

Abschlussbericht

Einsatz von Buchen-Brettschichtholz in hochbelasteten Anwendungen. Demonstrationsobjekt

für

Bundesamt für Umwelt BAFU
Aktionsplan Holz

Referenznummer: REF-1011-04200
Kreditnummer: A2310.0134 Wald
Verfügungsnummer: 16.0017.PJ / 4-15.12

von

neue Holzbau AG
Obseestrasse 11
CH-6078 Lungern

verfasst durch

Bruno Abplanalp
Thomas Strahm
Prof. Thomas Rohner, BFH Biel

Mai 2019-1

Abstract

In den letzten Jahren ist in den Schweizer Wäldern eine stetige Zunahme an Laubholzreserven, insbesondere der Buche, zu verzeichnen. Trotz diesen positiven Bestandeszahlen wird heutzutage nur sehr selten Laubholz in tragenden Konstruktionen eingesetzt. Die Ursache für den relativ spärlichen Einsatz von Laubholz liegt zum einen am fehlenden Angebot von marktfähigen Bauprodukten sowie am fehlenden Wissen und Erfahrung in der Weiterverarbeitung dieser Produkte.

Weiterentwicklung von Bauprodukten aus Bu-BSH und deren Anwendung zu marktfähigen, ökologischen Hochleistungs-Bauelementen für den Ingenieur-Hochbau. Substitution von Stahl- oder Beton- durch Bu-BSH-Stützen in Industrie- und Gewerbebauten. Praktischer Einsatz der Neuentwicklungen an einem konkreten Bauobjekt. Durch den Bau eines Leuchtturmprojektes sollen Investoren motiviert werden, ebenfalls in Laubholz zu bauen, um damit einen Marketingeffekt zu erreichen und auszulösen. Absatzförderung von Buchenholz aus Schweizer Wäldern, in der Schweiz verarbeitet um dadurch die Wertschöpfung in Land zu erhalten und auszubauen.

Dazu wird zu Beginn der Herstellungsprozess von Brettschichtholz aus Buche (BU-BSH) analysiert und verbessert, wodurch die Grundlagen für die industrielle Produktion dieses Bauproduktes geschaffen werden. Zum Schluss des vorliegenden Forschungsberichts wird ein realisiertes Bauprojekt, bei welchem Buchenholz in grossen Volumen eingesetzt wurde, beschrieben.

Durch umfangreiche Untersuchungen und Verbesserungen im Herstellungsprozess von BU-BSH konnte die Grundlage zur Herstellung eines zuverlässigen BSH (bis zur Festigkeitsklasse GL48) aus Buche erarbeitet werden. Des weiteren war es Dank einem konkreten Bauprojekt möglich, die Einsatzgebiete von Bauteilen aus Buche aufzuzeigen und zugleich wichtige Erfahrungen mit diesem Baumaterial zu sammeln.

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangslage	3
1.1	Einleitung	3
1.2	Ziele	4
1.3	Aufbau und Methode	5
2	Prüfungen	7
2.1	Zielsetzung	7
2.2	Prüfkörper	7
2.3	Prüfaufbau	9
2.4	Ergebnisse	10
2.5	Schlussfolgerung.....	11
3	Werkplanung Bauelemente aus Buche	12
3.1	Primärtragwerk	12
4	Kostenvergleiche	13
4.1	Ausführungen in verschiedenen Materialien.....	13
4.2	Funktionsweise.....	13
5	Neubau eines 3-geschossigen Industriebaus	14
5.1	Einleitung	14
	Wir bauen ein neues Firmengebäude	14
5.2	Planung	14
5.3	Produktion.....	15
5.4	Montage.....	19
6	Quellenverzeichnis	22
6.1	Literaturverzeichnis	22
6.2	Normenverzeichnis.....	23

© 2019

neue Holzbau AG, CH-6078 Lungern

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung, Verbreitung und Übersetzung vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form ohne schriftliche Genehmigung des Verfassers reproduziert oder über elektronische Systeme verbreitet werden.

