq 0,50$
	-	-	-	≥ 14000	≥ 14000	≥ 14000

2010 veröffentlichte Gehri [16] auf Basis von Biegeversuchen folgende Biegeeigenschaften für Buchen- und Eschen-BSH:

Tabelle 7.11: Biegeeigenschaften von BSH aus Buche und Esche gemäss Gehri [16]

Festigkeitsklassen		BSH-Laubholzklassen			
		GL40k	GL40h	GL48k	GL48h
Kennzeichnende Eigenschaften					
- Biegefestigkeit $f_{m,k}$	N/mm ²	40	40	48	48
- mittl. Biege-E-Modul E _{m,mean}	kN/mm ²	14	14	15	15
Bemessungswerte					
Biegung $f_{m,d}$	N/mm ²	26.5	26.5	32	32

7.4.2 Schub

Gehri [30] untersuchte die Probleme bei der Ermittlung und der Implementierung von Scherfestigkeits- und Schermodulwerten im Holzbau im Allgemeinen, wobei er auch einige Versuche mit BSH aus Eschenholz durchführte. Gehri wies darauf hin, dass Scherprüfungen nach EN 408 an Kleinproben keine für die Praxis repräsentativen Werte für die Scherfestigkeit lieferten, da der stark ausgeprägte Grösseneffekt im Scherverhalten nicht genügend berücksichtigt werde. Die in den Normen angegebenen Werte der Scherfestigkeit und –steifigkeit für Laubholz seien zu tief angesetzt. So würden gemäss EN 338 für Nadelholz der Klasse C40 und Eschenholz D50 die gleichen Werte angegeben (Scherfestigkeit $f_{v,k} = 4.0 \text{ N/mm}^2$, Schermodul $G_{\text{mean}} = 0.88 \text{ kN/mm}^2$). Scherversuche ausgeführt durch Gehri und Bühler [31] an BSH-Trägern in Bauteilgrösse (120 × 480 mm) gemäss Abbildung 7.6 zeigten jedoch für Esche (D50) wesentlich höhere Werte als für Fichte (C40), wie in Tabelle 7.12 ersichtlich. Generell seien die Schereigenschaften im Holzbau mangelhaft definiert. Insbesondere sei eine Testkonfiguration für Träger in Bauteilgrösse zu definieren, welche praxisrelevante Beanspruchungen widerspiegelt. Zutreffende Werte der Scherfestigkeiten seien insbesondere für BSH-Träger aus höher sortierten Lamellen von Bedeutung, da durch eine höhere Sortierung zwar eine höhere Biegefestigkeit, nicht aber eine höhere Scherfestigkeit erreicht werde.

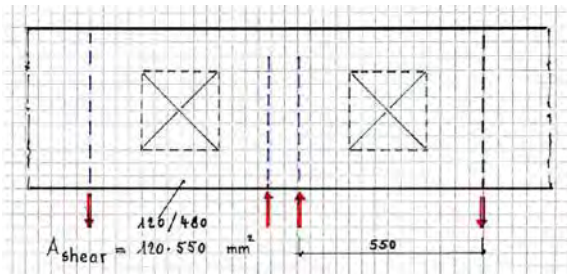


Abbildung 7.6: Prüfkongfiguration Scherträger; Dimensionen [mm] [30, 31]

Tabelle 7.12: Schereigenschaften (Mittelwerte) von Fichte und Esche (Gehri [30])

Glulam laminations	Shear strength N/mm ²	Shear modulus kN/mm ²
Spruce: C40	3,6	0,65
Ash: D50	6,7	1,10
Factor: ash/spruce	1,9	1,7

Aicher und Ohnesorge [19, 26] führten 14 4-Punkt-Biegeversuche an I-förmigen BSH-Trägern in Bauteilgrösse ($h = 600 \text{ mm}$) aus Buche durch, mit einem Verhältnis von Spannweite zu Trägerhöhe von 5:1. Hierfür wurden nach DIN 4074-5:2003 visuell sortierte keilgezinkte Buchenlamellen der Klassen LS10 und LS13 verwendet. Der Anteil Lamellen der Klasse LS10 betrug im Stegbereich ca. 15%. Der verwendete Querschnittsaufbau (Abbildung 7.7) entsprach der Festigkeitsklasse GL42c. Die Versuche wurden in zwei Gruppen mit je 7 Trägern aufgeteilt: Die eine Gruppe enthielt keine rotkernigen Lamellen, die andere enthielt im Stegbereich Lamellen mit hohem Rotkernanteil. Die Scherfestigkeit wurde berechnet unter Berücksichtigung der Lage der Bruchebene und der Spannungsverteilung, welche mit einem 2D-FE-Modell unter Annahme eines ebenen Spannungszustandes berechnet wurde. Damit ergab sich für die gesamte Prüfreihe ein Mittelwert der Scherfestigkeit von $f_{v,\text{mean}} = 5.3 \text{ N/mm}^2$ und ein 5%-Fraktilwert von $f_{v,0.5} = 3.5 \text{ N/mm}^2$, welcher sehr gut mit dem in der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-9.1-679 für Buchen-BSH angegebenen Wert von $f_{v,k} = 3.4 \text{ N/mm}^2$ übereinstimmte. Das Versagen war in allen Fällen spröde, wobei 13 der 14 Träger ein Schubversagen im Steg aufwiesen und die Lage der Bruchfläche über die Höhe stark variierte. Bei einem Träger trat ein Biegeversagen im Zugflansch auf. Das Scherversagen erfolgte in 6 Fällen entlang einer Klebfuge zwischen zwei Lamellen, und in 7 Fällen innerhalb der Lamelle. Zusätzlich zu den Trägerversuchen wurden auch 204 Blockscherversuche zur Bestimmung der Klebfugenfestigkeit an kleinen Normprüfkörpern nach EN392:1995 durchgeführt. Diese ergaben einen Mittelwert der Scherfestigkeit von $f_{v,\text{mean}} = 12.8 \text{ N/mm}^2$ und einen 5%-Fraktilwert von $f_{v,0.5} = 9.3 \text{ N/mm}^2$. Weder die Versuche an den I-Trägern noch die Blockscherversuche wiesen auf einen Einfluss der Rotkernigkeit auf die Scherfestigkeit hin.

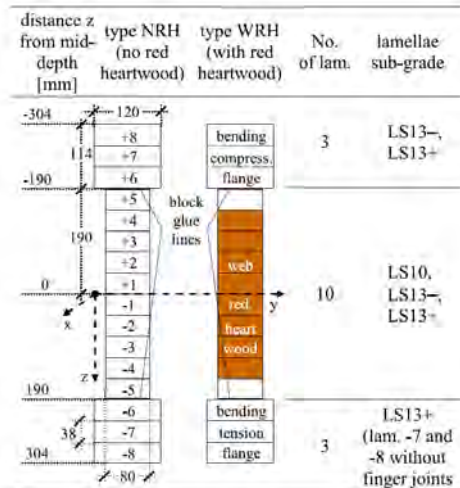


Abbildung 7.7: Querschnittsaufbau, Abmessungen und Lamellennummerierung der Trägertypen NRH (ohne Rotkern) und WRH (mit Rotkern im Steg) geprüft in der Studie [19, 26]

7.4.3 Zug und Druck parallel zur Faser

Spezifische Forschungsarbeiten zur Ermittlung der Zug- und Druckfestigkeiten parallel zur Faser von Brettschichtholz aus Laubholz sind den Autoren nicht bekannt. Die Einteilung in Festigkeitsklassen erfolgt in der Regel über das Biegeverhalten. Je nach Anwendung (Stützen, Fachwerkstäbe) kann in der Praxis jedoch auch die Zug- resp. Druckfestigkeit für die Bemessung massgebend werden.

7.4.4 Zug und Druck rechtwinklig zur Faser

Zur Querkzug- und Querdruckfestigkeit von BSH aus Laubholz sind den Autoren keine Untersuchungen bekannt. Es soll hier lediglich auf die von Gehri [16] veröffentlichten Bemessungswerte hingewiesen werden (Tabelle 7.13).

Tabelle 7.13: Bemessungswerte für Zug/Druck quer zur Fasern für Buche und Esche nach [16]

		BSH-Laubholzklassen			
Bemessungswerte		GL40k	GL40h	GL48k	GL48h
Zug senkrecht zur Faser $f_{t,90,d}$	N/mm ²	0.25	0.25	0.25	0.25
Druck senkrecht zur Faser $f_{c,90,d}$					
- generell	N/mm ²	4.5	4.5	5.0	5.0
- mit Vorholz	N/mm ²	6.3	6.3	7.0	7.0
- Endauflagerung	N/mm ²	5.0	5.0	6.0	6.0

7.4.5 Fazit „Mechanische Eigenschaften von BSH aus Laubholz“

Das Potential von BSH aus Laubholz wurde schon lange erkannt [11, 12, 27], weiterführende Untersuchungen wurden jedoch erst in den letzten Jahren durchgeführt.

Betreffend BSH aus Buche liegt aufgrund der vorliegenden Arbeiten eine gute Grundlage über das Verhalten von Biegeträgern vor, was in Deutschland zur bauaufsichtlichen Zulassung Z-9.1-678 [18] geführt hat. Die Beziehungen zwischen der Zugfestigkeit der Lamellen und der Biegefestigkeit des BSH sind ähnlich wie für Nadelholz [5]. Durch ausführliche Studien mittels Biegeversuchen und numerischen Berechnungen [4, 7, 14, 15] ist die Zuordnung von Biegefestigkeiten in Abhängigkeit der Sortierung der Lamellen, des Querschnittsaufbaus, sowie der Keilzinkenfestigkeit bis zur Festigkeitsklasse GL48 hinreichend belegt.