1 Ausgangslage

1.1 Einleitung

In den letzten 20 Jahren ist in den Schweizer Wäldern eine stetige Zunahme der Laubholzvorräte zu verzeichnen. Im Gegensatz dazu nimmt der Vorrat der in der Baubranche am meisten verwendeten Nadelholz Fichte stetig ab. So stieg gemäss dem schweizerischen Landesforstinventar [1] zwischen der 2. (1993-1995) und der 3. Landesforstinventur (2004-2006) der Vorrat an Buche um 4.28 Mio. m³. Im gleichen Zeitraum nahm jedoch der Vorrat an Fichte um 7.55 Mio. m³ ab. Erste Ergebnisse des 4. Landesforstinventar (2009-2017) zeigen in die gleiche Richtung. Der Holzvorrat nimmt beim Laubholz um rund 3 % zu, während der Vorrat beim Nadelholz im Mittelland um rund 8 % abnimmt. [2]

Trotz diesen positiven Bestandeszahlen für Laubholz wird beinahe 60 % des geernteten Laubholzes ohne eine vorhergehende Nutzung direkt energetisch verwertet. Hauptgründe dafür sind unter anderem die fehlenden Absatzmärkte sowie eine nicht geschlossene Wertschöpfungskette vom Rundholz zum Halb- oder Fertigprodukt [3]. Um die in der Ressourcenpolitik Holz des Bundes propagierte Kaskadennutzung zu erreichen, müssen deshalb für Schweizer Laubholz neue Märkte erschlossen sowie erfolgreiche Produkte entwickelt werden [2].

Durch die sehr guten mechanischen Eigenschaften von Laubholz liegt ein mögliches Einsatzgebiet mit viel Potential im Ingenieurholzbau. Seit einigen Jahren wird nun am Einsatz von Buchenholz bei Bauteilen mit statisch hohen Ansprüchen geforscht. Eines dieser Produkte ist das sogenannte Brettschichtholz (BSH). Obschon bereits in den 80er Jahren durch BLASS [4] Pilotversuche mit Buchen-BSH (BU-BSH), welche das hohe Potential dieses Baustoffes belegten, durchgeführt wurden und heute diverse Forschungsarbeiten zum Beispiel durch den Aktionsplan Holz (AP-Holz) des Bundesamt für Umwelt (BAFU) gefördert werden, gibt es bis heute nur sehr wenige Objekte bei denen BU-BSH zum Einsatz gekommen ist. Dies liegt vor allem auch am fehlenden Wissen und der mangelnden Erfahrung bei der industriellen Herstellung. Daher ist es wichtig, dass nun Bauten entstehen, bei denen Laubholz als tragendes Bauteil eingesetzt wird und die Firmen so wichtige Erfahrungen sammeln können.

Bereits seit mehr als fünfzehn Jahren setzt die neue Holzbau AG (n'H) in Lungern mit der Verwendung von Laubholz (hauptsächlich Esche aber auch Eiche und Buche) in tragenden Bauteilen auseinander und ist bestrebt, technisch und wirtschaftlich sinnvolle Produkte auf den Markt zu bringen. Jedoch fehlt auch ihr noch einiges an Wissen und Erfahrung bei der Verarbeitung und dem Einsatz von Buche als tragendes Element. Das vorliegende Forschungsprojekt fokussiert dabei auf den praktischen Einsatz von Bauprodukten aus Buche, sowie die Entwicklung eines neuen Bausystems für den mehrgeschossigen Holzbau.

1.2 Ziele

Weiterentwicklung von Bauprodukten aus Bu-BSH und deren Anwendung zu marktfähigen, ökologischen Hochleistungs-Bauelementen für den Ingenieur-Hochbau. Substitution von Stahl- oder Beton- durch Bu-BSH-Stützen in Industrie- und Gewerbebauten. Praktischer Einsatz der Neuentwicklungen an einem konkreten Bauobjekt. Durch den Bau eines Leuchtturmprojektes sollen Investoren motiviert werden, ebenfalls in Laubholz zu bauen, um damit einen Marketingeffekt zu erreichen und auszulösen. Absatzförderung von Buchenholz aus Schweizer Wäldern, in der Schweiz verarbeitet um dadurch die Wertschöpfung in Land zu erhalten und auszubauen.