Die Schereigenschaften hingegen sind noch nicht sehr breit abgesichert. Diese werden insbesondere bei Trägern aus höher sortierten Lamellen von Bedeutung, da durch eine höhere Sortierung zwar die Biegefestigkeit, nicht aber die Scherfestigkeit steigt [30]. Hier besteht noch dringender Forschungsbedarf.

Gehri veröffentlichte 2010 in [16] folgende Tabelle mit mechanischen Eigenschaften und Bemessungswerten von BSH aus Buche und Esche:

Tabelle 7.14: Bemessungswerte für BSH aus Buche und Esche nach [16]

Festigkeitsklassen				BSH - Laubholzklassen ⁴⁾			
				GL 40 k	GL 40 h	GL 48 k	GL 48 h
Kennzeichnende Eigenschaften ¹⁾							
– Biegefestigkeit	$f_{m,k}$	N/mm ²		40	40	48	48
– mittlerer Biege-E-Modul	$E_{m,mean}$	kN/mm ²		14	14	15	15
Bemessungswerte ¹⁾							
Festigkeit	Biegung	$f_{m,d}$	N/mm ²	26,5	26,5	32	32
	Zug parallel zur Faser	$f_{t,0,d}$	N/mm ²	20	22	22	25
	Druck parallel zur Faser	$f_{c,0,d}$	N/mm ²	22	25	25	28
	Zug senkrecht zur Faser	$f_{t,90,d}$	N/mm ²	0,25	0,25	0,25	0,25
	Druck senkrecht zur Faser	$f_{c,90,d}$	N/mm ²	4,5	4,5	5,0	5,0
	– generell		N/mm ²	4,5	4,5	5,0	5,0
	– mit Vorholz ³⁾		N/mm ²	6,3	6,3	7,0	7,0
	– Endauflagerung		N/mm ²	5,0	5,0	6,0	6,0
	Schub	$f_{v,d}$	N/mm ²	3,0	3,0	3,0	3,0
Verformung	$E_{0,mean}$ in Faserrichtung ²⁾	$\left\{ \begin{matrix} E_{m,mean} \\ E_{t,0,mean} \\ E_{c,0,mean} \end{matrix} \right\}$	kN/mm ²	14	14	15	15
	$E_{90,mean}$ senkr. zur Faser ²⁾	$\left\{ \begin{matrix} E_{t,90,mean} \\ E_{c,90,mean} \end{matrix} \right\}$	kN/mm ²	1,0	1,0	1,0	1,0
	Schubmodul ²⁾	G_{mean}	kN/mm ²	1,0	1,0	1,0	1,0
	Rohdichte	ρ_k	kg/m ³	550	580	600	620

1. Eigenschaften und Bemessungswerte beziehen sich auf eine Holzfeuchte von 12%.
2. 5%-Fraktilwerte sind auf das 0,85-Fache der Mittelwerte festgelegt.
3. Das Vorholz muss beidseitig mindestens 100 mm betragen, andernfalls ist mit dem generellen Wert zu rechnen.
4. Für n'H-Produktion und Laubholzarten Esche und Buche; für andere Holzarten nach Anfrage.
5. Der Bemessungswert der Rollschubfestigkeit $f_{r,d}$ darf für alle Festigkeitsklassen zu 1,5 N/mm² in Rechnung gestellt werden.
6. Der zur Rollschubbeanspruchung gehörende Rollschubmodul darf mit $G_{r,mean} = 0,20 \cdot G_{mean}$ angenommen werden.

7.5 Einfluss der Holzfeuchte

7.5.1 Querschnittsverformungen

Egner und Kolb [11] haben bei ihren 4-Punkt-Biegeversuchen an Brettschichtholzträgern aus Buche bereits den Einfluss einer Klimawechsellagerung auf die Festigkeit und die Verklebungsqualität untersucht. Ein Brettschichtholzträger mit Rechteckquerschnitt (300 × 120 mm) und ein Träger mit I-Profil (220 × 120 mm, Steg- und Flanschstärke jeweils 40 mm) wurden vor der Biegeprüfung einer Klimawechsellagerung (Tabelle 5, Kap. 6.2) unterzogen. Beide Träger waren mit Resorcinharzleim hergestellt worden. Die Klimalagerung hatte keine Verwindung der Träger zur Folge, es wurden jedoch zum Teil erhebliche Schwindrisse festgestellt, insbesondere an den Trägerenden.

Gehri [12] wies auf die starke Neigung von Buchenholz zum Verwerfen sowie auf die grossen Quell- und Schwindmasse in tangentialer und radialer Richtung hin. Durch wachstumsbedingte Eigenspannungen habe Buchenholz bei Feuchtigkeitsänderung eine geringe Formstabilität. Eine wesentliche

Verbesserung könne erreicht werden durch Dämpfen sowie durch das Verkleben verschiedener Holzschichten, wodurch ein Ausgleich erzielt werde. Die mittleren Quell- und Schwindmasse der Buche seien in tangentialer und radialer Richtung rund ein Drittel höher als bei Fichte/Tanne, in Längsrichtung jedoch in etwa gleich. U.a. durch Oberflächenimprägnierungen könne eine wesentliche Verzögerung der kurzfristigen Holzfeuchteschwankungen bewirkt und somit das Quellen resp. Schwinden reduziert werden.

Die Norm SIA 265/1:2009 [32] gibt die folgenden differentiellen Schwind- und Quellmasse für Nadelvollholz und für Eiche und Buche an:

Tabelle 7.15: Differenzielle Schwind- und Quellmasse für Vollholz in % pro % Holzfeuchteänderung für eine langfristige Änderung der Holzfeuchte unterhalb der Fasersättigung, die den gesamten Querschnitt erfasst (Mittelwerte) [32]

Holzart	α_t tangential	α_r radial	$\alpha_{90}^{1)}$ quer	α_l längs
Nadelholz	0,33	0,16	0,25	0,01
Eiche	0,31	0,19	0,25	0,01
Buche	0,41	0,21	0,30	0,01
Für alle Werte gilt ein Schwankungsbereich von 10 bis 20%.				
¹⁾ Mittelwert von α_t und α_r .				

Frühwald et al. [5] verweisen ebenfalls auf das starke Quell- und Schwindverhalten der Buche sowie auf ihre Anfälligkeit gegenüber Pilzbefall. Durch die leichte Imprägnierbarkeit des Materials werde dieser Nachteil allerdings relativiert, wobei rotkerniges Buchenholz sehr schwierig zu imprägnieren sei. Als Vergleich der Schwindmasse von Buche und Fichte wurde auf die Untersuchung von Grosser und Zimmer [33] an fehlerfreien Proben verwiesen, siehe Tabelle 7.16.

Tabelle 7.16: Trocknungsschwindmasse fehlerfreier Proben bei Trocknung vom nassen Zustand (über Fasersättigung) bis zu einer Holzfeuchte von 12% [33]

Trocknungsschwindmass [%]	Buche	Fichte
Radial	4.5	2.0
Tangential	9.5	4.0

Pöhler et al. [21] bestimmten für Kleinproben aus Buche die differentiellen tangentialen und radialen Quell- und Schwindmasse gemäss DIN 52184:1979. Zusätzlich wurde die Quell- bzw. Schwindanisotropie berechnet (Verhältnis des tangentialen zum radialen differentiellen Schwindmass). Dabei wurden je 50 Proben mit bzw. ohne Rotkern getestet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 7.17 ersichtlich. Für rotkernige Proben wurde demnach in radialer Richtung ein leicht höheres Schwindmass ermittelt.

Tabelle 7.17: Differenzielle Schwindmasse (Dimensionsänderung in % pro % Holzfeuchteänderung) [21]

Differentielles Schwindmass	Normale Buche	Rotkernige Buche
Tangential [%]	0.44	0.45
Radial [%]	0.21	0.24
Schwindanisotropie [%]	2.10	1.91

7.5.2 Dauerhaftigkeit

Egner und Kolb [11] stellten nach einer Klimawechsellagerung (Tabelle 7.5) von Brettschichtholzträgern aus Buche eine allgemein gute Fugenbeständigkeit fest, es traten jedoch zum Teil erhebliche Schwindrisse auf, insbesondere an den Trägerenden. Bei der anschliessenden Biegeprüfung im Nor-

malklima wiesen die klimabehandelten Träger im Vergleich zu unbehandelten Trägern keine Festigkeitseinbußen auf.

Frühwald et al. [5] verweisen auf die Anfälligkeit von Buche auf Pilzbefall. Durch die leichte Imprägnierbarkeit des Materials werde dieser Nachteil allerdings relativiert, wobei rot kerniges Buchenholz sehr schwierig zu imprägnieren sei. Ausserdem zeigten Delaminierungsversuche an verklebten Buchenlamellen eine begrenzte Dauerhaftigkeit der Klebfugen auf (vgl. 7.3.1). Die Autoren empfehlen aufgrund der im Allgemeinen geringen Dauerhaftigkeit bei Feuchtebeanspruchung eine Beschränkung des Einsatzes von BSH aus Buche auf den Innenbereich.

Zahlreiche Untersuchungen wurden zum negativen Einfluss der Holzfeuchte auf die Verklebungsqualität durchgeführt. Hierzu wird auf 7.3 verwiesen.

7.5.3 Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften

Egner und Kolb [11] untersuchten in Biegeversuchen den Einfluss einer Klimawechsellagerung (Tabelle 7.5) auf die Festigkeit von BSH-Trägern aus Buche. Trotz zum Teil erheblicher Schwindrisse infolge der Klimalagerung, wiesen bei der anschliessenden Biegeprüfung im Normalklima die klimabehandelten Träger im Vergleich zu unbehandelten Trägern keine Festigkeitseinbußen auf. Weitere Untersuchungen, welche direkt den Einfluss der Holzfeuchte auf die mechanischen Eigenschaften von Laubholz untersuchen sind den Autoren nicht bekannt.

7.5.4 Fazit „Einfluss der Holzfeuchte“

Für Buche sind die gegenüber Fichte wesentlich höheren tangentialen und radialen Quell- und Schwindmasse durch Versuche an Kleinproben bekannt [12, 33]. In Längsrichtung sind sie jedoch in etwa gleich wie bei Nadelholz. Die damit verbundenen feuchtebedingten Verformungen wirken sich bei BSH insbesondere negativ auf die Fugenbeständigkeit der Klebfugen aus. Der Einfluss der Holzfeuchte auf die mechanischen Eigenschaften von BSH aus Laubholz ist weitgehend unbekannt. Es liegt jedoch nahe, dass die Festigkeiten wie bei Nadelholz mit zunehmender Holzfeuchte abnehmen, was den diesbezüglichen Forschungsbedarf betont.

7.6 Einfluss der Dauer der Einwirkung und der Temperatur

Für Laubholz sind den Autoren keine Untersuchungen an Prüfkörpern in Bauteilgrösse zum Einfluss der Dauer der Einwirkung bekannt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Dauer der Einwirkung einen wesentlichen Einfluss sowohl auf die anzusetzenden Festigkeitswerte und insbesondere auch auf die infolge Kriecherscheinungen zu reduzierenden Steifigkeitswerte hat, wie für Nadelholz hinreichend bekannt. Hering und Niemz [34] untersuchten das viskoelastische Verhalten von Rotbuchenholz in Längsrichtung bei unterschiedlicher Holzfeuchte unter 4-Punkt-Biegebiegung an Kleinproben und stellten einen linearen Zusammenhang zwischen Holzfeuchte und Kriechnachgiebigkeit fest.

Auch bezüglich Einfluss der Temperatur auf die mechanischen Eigenschaften konnten keine Untersuchungen gefunden werden. Lediglich das Verhalten im Brandfall wurde auch für Bauteile aus Buche geprüft [35, 36]. Ausserdem kann mittels einer thermischen Behandlung des Buchenholzes dessen Dauerhaftigkeit erhöht werden. Die thermische Modifizierung führt allerdings zu einer Versprödung des Materials und zu einer markanten Reduktion der Festigkeit [37, 38] und auch die Scherfestigkeit von Verklebungen nimmt ab [39].

7.7 Einfluss des Bauteilvolumens

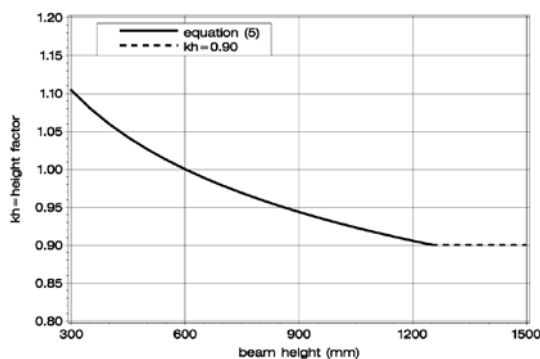
7.7.1 Biegung

Die Untersuchungen der Universität Karlsruhe (Blass et al. [4], Frese und Blass [7, 14, 15]) zu BSH-Trägern aus Buche mittels Versuchen und numerischen Berechnungen wurden in 7.4.1 bereits beschrieben. In 6'400 einzelnen Berechnungen wurde auch der Einfluss der Trägerhöhe auf die Biegefestigkeit untersucht. Dabei wurde die Trägerhöhe zwischen 300 mm und 1'500 mm in Schritten von 300 mm variiert. Die Trägerbreite betrug 100 mm, die Lamellenstärke 30 mm, und die mittlere Brettlänge wurde konstant zu 2'600 mm angenommen. Es wurden 4-Punkt-Biegeversuche gemäss

DIN EN 408:1996 mit einem Trägerhöhen-Spannweiten-Verhältnis von 1/18 simuliert. In Abbildung 7.8 ist die Regressionskurve für den Höhenfaktor k_h mit der zugehörigen Gleichung dargestellt. Da der Exponent dieser Funktion (0.143) sehr nahe am in der DIN 1052:2004 verwendeten Wert (0.14) lag, und da über einer Trägerhöhe von 1'200 mm kein weiterer Festigkeitsabfall festgestellt wurde, wurde folgende Beziehung für den Höhenfaktor k_h vorgeschlagen:

$$k_h = \begin{cases} 1.10 & h < 300\text{mm} \\ \left(\frac{600}{h}\right)^{0.143} & 300 \leq h \leq 1200\text{mm} \\ 0.90 & h > 1200\text{mm} \end{cases}$$

Damit wurde eine Anpassung der Biegefestigkeit in Abhängigkeit der Trägerhöhe im Bereich von maximal $\pm 10\%$ vorgesehen.



$$k_h = \left(\frac{600}{h}\right)^{0.143}$$

Abbildung 7.8: Grösseneffekt bei Buchen-BSH gemäss Studie [14]

7.7.2 Schub

Gehri [30] verwies auf einen signifikanten Grösseneffekt im Scherverhalten von BSH-Trägern sowie auf die mangelhafte Definition der Schereigenschaften im Holzbau hin. Für die korrekte Berücksichtigung des Grösseneffektes sei auch für Scherversuche eine Referenzhöhe festzulegen, um die Kennwerte in Abhängigkeit der Trägerhöhe zu definieren. Hier bestehe noch dringender Forschungsbedarf.

7.7.3 Fazit „Einfluss des Bauteilvolumens“

Zum Einfluss des Bauteilvolumens auf die Eigenschaften von BSH aus Laubholz sind nur wenige Arbeiten bekannt. Die ausführlichen Arbeiten an der Universität Karlsruhe [4, 7, 14, 15] zeigten bezüglich der Biegefestigkeit allerdings, dass die für Nadelholz bekannte Beziehung auch für Laubholz anwendbar ist. Wie Gehri [30] aufgezeigt hat, besteht in Bezug auf die Schereigenschaften im Allgemeinen noch der Bedarf an konkreteren Definitionen, auch bezüglich einer Referenzhöhe für die Scherfestigkeit. Wie in bereits 7.3 beschrieben, wird ausserdem in Zusammenhang mit der Herstellung von BSH aus Laubholz der Grösseneffekt bei der Festlegung der Lamellenstärke relevant. Wie in mehreren Arbeiten [5, 19, 23, 24] gezeigt wurde, neigen dickere Lamellen bei Feuchteinwirkung zu stärkerem Verwerfen, was zu einer Delaminierung der Klebfugen führen kann. Folglich wird eine Begrenzung der Lamellenstärke auf maximal 30 mm empfohlen [23].

7.8 Einfluss von Rotkern bei Buche

Der Einfluss von Rotkern bei Buche wurde bezüglich verschiedener Aspekte untersucht:

Eine Vielzahl von Untersuchungen zum Einfluss der Rotkernigkeit auf die Verklebungsqualität (siehe 7.3.1) bei Buche zeigten keinen signifikanten negativen Einfluss des Rotkerns [5, 19-21, 23, 25, 26]. Einzelne widersprüchliche Ergebnisse [22] können wahrscheinlich auf andere Parameter (z.B. Lamellenstärke) zurückgeführt werden.

Aicher und Ohnesorge [19, 26] untersuchten den Einfluss des Rotkerns auf die Scherfestigkeit von Buche (siehe 6.4.1) anhand von Biegeversuchen an BSH-Trägern sowie Blockscherversuchen an

Kleinproben. Weder die Versuche an den Trägern noch die Blockscherversuche wiesen auf einen Einfluss der Rotkernigkeit auf die Scherfestigkeit hin.

Pöhler et al. [21] ermittelten für Kleinproben aus Buche die differenziellen tangentialen und radialen Quell- und Schwindmasse (siehe 6.5.1). Für rotkernige Proben wurde in radialer Richtung ein leicht höheres Schwindmass festgestellt. Ansonsten ergaben sich keine wesentlichen Unterschiede zu Proben ohne Rotkern.

Frühwald et al. [5] verweisen auf die erschwerte Imprägnierbarkeit von rotkernigem Buchenholz, was in Bezug auf die Dauerhaftigkeit (z.B. Pilzbefall) bei Feuchtebeanspruchung negativ bewertet wurde (siehe 7.5.2).

Aufgrund der vorhandenen Wissenslage kann die Verwendung rotkerniger Buche für die Herstellung von BSH als insgesamt unproblematisch beurteilt werden.