Ziele:

- Voraussetzungen für die industrielle Herstellung von BU-BSH schaffen
- Aufzuzeigen welche Bauprodukte aus Buche möglich sind und wie diese eingesetzt werden können (Hauptmärkte, Haupteinsatzgebiete)
- Entwicklung eines neuen Bausystems aus Buche mit Stahlbewehrung für Hochleistungsstützen im Hochbau in Holzbauweise

Fragenstellung:

1. Kann Bu-BSH preislich mit Hochleistungsstützen in Beton und Stahl mithalten?
2. Welchen Zusatznutzen bringen Produkte aus Bu-BSH (Ökologie, CO²-Bindung, Brandsicherheit, Optik, Haptik, Wertschöpfung Schweiz)
3. Kann Buche und Stahl zu einem Verbundwerkstoff (armierte Buchenstütze) kombiniert werden?
4. Wie ist das Tragverhalten der armierten Buchenstütze ohne Ummantelungsarmierung?

Kostenvergleiche: Unter Punkt 4 haben wir die Kostenvergleiche zusammengestellt. Bei einer industriellen Fertigung von grösseren Serien sind Bu-Stützen gegenüber Stahl oder Beton konkurrenzfähig. Hier spielen natürlich noch die ganzen Anforderungen an die Stützen (Brandschutz, Schlankheit etc.) eine grosse Rolle – vor allem beim Brandschutz ist das Holz im Vorteil - und hat entsprechend, preistreibenden Charakter.

«Buche statt Beton – da fällt mir eine Aussage von ETH-Professor Fontane „Holz so hart wie Stein“ ein!»

Zusatznutzen: In der ganzen Nutzung vom Laubholz für tragende Bauteile sind wir erst am Anfang. Dennoch zeigt es eindeutig die grossen Möglichkeiten was mit diesem Rohstoff der in grossen Mengen im Wald am Lager ist, auf. In unseren Wäldern stehen zirka 1/3 Laubbäume. Durch die ganzen Klimaveränderung wird sich die Zusammensetzung der Baumarten nochmals verändern. Durch vermehrte Nutzung vom Laubholz zu ökologischen, hochfesten und qualitätssortieren Bauelementen ist eine grosse Werkschöpfung möglich.

Verbundstoff: Die hybride Bauweise mit Verbundquerschnitten kommt hier voll zum Tragen. Mit nur 2 – 3 % Stahlanteil steigern wir die schon hohe Leistung vom Laubholz nochmals um ca. 40 %.

Bewusste Wahl von «Hybrid – Tragwerken:

Holz/Stahl, Holz/Beton oder wegen Verbindungstechnik alle Materialien sinnvoll kombiniert.

Im (Ingenieur)Holzbau ist durch „neue“ Verbindungstechniken aus dem Stahlbau und gezielten Einsatz von hochfestem, qualitätssortiertem Laubholz ein „Quantensprung“ möglich und kann ohne Mehrkosten zu:

- schöneren => weil schlanker
- wirtschaftlicheren => weil weniger Material, Transport, Gebäudevolumen
- dauerhafteren => kleinere Querschnitte bekommen weniger Risse
- robusteren => Umlagerungspotential durch duktile Stahlverbindungen

Gebäuden führen.

Ummantelungsarmierung: Die durchgeführten Prüfserien an der EMPA zeigten keine Schwächungen ohne Ummantelungsarmierung. Die Krafteinleitung in die Stützen oder auf die Fundamente erfolgt mit einer Stahlplatten was ein aufplatzen oder aufspalten verhindert.

1.3 Aufbau und Methode

Im ersten Teil des vorliegenden Forschungsprojektes geht es darum, den Prozess bei der industriellen Herstellung von BU-BSH zu analysieren und diesen so zu verbessern, damit es möglich wird ein zuverlässiges Produkt industriell herzustellen. Das Hauptaugenmerk gilt dabei der Festigkeitssortierung, dem Keilzinken und der Flächenverklebung. Der zweite Teil befasst sich mit der Herstellung von Bauelementen aus Buche sowie der Entwicklung eines neuen Bausystems für den mehrgeschossigen Holzbau. Im letzten Teil werden anhand eines konkreten Bauobjektes, dem Neubau eines 3-geschossigen Industriebaus mit Produktion, Büro und Wohnen über einander von Beer Holzbau AG, Ostermundigen.