7.9 Literatur zu Kapitel 7

1. Glos P., Lederer B. 2000: Sortierung von Buchen- und Eichenschnittholz nach der Tragfähigkeit und Bestimmung der zugehörigen Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte. Holzforschung München, TU München.
2. Glos P., Näher T. 2005: Aufnahme der einheimischen Holzarten Buche (*Fagus sylvatica*), Eiche (*Quercus petraea*, *Quercus robur*) und Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*) in die europäische Norm EN 1912. Holzforschung München, TU München.
3. Glos P., Torno S. 2008: Aufnahme der einheimischen Holzarten Ahorn, Esche und Pappel in die europäische Norm EN 1912. Holzforschung München, TU München.
4. Blass H.-J., Denzler J. K., Frese M., Glos P., Linsenmann P. 2005: Biegefestigkeit von Brettschichtholz aus Buche. Band 6 der Reihe Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau. Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen. TU Karlsruhe.
5. Frühwald A., Ressel J. B., Bernasconi A. 2003: Hochwertiges Brettschichtholz aus Buchenholz. Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg.
6. Frühwald A., Schickhofer G. 2004: Strength grading of hardwoods. Proceedings of the 8th World Conference on Timber Engineering - WCTE 2004. Lahti, Finland. Vol. 3: 675-679.
7. Frese M., Blass H.-J. 2007: Characteristic bending strength of beech glulam. Materials and Structures 40(1): 3-13.
8. Frese M., Riedler T. 2010: Untersuchung von Buchenschnittholz (*Fagus sylvatica* L.) hinsichtlich der Eignung für Brettschichtholz. European Journal of Wood and Wood Products 68(4): 445-453.
9. National Hardwood Lumber Association 2007: Rules for the measurement and the inspection of hardwood and cypress. National Hardwood Lumber Association, Memphis, TN, USA.
10. Torno S., van de Kuilen J.-W. 2010: Esche für tragende Verwendungen. Festigkeitseigenschaften visuell sortierten Eschenholzes. LWF aktuell 77: 18-19.
11. Egner K., Kolb H. 1966: Geleimte Träger und Binder aus Buchenholz. Bauen mit Holz 68(4): 147-154.
12. Gehri E. 1980: Möglichkeiten des Einsatzes von Buchenholz für Tragkonstruktionen. Schweizer Bauwirtschaft 79(56): 14-18.
13. Aicher S., Höfflin L., Behrens W. 2001: A study on tension strength of finger joints in beech wood laminations. Otto-Graf-Journal 12: 169-186.
14. Frese M., Blass H.-J. 2005: Beech Glulam Strength Classes. Proceedings of CIB-W18 Meeting 38. Karlsruhe, Germany. Paper CIB-W18/38-16-2.
15. Frese M., Blass H.-J. 2006: Die Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen aus Brettern der Buche (*Fagus sylvatica* L.). European Journal of Wood and Wood Products 64(6): 433-443.
16. Gehri E. 2010: Laubholz-Konstruktionen hoher Leistung mit n'H-Brettschichtholz. Lungern, Schweiz.
17. Pitzner A., Bernasconi A., Frühwald A. 2001: Verklebung einheimischer dauerhafter Holzarten zur Sicherung von Marktbereichen im Aussenbau. Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg.
18. Deutsches Institut für Bautechnik, DIBt 2009: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-9.1-679, BS-Holz aus Buche und BS-Holz Buche-Hybridträger.

19. Ohnesorge D. 2009: Verklebungseigenschaften von Brettschichtholz aus Buche - Untersuchungen zur Verbesserung der Klebfugenfestigkeit und Klebfugenbeständigkeit von Brettschichtholz aus rotkernigem und nichtrotkernigem Buchenholz (*Fagus sylvatica* L.). Albert-Ludwigs-Universität, Institut für Forstnutzung und forstliche Arbeitswissenschaft, Freiburg.
20. Ohnesorge D., Richter K., Seeling U. 2006: Glueability of beech wood containing red heartwood. 5th International Symposium Wood Structure and Properties. Sielnica, Slovakia. 471-474.
21. Pöhler E., Klingner R., Künniger T. 2006: Beech (*Fagus sylvatica* L.) - Technological properties, adhesion behaviour and colour stability with and without coatings of the red heartwood. *Annals of Forest Science* 63(2): 129-137.
22. Aicher S., Reinhardt H. W. 2007: Delaminierungseigenschaften und Scherfestigkeiten von verklebten rotkernigen Buchenholzlammellen. *European Journal of Wood and Wood Products* 65(2): 125-136.
23. Ohnesorge D., Richter K., Aicher S. 2008: Adhesion behaviour of glued laminate timber from European beech. *Proceedings Final Conference COST E34 "Bonding of Timber – Enhancing bond line performance"*. Sopron, Hungary.
24. Ohnesorge D., Henning M., Becker G. 2009: Bedeutung von Laubholz bei der Brettschichtholzerstellung: Befragung unter BSH-Produzenten in Deutschland, Österreich und der Schweiz. *Holztechnologie* 50(6): 47-49.
25. Schmidt M., Glos P., Wegener G. 2010: Verklebung von Buchenholz für tragende Holzbauteile. *European Journal of Wood and Wood Products* 68(1): 43-57.
26. Aicher S., Ohnesorge D. 2011: Shear strength of glued laminated timber made from European beech timber. *European Journal of Wood and Wood Products* 69(1): 143-154.
27. Gehri E. 1985: Verbindungstechniken mit hoher Leistungsfähigkeit - Stand und Entwicklung. *Holz als Roh und Werkstoff* 43(3): 83-88.
28. Ehlbeck J., Colling F. 1987: Die Biegefestigkeit von Brettschichtholzträgern in Abhängigkeit von den Eigenschaften der Brettlamellen. *Bauen mit Holz* 89(10): 646-655.
29. Ehlbeck J., Colling F., Görlacher R. 1985: Einfluss keilgezinkter Lamellen auf die Biegefestigkeit von Brettschichtholzträgern. *Holz als Roh- und Werkstoff* 43(8): 333-337.
30. Gehri E. 2010: Shear problems in timber engineering - Analysis and solutions. 11th World Conference on Timber Engineering WCTE. Riva del Garda, Italy.
31. Büeler M. 2011: Schubverhalten von Brettschichtholzträgern aus Buche und Esche. Masterarbeit. Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich und Abteilung Ingenieur-Strukturen, Empa.
32. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, SIA 2009: Norm SIA 265/1 - Holzbau - Ergänzende Festlegungen.
33. Grosser D., Zimmer B. 1998: Einheimische Nutzhölzer und ihre Verwendung. Informationsdienst Holz. Entwicklungsgemeinschaft Holzbau EGH in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung.
34. Hering S., Niemz P. 2012: Moisture-dependent, viscoelastic creep of European beech wood in longitudinal direction. *European Journal of Wood and Wood Products* 70(5): 667-670.
35. Werner G., Zimmer K., Lissner K. 2009: Holzbau 1: Grundlagen Din 1052 (Neu 2008) und Eurocode 5, Band 1. Springer-Verlag, Berlin.
36. Neuhaus H. 2009: Ingenieurholzbau. Vieweg + Teubner / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden.
37. Wetzig M., Heldstab C., Tauscher T., Niemz P. 2011: Ermittlung ausgewählter mechanischer Kennwerte thermisch modifizierter Buche. *Bauphysik* 33(6): 366-373.
38. Widmann R., Fernandez-Cabo J. L., Steiger R. 2012: Mechanical properties of thermally modified beech timber for structural purposes. *European Journal of Wood and Wood Products* 70(6): 775-784.
39. Mirzaei G., Mohebbi B., Tasooji M. 2012: The effect of hydrothermal treatment on bond shear strength of beech wood. *European Journal of Wood and Wood Products* 70(5): 705-709.

8. Wissenslücken

8.1 Festigkeitssortierung des Rohmaterials (Vollholz und Bretter)

Visuell nach DIN 4074-5 sortiertes Laubholz kann einer Festigkeitsklasse gemäss EN 338 zugeordnet werden. Buche kann in die Klassen D35 und D40 eingeteilt werden, Esche in die Klasse D40, Eiche und Ahorn in die Klassen D30. Durch eine visuelle Sortierung auf Basis der vorhandenen Sortiornormen wird das Potential von Laubholz aber bei weitem nicht ausgeschöpft. Durch eine verbesserte visuelle Sortierung oder eine maschinelle Sortierung bzw. eine Kombination aus visueller und apparativer Sortierung wäre die Einteilung in höhere Festigkeitsklassen (grundsätzlich bis D70) möglich. Die hierfür am besten geeigneten Methoden sowie die erforderlichen Vorgaben und Rahmenbedingungen für die Sortierpraxis müssten erarbeitet werden.

Zusätzlich sollten die Abstimmung der kennzeichnenden Werte (Biegefestigkeit, Biege-E-Modul, Rohdichte) in den höheren Festigkeitsklassen gemäss EN 338 überprüft und optimiert werden, da europäische Laubhölzer die geforderten Festigkeiten zwar erreichen können, nicht aber die Anforderungen an den E-Modul und die Rohdichte. Ausserdem ist zu prüfen, ob die in der EN 338 verwendeten Beziehungen zur Ableitung von weiteren mechanischen Eigenschaften aus den kennzeichnenden Werten auch für Laubholz gültig sind. Diese Beziehungen wurden zumeist aus Versuchen an Nadelholz bestimmt, bzw. sind für Laubholz noch wenig abgesichert.

Zur Klassierung von Brettern als Rohmaterial für die BSH-Herstellung ist gemäss aktuellem Stand der Normierung eine Einteilung in Zugfestigkeits- bzw. Zugsteifigkeits-Klassen (sogenannte T-Klassen) nötig. Um die Klassengrenzen praxisgerecht festlegen zu können, ist eine Evaluation des Potentials bezüglich Zugfestigkeit und Zug-E-Modul der in der Schweiz produzierten Buchenbretter erforderlich.

8.2 Keilzinkenverbindung von Brettern

Untersuchungen an keilgezinkten Buchenlamellen haben gezeigt, dass die Herstellung von hochwertigen Keilzinkenverbindungen mit aus der BSH-Produktion für Nadelholz bekannten Keilzinkenprofilen möglich ist. Forschungsbedarf besteht noch bezüglich für Laubholz angepasste Keilzinkengeometrien, welche die Ergebnisse weiter verbessern könnten.

Für andere Holzarten müssen entsprechende Daten erst noch erarbeitet werden. Unbefriedigende Versuchsergebnisse mit Eichenholz zeigen die diesbezüglichen Unsicherheiten auf.

Ausserdem ist abzuklären, inwiefern im Rahmen der Qualitätskontrolle der Keilzinkenverbindungen Biegeversuche geeignet sind, um auf die Zugeigenschaften der Verbindungen zu schliessen.

8.3 Flächenverklebung von Lamellen

Bei einer fachgerechten Verklebung weist flächenverklebtes Laubholz eine für die Nutzungsklasse 1 ausreichende Klebfugenbeständigkeit auf. Es eignen sich primär MUF- oder auch PRF-Klebstoffe, wobei die Eignung für jedes Produkt individuell zu prüfen ist.

An Buchenproben wurde gezeigt, dass die Fugenbeständigkeit durch angepasste Verklebungsparameter (erhöhter Pressdruck, verlängerte geschlossene Wartezeit) in dem Masse verbessert werden kann, dass unter Umständen auch Anwendungen in höheren Nutzungsklassen möglich sind. Hierfür bedarf es aber weiterer Untersuchungen.

Die fehlende Korrelation zwischen Resultaten der zur Qualitätssicherung verwendeten Scher- und Delaminierungsprüfungen deuten auf einen Bedarf an der Überprüfung und Optimierung der gängigen Prüfverfahren hin. Insbesondere muss überprüft werden, ob die in den Prüfnormen formulierten fail/pass-Kriterien auch für Laubholz (z.B. Holzfaserbruchanteil) verwendet werden können oder ob man diese anpassen muss.

Aus Sicht der Produzenten wären möglichst dicke Lamellen wünschenswert. Es zeigt sich jedoch, dass mit zunehmender Lamellendicke Eigenspannungen in den BSH-Querschnitten entstehen, wel-

che zu Schwierigkeiten in der Verarbeitung (verformte Lamellen, ungleichmässiger Klebstoffauftrag, Bedarf an erhöhten Pressdrücken), zu Spannungsrissen im fertigen Produkt und schliesslich zu einer markanten Reduktion des Tragwiderstands führen. Versuche zur Optimierung der Lamellenstärke sind daher angezeigt.

8.4 Mechanische Eigenschaften von Brettschichtholz aus Laubholz

Für BSH aus Buche liegt eine breite Grundlage über das Verhalten von BSH aus Buche in Biegeversuchen vor, was in Deutschland bereits zu der bauaufsichtlichen Zulassung Z-9.1-678 [1] für Träger bis zu einer Höhe von 600 mm geführt hat. Damit ist die Zuordnung von Biegefestigkeiten in Abhängigkeit der Sortierung der Lamellen, des Querschnittsaufbaus, sowie der Keilzinkenfestigkeit bis zur Festigkeitsklasse GL48 möglich.

Die Schereigenschaften hingegen sind noch nicht sehr breit abgesichert. Da durch eine höhere Sortierung zwar die Biegefestigkeit, nicht aber die Scherfestigkeit steigt, werden diese insbesondere bei Trägern hoher Festigkeitsklassen bedeutsam. Hier besteht noch dringender Forschungsbedarf.

Der Kostendruck in der Baubranche verlangt nach optimierten Produkten. Bei BSH besteht eine Möglichkeit der Optimierung in der Produktion von kombinierten Querschnitten mit auf die Biegebeanspruchung ausgerichteten stärkeren Lamellen in den Randzonen der Träger. Es ist zu prüfen, ob sich die beim BSH aus Nadelholz verwendeten Querschnittsaufbauten auch für kombiniertes Laubholz-BSH eignen. Von Interesse sind auch hybride Querschnitte, welche aus Laubholz- und Nadelholzlammellen zusammengesetzt sind und beispielsweise die grössere Querdrukfestigkeit von Laubholz im Bereich von Auflagern gezielt ausnützen.

8.5 Einfluss der Holzfeuchte

Für Buche sind die gegenüber Fichte wesentlich höheren tangentialen und radialen Quell- und Schwindmasse durch Versuche an Kleinproben bekannt. Die damit verbundenen feuchtebedingten Verformungen wirken sich bei BSH insbesondere auf die Fugenbeständigkeit der Klebfugen aus.

Der Einfluss der Holzfeuchte auf die mechanischen Eigenschaften von BSH aus Laubholz ist weitgehend unbekannt. Es liegt jedoch nahe, dass die Festigkeiten wie bei Nadelholz mit zunehmender Holzfeuchte abnehmen, was den diesbezüglichen Forschungsbedarf unterstreicht.

8.6 Einfluss der Dauer der Einwirkung

Für Laubholz sind den Autoren bezüglich Einflusses der Dauer der Einwirkungen auf die mechanischen Eigenschaften keine Untersuchungen bekannt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Dauer der Einwirkung einen wesentlichen Einfluss sowohl auf die anzusetzenden Festigkeitswerte als insbesondere auch auf die infolge Kriecherscheinungen zu reduzierenden Steifigkeitswerte hat, wie für Nadelholz hinreichend bekannt.

8.7 Einfluss des Bauteilvolumens

Bezüglich der Biegefestigkeit kann man davon ausgehen, dass die für Nadelholz bekannte Beziehung auch für Laubholz anwendbar ist. Allerdings sollten noch mehr grossvolumige Bauteile (insb. auch Träger mit Höhen > 600 mm) geprüft werden, um diese Annahme besser abzusichern.

Für die Schereigenschaften fehlt im Holzbau der Bezug zu einer Referenzhöhe. Aufgrund der Bedeutung der Schereigenschaften insbesondere bei Trägern hoher Festigkeitsklassen besteht hier noch Forschungsbedarf.

8.8 Verbindungen

Die in den Normen angegebenen Bemessungsansätze für Verbindungen wurden zumeist aus Versuchen an Nadelholz oder an Holzwerkstoffen entwickelt. Es kann angenommen werden, dass der

Tragwiderstand des Holzes im Verbindungsbereich proportional zur Rohdichte ist und man daher die bekannten Bemessungsansätze auch für Laubholz verwenden kann. Es wäre allerdings wünschenswert, diese Annahme zumindest für die wichtigsten Verbindungen, welche beim Einsatz von BSH aus Laubholz in der Praxis verwendet werden, zu prüfen.

8.9 Literatur zu Kapitel 8

1. Deutsches Institut für Bautechnik, DIBt 2009: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-9.1-679, BS-Holz aus Buche und BS-Holz Buche-Hybridträger.

9. Implementierung von BSH aus Laubholz als Bauprodukt

9.1 Generelle Anforderungen an Bauprodukte

Ein Bauprodukt ist ein Produkt, das hergestellt wird, um dauerhaft in Bauwerke des Hoch- und Tiefbaus eingebaut zu werden [1]. Bauprodukte dürfen in Verkehr gebracht werden, wenn sie **brauchbar** sind [1], wenn sie also solche Merkmale aufweisen, dass das Bauwerk, für das sie durch Einbau, Zusammenfügung, Anbringung oder Installierung verwendet werden sollen, bei ordnungsgemässer Planung und Bauausführung die folgenden wesentlichen Anforderungen erfüllen kann [1, 2]:

Zitat aus [2]:

Mit den Bauprodukten müssen Bauwerke errichtet werden können, die (als Ganzes und in ihren Teilen) unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit gebrauchstauglich sind und hierbei die nachfolgend genannten wesentlichen Anforderungen erfüllen, sofern für die Bauwerke Regelungen gelten, die entsprechende Anforderungen enthalten. Diese Anforderungen müssen bei normaler Instandhaltung über einen wirtschaftlich angemessenen Zeitraum erfüllt werden. Die Anforderungen setzen normalerweise vorhersehbare Einwirkungen voraus.

1. Mechanische Festigkeit und Standsicherheit

Das Bauwerk muss derart entworfen und ausgeführt sein, dass die während der Errichtung und Nutzung möglichen Einwirkungen keines der nachstehenden Ereignisse zur Folge haben:

- a) *Einsturz des gesamten Bauwerks oder eines Teils;*
- b) *grössere Verformungen in unzulässigem Umfang;*
- c) *Beschädigungen anderer Bauteile oder Einrichtungen und Ausstattungen infolge zu grosser Verformungen der tragenden Baukonstruktion;*
- d) *Beschädigungen durch ein Ereignis in einem zur ursprünglichen Ursache unverhältnismässig grossen Ausmass.*

2. Brandschutz

Das Bauwerk muss derart entworfen und ausgeführt sein, dass bei einem Brand

- die Tragfähigkeit des Bauwerks während eines bestimmten Zeitraums erhalten bleibt,*
- die Entstehung und Ausbreitung von Feuer und Rauch innerhalb des Bauwerks begrenzt wird,*
- die Ausbreitung von Feuer auf benachbarte Bauwerke begrenzt wird,*
- die Bewohner das Gebäude unverletzt verlassen oder durch andere Massnahmen gerettet werden können,*
- die Sicherheit der Rettungsmannschaften berücksichtigt ist.*

3. Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz

Das Bauwerk muss derart entworfen und ausgeführt sein, dass die Hygiene und die Gesundheit der Bewohner und der Anwohner insbesondere durch folgende Einwirkungen nicht gefährdet werden:

- Freisetzung giftiger Gase,*
- Vorhandensein gefährlicher Teilchen oder Gase in der Luft,*
- Emission gefährlicher Strahlen,*
- Wasser- oder Bodenverunreinigung oder -vergiftung,*
- unsachgemässe Beseitigung von Abwasser, Rauch und festem oder flüssigem Abfall,*
- Feuchtigkeitsansammlung in Bauteilen und auf Oberflächen von Bauteilen in Innenräumen.*

4. Nutzungssicherheit

Das Bauwerk muss derart entworfen und ausgeführt sein, dass sich bei seiner Nutzung oder seinem Betrieb keine unannehmbaren Unfallgefahren ergeben, wie Verletzungen durch Rutsch-, Sturz- und Aufprallunfälle, Verbrennungen, Stromschläge, Explosionsverletzungen.

5. Schallschutz

Das Bauwerk muss derart entworfen und ausgeführt sein, dass der von den Bewohnern oder von in der Nähe befindlichen Personen wahrgenommene Schall auf einem Pegel gehalten wird, der nicht gesundheitsgefährdend ist und bei dem zufriedenstellende Nachtruhe-, Freizeit- und Arbeitsbedingungen sichergestellt sind.

6. Energieeinsparung und Wärmeschutz

Das Bauwerk und seine Anlagen und Einrichtungen für Heizung, Kühlung und Lüftung müssen derart entworfen und ausgeführt sein, dass unter Berücksichtigung der klimatischen Gegebenheiten des Standortes der Energieverbrauch bei seiner Nutzung gering gehalten und ein ausreichender Wärme- komfort der Bewohner gewährleistet wird.

Ende Zitat.

Fazit: Unabhängig davon, ob ein Bauprodukt in der Schweiz selbst oder im Ausland auf den Markt gebracht wird, muss es obige Anforderungen erfüllen. Der Produzent hat durch geeignete, geregelte Massnahmen zu gewährleisten, dass das durch ihn auf dem Markt gebrachte Produkt die deklarierten Eigenschaften tatsächlich aufweist.

9.2 Anforderungen an das Bauprodukt BSH

BSH-Elemente sind als Bauteile physisch unterscheidbare Teile von Bauwerken bzw. Tragwerken [3]. Sie gelten somit als Bauprodukte.

Laut der für die Bemessung von Tragwerken in der Schweiz massgebenden Normen SIA 260 „Grundlagen der Projektierung von Tragwerken“ [3] sollen letztere bei angemessener Einpassung in die Umgebung, Gestaltung und Zuverlässigkeit wirtschaftlich, robust und dauerhaft sein. Zuverlässigkeit bedeutet insbesondere, dass sich aus der für ein Bauwerk vereinbarten Nutzung ergebenden Anforderungen an die Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit dauerhaft, zumindest jedoch für die festgelegte Nutzungsdauer, erfüllt sind.

Unter Tragsicherheit versteht man die Fähigkeit eines Tragwerks und seiner Bauteile, die Gesamtstabilität sowie einen für die anzunehmenden Einwirkungen ausreichenden Tragwiderstand entsprechend einer festgelegten, erforderlichen Zuverlässigkeit zu gewährleisten. Massgebliche Parameter in den Tragsicherheitsnachweisen sind neben den geometrischen Abmessungen insb. die Festigkeiten (Biegung, Zug, Druck, Schub) der Bauteile.

Unter Gebrauchstauglichkeit versteht man die Fähigkeit eines Tragwerks und seiner Bauteile, die Funktionstüchtigkeit und das Aussehen des Bauwerks sowie den Komfort der das Bauwerk nutzenden Personen entsprechend den Gebrauchsgrenzen zu gewährleisten.

Für den Baustoff BSH ergibt sich daher der in Tabelle 9.1 dargestellte Bedarf an Eigenschaftswerten, um die Tragsicherheit, die Gebrauchstauglichkeit und die Dauerhaftigkeit eines aus BSH-Bauteilen bestehenden Tragwerks im Rahmen einer statischen Berechnung nachweisen zu können:

Tabelle 9.1: Erforderliche Eigenschaftswerte für die Bemessung von Bauteilen aus BSH

Beanspruchungssituation	Nachweis bzw. Gewährleistung der	
	Tragsicherheit	Gebrauchstauglichkeit
Biegeträger	Biegefestigkeit $f_{m,k}$ Schubfestigkeit $f_{v,k}$ Biege-E-Modul $E_{0,05}$ ¹⁾	Biege-E-Modul $E_{m,mean}$ Schubmodul G_{mean}
Zugstäbe	Zugfestigkeit zur Faser $f_{t,0,k}$	Zug-E-Modul zur Faser $E_{t,0,mean}$
Druckstäbe	Druckfestigkeit zur Faser $f_{c,0,k}$ Druck-E-Modul zur Faser $E_{0,05}$ ¹⁾	Druck-E-Modul zur Faser $E_{c,0,mean}$
Gekrümmte Träger	Zugfestigkeit \perp zur Faser $f_{t,90,k}$	
Auflager	Druckfestigkeit \perp zur Faser $f_{c,90,k}$	Druck-E-Modul \perp zur Faser $E_{c,90,mean}$
Mechanische Verbindungen	Rohdichte ρ_k ²⁾	
¹⁾ 5%-Fraktile in Stabilitätsnachweisen ²⁾ zur Berechnung der Lochleibungsfestigkeit		

Für eine Bemessung von BSH-Bauteilen sind also grundsätzlich die in der Tabelle 7 der Norm SIA 265:2012 [4] angegebenen Werte nötig.

Weitere Angaben, welche in einer Bemessung von BSH-Bauteilen aus Laubholz nötig sein können, sind [4, 5]:

- Kriechzahl φ , zur Berechnung von Verformungen infolge ständiger Einwirkungen
- Abhängigkeit der Festigkeit und der Steifigkeit von der Holzfeuchte, zur Festlegung der Umrechnungsfaktoren η_w für die verschiedenen Feuchteklassen
- Abhängigkeit der mechanischen Eigenschaften von der Dauer der Einwirkung, zur Festlegung der Umrechnungsfaktoren η_t
- Abhängigkeit der Festigkeiten von der Bauteilgrösse (Volumeneinfluss)
- Variationskoeffizient der Festigkeitswerte, zur Festlegung der Verhältnisswerte γ_M/η_M
- Variationskoeffizient der Steifigkeiten zur Festlegung der 5%-Fraktile von Elastizitäts- und Schubmodul für die Verwendung in Stabilitätsnachweisen (Knicken, Kippen)
- Kennwerte der Verteilung der Rohdichte für verschiedene Festigkeitsklassen des Laubholz-BSH zur Ableitung des charakteristischen Wertes der Lochleibungsfestigkeit (Bedeutender Kennwert bei der Bemessung von Scherverbindungen mit stabförmigen Verbindungsmitteln)
- Ideelle Abbrandrate β_n , für die Bemessungssituation Brand
- Schwind- und Quellmasse α_i , zur Berechnung von Verformungen bei Holzfeuchteänderungen
- Temperatúrausdehnungskoeffizienten $\alpha_{T,i}$, zur Berechnungen von Verformungen bei Temperaturänderungen.

9.3 Implementierung als Bauprodukt im Europäischen Wirtschaftsraum

Im CEN-Raum bestehen die in Abbildung 3.4 dargestellten und in den Abschnitten 3.2.3 bis 3.2.5 beschriebenen Möglichkeiten, BSH aus Laubholz als Bauprodukt in Verkehr zu bringen, und zwar:

- als normiertes Bauprodukt (CEN)
- als zugelassenes Bauprodukt (EOTA).

Zurzeit gibt es allerdings noch keine europäische Norm für das Bauprodukt BSH aus Laubholz. Die Arbeitsgruppe 3 (WG 3) „Brettschichtholz“ des zuständigen CEN-Komitee CEN/TC 124 „Holzbauwerke“ hat am 02.05.2012 einen Vorschlag für ein „New Work Item“ (NWI = Neues Normungsvorhaben) „Hardwood Glulam“ [6] vorgelegt, welches an der TC124-Plenarsitzung vom 15./16.05.2012 in Stockholm besprochen wurde [7]. Das Ziel des Vorhabens ist es, eine europäische Produktnorm zu entwickeln, welche die Anforderungen an die Leistung von BSH-Bauteilen aus Laubholz für den Einsatz im Hoch- und Brückenbau definiert. Zusätzlich sollen die Minimalanforderungen an die Produktion und Bestimmungen für die Konformitätsprüfung und die Markierung der Produkte mit dem CE-Zeichen

formuliert werden. Gemäss dem Entwurfspaper für das NWI ([6]) soll in der zu erarbeitenden EN BSH aus verschiedenen Laubholzarten behandelt werden. Die EN soll jedoch Laubholz-BSH aus chemisch behandeltem Holz (gegen biologischen Angriff oder zur Erhöhung des Brandwiderstands) nicht abdecken.

Als massgebliche Problemstellung sieht die WG 3 die Frage nach der zuverlässigen und dauerhaften Verklebbarkeit verschiedener Laubholzarten mit den auf dem Markt erhältlichen Klebstoffen. Es wird zudem vermutet, dass geeignete Methoden zur Prüfung der Klebfugenintegrität erst entwickelt bzw. aus den bekannten Methoden für die Prüfung von Nadelholz-BSH abgeleitet werden müssen. Der Antragsteller des NWI, Tobias Wiegand, Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V., Deutschland, Vorsitzender der WG 3 beurteilt weitere Eckpunkte im Zusammenhang mit dem NWI wie folgt:

- Dringlichkeit des Vorhabens: mittel
- Erste Normentwürfe: nicht verfügbar
- brauchbare Basisinformationen zum NWI: vorhanden
- vorbereitende Forschungsarbeiten: zu prüfen, ob nötig
- starkes Interesse der Industrie betreffend Finanzierung des NWI: nicht spürbar
- aktive Mitarbeit der Industrie: erwartet
- Expertenwissen vorhanden: ja
- Externe Finanzierung des NWI durch z. B. EC: nicht zu erwarten
- Konsensfindung innert nützlicher Frist: möglich.

Das CEN/TC 124 hat schliesslich mit der Resolution N312 [8] einstimmig beschlossen, vorbereitende Massnahmen für ein neues Normungsvorhaben („Preliminary New Work Item“) zu BSH aus Laubholz einzuleiten. An der Mitarbeit sind Deutschland, Frankreich, Österreich, die Niederlande, Finnland, UK und die Schweiz interessiert.

Normungsvorhaben können vom Status der vorbereitenden Massnahmen in die aktive Erarbeitung geändert werden, wenn entweder ein Normentwurf vorliegt oder ein solcher innerhalb des üblicher Weise geforderten Zeitrahmens durch das TC erarbeitet werden kann. Mit der Kategorisierung in vorbereitende Massnahmen und aktive Erarbeitung steht dem TC ein Mittel zur Verfügung, um auf die spezifischen Randbedingungen bei einem Normungsvorhaben Rücksicht zu nehmen, z. B.: verfügbare Ressourcen im TC, allfällig noch nötige Forschung, Dringlichkeit des Vorhabens mit Blick auf den Bedarf des Markts [9].

Die Ressourcen des CEN Systems dürfen nur für Vorhaben benützt werden, welche durch das zuständige TC gebilligt wurden und für welche ein definierter Zeitrahmen vorliegt, nicht also für vorbereitende Massnahmen. Dies schliesst allerdings nicht aus, dass im TC die grundsätzliche Machbarkeit des Normungsvorhabens studiert wird oder dass Mitglieder des TC oder von Arbeitsgruppen (WG) einen ersten Entwurf erarbeiten. Bei Normungsvorhaben, welchen der Status „vorbereitende Massnahmen“ zugewiesen wurde, sollte mindestens einmal pro Jahr geprüft werden, ob deren Relevanz für den Markt noch gegeben ist. Falls dies nicht der Fall ist, sollten die Normungsvorhaben aufgegeben werden [9].

Zurzeit besteht für das rasche Inverkehrbringen von BSH aus Laubholz als Bauprodukt im Europäischen Wirtschaftsraum also nur der Weg über eine Europäische Technische Zulassung ETA. Bestrebungen zur Erarbeitung einer Produktnorm (EN) sind allerdings manifest und erste Schritte („vorbereitende Massnahmen“) sind durch das zuständige CEN/TC 124 im Mai 2012 in die Wege geleitet worden [8].

9.4 Implementierung als Bauprodukt in der Schweiz

In der Schweiz sind die nationalen Erlasse [1, 10] betreffend Bauprodukte massgebend. Grundsätzlich unterscheiden sich die Schweizerischen Vorschriften betreffend Anforderungen, Mechanismen und Instrumenten nicht vom europäischen Pendant. Abweichend vom europäischen Weg ist es jedoch in der Schweiz traditioneller Weise seit je her möglich, Produkte zu entwickeln und auf dem Markt zu bringen, welche ausserhalb eines strengen Korsetts von Normen produziert werden. Auf diese Weise werden Innovationen nicht unnötig behindert. Die Erlasse betreffend Bauprodukte sind daher hierzu lande offener formuliert und zeigen, zumindest was das Inverkehrbringen von Bauprodukten in der Schweiz selbst betrifft, zusätzliche Wege auf.

9.4.1 Voraussetzungen

Gemäss [1] dürfen Bauprodukte in Verkehr gebracht werden, *wenn sie die Voraussetzungen nach anderen Bundeserlassen erfüllen und brauchbar sind* (Art. 3, Abs. 1 BauPG). Mit „anderen Bundeserlassen“ sind laut [10] *namentlich* die Verordnungen betreffend Arbeitsgesetz, Lärmschutz, Strahlenschutz, Gewässerschutz und Schutzzumfang / Schutzgrad von Zivilschutzbauten gemeint (Art. 1, BauPV). *Brauchbar sind Bauprodukte, wenn die Bauwerke, für welche sie zweckentsprechend verwendet werden, die wesentlichen Anforderungen erfüllen hinsichtlich mechanischer Festigkeit und Standsicherheit; Brandschutz; Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz; Nutzungssicherheit; Schallschutz; sparsamer und rationeller Energieverwendung* (Art. 3, Abs. 2 BauPG).

Der Bundesrat regelt die wesentlichen Anforderungen an Bauwerke, soweit die Festlegung dieser Anforderungen nicht in den Kompetenzbereich der Kantone fällt; er berücksichtigt dabei das internationale Recht (Art. 3, Abs. 3 BauPG).

Wird ein Bauprodukt gemäss technischen Normen nach Artikel 4 hergestellt, so wird vermutet, dass es die Anforderungen gemäss Absatz 2 erfüllt (Art. 3, Abs. 4 BauPG).

Bauprodukte, die nicht gemäss technischen Spezifikationen, sondern gemäss entsprechenden Regeln der Technik hergestellt werden, dürfen in der Schweiz weiterhin in Verkehr gebracht werden, wenn sie die Voraussetzungen nach anderen Bundeserlassen erfüllen (Art. 3, Abs. 5 BauPG).

9.4.2 Implementierung auf Basis einer technischen Norm

Die zuständige Bundesbehörde bezeichnet nach Anhörung der mitbetroffenen Bundesämter und der Kommission für Bauprodukte nach Artikel 10 sowie im Einvernehmen mit dem für aussenwirtschaftliche Beziehungen zuständigen Bundesamt die technischen Normen, welche geeignet sind, die wesentlichen Anforderungen nach Artikel 3 Absatz 3 zu konkretisieren (Art. 4, Abs. 1 BauPG).

Soweit möglich werden international harmonisierte Normen bezeichnet (Art. 4, Abs. 2 BauPG).

Unabhängige schweizerische Normenorganisationen können beauftragt werden, technische Normen zu schaffen, wenn keine international harmonisierten Normen bestehen oder in Erarbeitung sind (Art. 4, Abs. 3 BauPG).

9.4.3 Implementierung auf Basis einer technischen Zulassung

*Die technische Zulassung ist die Feststellung der Brauchbarkeit des Produktes **eines bestimmten Herstellers** hinsichtlich der Erfüllung der wesentlichen Anforderungen an Bauwerke, für die das Produkt verwendet wird* (Art. 5, Abs. 1 BauPG).

Eine Zulassungsstelle nach Artikel 9 kann für ein Bauprodukt eine technische Zulassung ausstellen, wenn: (a) für dieses Bauprodukt eine technische Norm weder vorliegt noch in Auftrag gegeben worden ist und nach Feststellung des zuständigen Bundesamtes nicht oder noch nicht ausgearbeitet werden kann; (b) dieses Bauprodukt wesentlich von einer technischen Norm abweicht (Art. 5, Abs. 2 BauPG).

In Sonderfällen kann eine technische Zulassung auch für Produkte ausgestellt werden, für die eine technische Norm in Auftrag gegeben worden ist oder nach Feststellung des zuständigen Bundesamtes ausgearbeitet werden kann. Eine solche Zulassung gilt bis zum Inkrafttreten einer entsprechenden technischen Norm (Art. 5, Abs. 3 BauPG).

Die technische Zulassung beruht auf Untersuchungen und Prüfungen. Der Bundesrat regelt das Verfahren; er hat dabei internationale Vorschriften und Richtlinien zu berücksichtigen (Art. 5, Abs. 4 BauPG).

9.4.4 Implementierung auf Basis „entsprechender Regeln der Technik“

Bei den in Art. 3, Abs. 5 des BauPG erwähnten „entsprechenden Regeln der Technik“ nach denen Bauprodukte in der Schweiz weiterhin in Verkehr gebracht werden dürfen, obwohl sie nicht gemäss technischen Spezifikationen (Zulassungen) oder gemäss technischen Normen (EN) hergestellt sind, handelt es sich z. B. um die Normen des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins SIA. Die Möglichkeiten einer Normierung von BSH aus Laubholz im Rahmen des SIA-Normenwerks sind im Abschnitt 3.4.1 beschrieben.

9.5 Fazit / Vergleich der Möglichkeiten

Es bieten sich also die in Tabelle 9.2 zusammengestellten Möglichkeiten der Implementierung von BSH aus Laubholz als Bauprodukt.

Tabelle 9.2: Möglichkeiten der Marktimplementierung von BSH aus Laubholz

Markt	Instrument	Vorteile	Nachteile
Europa	Harmonisierte Produktnorm (h EN)	<ul style="list-style-type: none"> • Produkteneutral • von allen CEN-Mitgliedstaaten akzeptiert 	<ul style="list-style-type: none"> • in der Regel tiefere Bemessungswerte, da alle Produkte abgedeckt sein müssen • relativ langer Genehmigungsprozess
	Europäische Technische Zulassung (ETA)	<ul style="list-style-type: none"> • Zeitbedarf für die Erarbeitung abseh- und beeinflussbar • Herstellerschutz (Exklusivität) • spezifisch auf das Produkt zugeschnitten • in der Regel höhere Bemessungswerte 	<ul style="list-style-type: none"> • nur für beschränkte Zeit gültig (in der Regel 5 Jahre) • nur für die in der Zulassung spezifizierten Anwendungen gültig
Schweiz	wie Europa (siehe oben)	<ul style="list-style-type: none"> • allgemein gültiger Marktzugang • keine rechtlichen Probleme (Handelshemmnisse) 	<ul style="list-style-type: none"> • grösserer Zeitbedarf bis EN vorliegt • Kompromisse notwendig (Vielzahl von Produkten)
	SIA-Vornorm	<ul style="list-style-type: none"> • durch Vernehmlassung abgesichert • kann die Entwicklung einer EN inhaltlich beeinflussen 	<ul style="list-style-type: none"> • Längerer Genehmigungsprozess • nur 3 Jahre gültig (Verlängerung der Gültigkeit allerdings möglich) • nur für die Marktimplementierung in der Schweiz gültig
	SIA-Merkblatt	<ul style="list-style-type: none"> • kurze Erarbeitungszeit • vereinfachter Genehmigungsprozess • kann die Entwicklung einer EN inhaltlich beeinflussen 	<ul style="list-style-type: none"> • nur 3 Jahre gültig (Verlängerung der Gültigkeit allerdings möglich) • nur für die Marktimplementierung in der Schweiz gültig

9.6 Literatur zu Kapitel 9

1. Bundesamt für Bauten und Logistik, BBT 2001: Bauproduktengesetz (BauPG).
2. Der Rat der Europäischen Gemeinschaft: Richtlinie des Rates vom 21. Dezember zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über Bauprodukte (89/106/EWG), geändert durch die Richtlinie 93/68/EWG des Rates vom 22. Juli 1993. Europäische Gemeinschaft. Amtsblatt Nr. L 40 vom 12. Februar 1989 und Amtsblatt Nr. L 220 vom 30. August 1993.
3. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, SIA: Norm SIA 260 - Grundlagen der Projektierung von Tragwerken.
4. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, SIA 2012: Norm SIA 265 - Holzbau.
5. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, SIA 2009: Norm SIA 265/1 - Holzbau - Ergänzende Festlegungen.
6. Europäisches Komitee für Normung CEN 2012: CEN/TC 124 / WG 3: Document Number 1131: Form N - NWI Hardwood glulam.
7. Europäisches Komitee für Normung CEN 2012: CEN/TC 124: Document Number 1137: Draft agenda of the 34th Meeting of CEN/TC 124 - Timber structures.
8. Europäisches Komitee für Normung CEN 2012: CEN/TC 124: Document Number 1141: Resolutions Stockholm 2012-05-16.
9. Europäisches Komitee für Normung CEN/ELEC 2012: Internal regulations - Part 2: Common rules for standardization work.
10. Bundesamt für Bauten und Logistik, BBT 2000: Verordnung über Bauprodukte (Bauprodukteverordnung, BauPV).

10. Schlussfolgerungen

Aus der vorliegenden Bestandesaufnahme zur Marktimplementierung von Brettschichtholz aus Laubholz als Bauprodukt lassen sich die folgenden Schlussfolgerungen ziehen:

- Das Potential für Laubholz zum Einsatz für tragende Zwecke ist hoch. Es gibt (insb. in der Schweiz) bereits mehrere erfolgreiche Praxisbeispiele, welche dies belegen. Zum Einsatz von Buchen-BSH existieren mehr Erfahrungen als zum Einsatz von Eschen-BSH.
- Die Herstellung von BSH aus Eiche erweist sich auf Grund der Schwierigkeiten bei der Beschaffung des Rohmaterials in adäquaten Abmessungen und Qualität und wegen Problemen bei der Verklebung (Keilzinkung und Flächenverklebung) als grosse Herausforderung.
- BSH aus Laubholz ist ein Bauprodukt. Als solches muss es sämtliche Bedingungen erfüllen, welche an ein Bauwerk gestellt werden, dessen Bestandteil das Laubholz-BSH-Bauteil ist, nämlich je nach Einsatzzweck Anforderungen an die mechanische Festigkeit und Standsicherheit, den Brandschutz, an Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz, an die Nutzungssicherheit, an den Schallschutz und an die Energieeinsparung und den Wärmeschutz.
- Für die Marktimplementierung von BSH aus Laubholz kann das Bauprodukt BSH aus Nadelholz als Richtschnur genommen werden. Es gibt keine Gründe, weshalb BSH aus Laubholz strenger oder weniger streng als BSH aus Nadelholz behandelt und reglementiert werden soll. Beide Baustoffe müssen als Teile von Tragwerken letztlich die gleiche Zuverlässigkeit in der Erfüllung der Anforderungen an die Tragsicherheit, die Gebrauchstauglichkeit und die Dauerhaftigkeit aufweisen.
- Bei der Vermarktung des Bauprodukts BSH aus Laubholz muss der Produzent durch ein Qualitätssicherungssystem basierend auf einer fremdkontrollierten Eigenüberwachung belegen können, dass sein Produkt die deklarierten Eigenschaften (z.B. eine bestimmte Festigkeitsklasse) aufweist.
- Die Marktimplementierung von BSH aus Laubholz ist jeder Zeit möglich. Die dazu notwendigen Instrumente sind vorhanden. Für eine Implementierung im Europäischen Markt bzw. im weiteren Ausland steht der Weg über eine Europäische technische Zulassung im Vordergrund. Eine Europäische Produktnorm für BSH aus Laubholz gibt es zurzeit noch nicht. Das zuständige CEN/TC 124 hat allerdings entsprechende Aktivitäten zur Erarbeitung einer solchen Norm in Angriff genommen.

Die Instrumente Europäische technische Zulassung und Europäische Produktnorm (EN) sind grundsätzlich auch für die Marktimplementierung von Laubholz-BSH in der Schweiz geeignet. Es wäre gar naheliegend, direkt eine Export-taugliche Lösung anzustreben. In der Schweiz wäre es jedoch auch möglich, Laubholz-BSH ohne eine technische Zulassung einzusetzen. Die für die Bemessung solcher Bauteile nötigen Bemessungswerte der mechanischen Eigenschaften könnten in das SIA-Normenwerk eingebaut werden. Ein erster Schritt dazu, wäre z.B. die Erarbeitung eines SIA-Merkblatts. Trotzdem bleibt die Verantwortung für die Gewährleistung der deklarierten Produkteigenschaften und die Qualitätssicherung weiterhin beim Produzenten. Eine einfache Variante, dieser Verantwortung gerecht zu werden, wäre die Ergänzung der bereits für die Qualitätssicherung von BSH aus Nadelholz vorhandenen Richtlinien der Schweizerischen Fachgemeinschaft Holzleimbau SFH mit Regeln für die Produktion von BSH aus Laubholz.

- Es sind bereits zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen zu BSH aus Laubholz vorhanden. Diese beschäftigten sich mit der Bereitstellung, Sortierung und Festigkeit des Rohmaterials, dessen Formstabilität bei Holzfeuchteänderungen, der Keilzinkung von Brettern, der Flächenverklebung von Lamellen und mit dem Einfluss von Rotkern bei Buche. Es sind allerdings noch zahlreiche Wissenslücken vorhanden. Insbesondere folgende Punkte sollten angegangen werden:
- Verbesserung der visuellen Sortierung
 - Anwendung geeigneter apparativer Methoden, Entwicklung von Sortiermaschinen
 - Optimierung der Profile der kennzeichnenden Eigenschaften für Laubholz in der EN 338
 - Entwicklung von optimierten Keilzinkengeometrien
 - Qualitätskontrolle: Vergleich von Zug- und Biegeprüfung von Brettern und Keilzinkenstössen
 - Fundierte Untersuchungen zur Keilzinkung und Flächenverklebung von Esche
 - Weiterentwicklung der Prüfverfahren zur Qualitätskontrolle von Klebfugen bei Laubholz
 - Feststellen der maximalen Lamellendicke zur Verhinderung von Delaminierungen
 - Feststellen des optimalen Pressdrucks bei der Flächenverklebung
 - Entwicklung und Normierung geeigneter Prüfverfahren zur Bestimmung der Schubfestigkeit
 - Quantifizierung des Volumeneinflusses (insb. für Schub)
 - Ermittlung von Zug- und Druckfestigkeiten parallel zur Faserrichtung
 - Verbesserung der Datengrundlage für Festigkeitsklassen > GL48
 - Optimierung von Querschnittsaufbauten (kombinierte und hybride Träger)
 - Quantifizierung des Einflusses der Holzfeuchte auf die Festigkeit und Steifigkeit
 - Quantifizierung des Einflusses der Einwirkungsdauer auf die Festigkeit
 - Quantifizierung des Einflusses der Temperatur auf die Festigkeit und Steifigkeit
 - Studium und Quantifizierung des Kriechverhaltens
 - Verifizierung von Bemessungsansätzen für ausgewählte Verbindungsmittel in Laubholz.

Bezüglich Laub-Vollholz besteht folgende Sachlage:

- Die Schweizer Holzbaunorm SIA 265 baut auf den europäischen Normen auf. Im Falle von Vollholz also auf den Normen EN 336, EN 338, EN 384, EN 408, EN 1912 und EN 14081-1 bis -4. Die Bemessungswerte und mechanischen Eigenschaften von Laub-Vollholz in Tabelle 6 der Norm SIA 265:2009 gelten vornehmlich für die Holzarten Eiche und Buche, da dazu ausreichend Erfahrungswerte vorliegen und entsprechende Angaben für die Bemessung z.T. in der Vorgängernorm SIA 164:1981/1992 vorhanden waren.

Die in der Tabelle 6 der Norm SIA 265:2012 in der Spalte Buche/Eiche angegebenen Bemessungswerte und mechanischen Eigenschaften können jedoch auch für andere Laubholzarten verwendet werden, welche die Bedingungen zur Einteilung in die Festigkeitsklasse D30 erfüllen, d.h. bei einer dem Umgebungsklima von 20°C und 65% relativer Luftfeuchte entsprechenden Holzfeuchte charakteristische Werte der Biegefestigkeit (5%-Fraktilwert) von mindestens 30 N/mm², des Biege-E-Moduls (Mittelwert) von mindestens 10'000 N/mm² und der Rohdichte von mindestens 530 kg/m³ aufweisen.

Die Erfüllung dieser Anforderungen kann mittels Versuchen unter Normbedingungen (EN 384 und EN 408) an einer repräsentativen Stichprobe gezeigt werden. Man könnte auch eine Sortiernorm verwenden, von der man (auf Grund von wissenschaftlichen Untersuchungen oder Erfahrung) weiss, dass sie geeignet ist, das Holz zuverlässig zu klassieren. Leider gibt es zurzeit nur eine einzige für die Schweiz anwendbare Sortiernorm für Laub-Vollholz in Europa, die DIN 4074-5. Mit dieser Norm ist die Sortierung und Klassierung von Buche (in die Klassen D35 und D40), von Eiche (Klasse D30), Ahorn (Klasse D30) und Esche (Klasse D40) möglich.

Mit einer rein visuellen Sortierung wird allerdings das Potential von Laub-Vollholz nicht ausgeschöpft und ist es daher angezeigt, maschinelle Verfahren und Sortiermaschinen zu entwickeln bzw. aus dem Nadelholzbereich adaptiert zu übernehmen, um eine Einstufung von Laub-Vollholz in höhere Festigkeitsklassen (bis D70 wäre möglich) vornehmen zu können.