Für das gesamte Forschungsprojekt wird Buchenholz aus Schweizer Wäldern verwendet, welches von folgenden drei Schweizer Sägewerken geliefert wird:

- Konrad Keller AG, Säge- und Hobelwerk, Unterstammheim
- Koller Sägerei AG, Attelwil
- ETS Röthlisberger SA, Industrie du Bois, Glovelier



Abb. 1: Anlieferung Bu-Lamellen



Abb. 2: Bu-Lamellen im Vorklimatisierungsraum

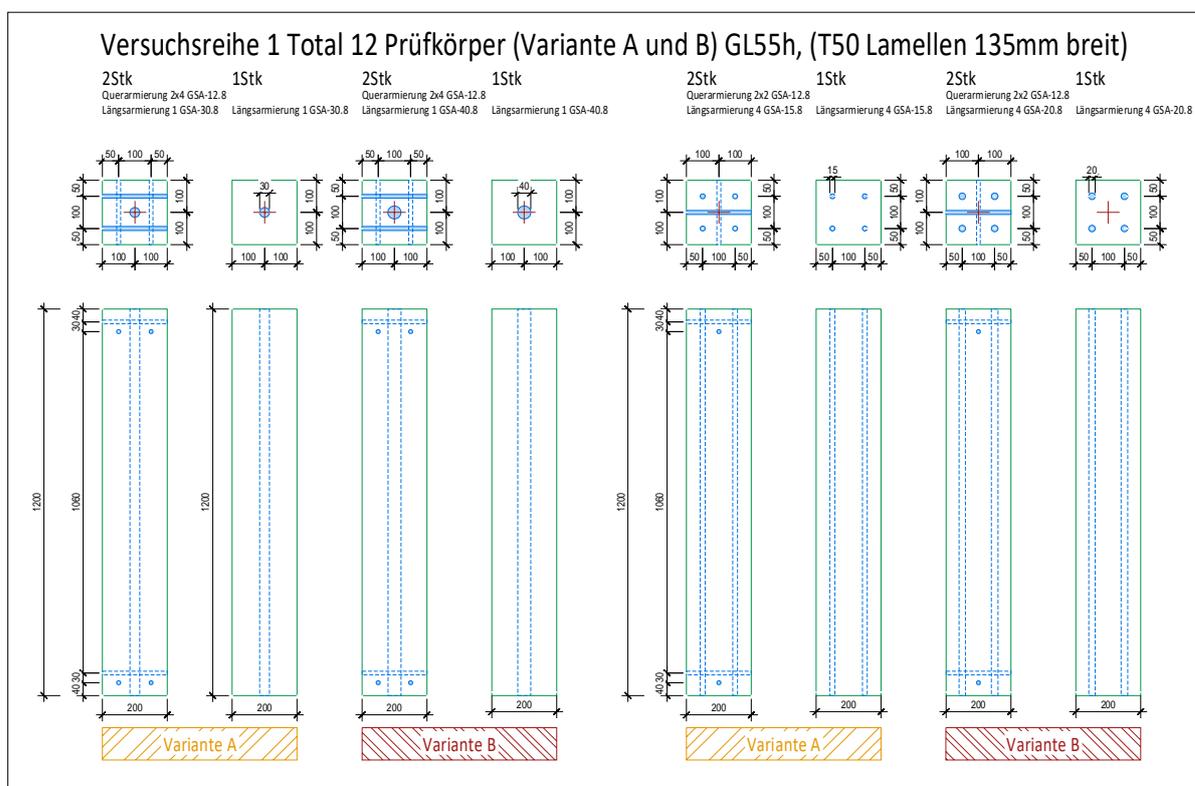
2 Prüfungen

Die ersten Vorversuche erfolgten intern im Prüflabor der n'H Lungern. Um jedoch Stützen in baupraktischen Längen und Querschnitte zu prüfen reichten unsere Einrichtung nicht aus. Zusammen mit der EMPA Dübendorf (René Steiger) wurde ein Prüfkonzept entwickelt, welches auch Prüfungen an größeren Stützen ermöglicht.

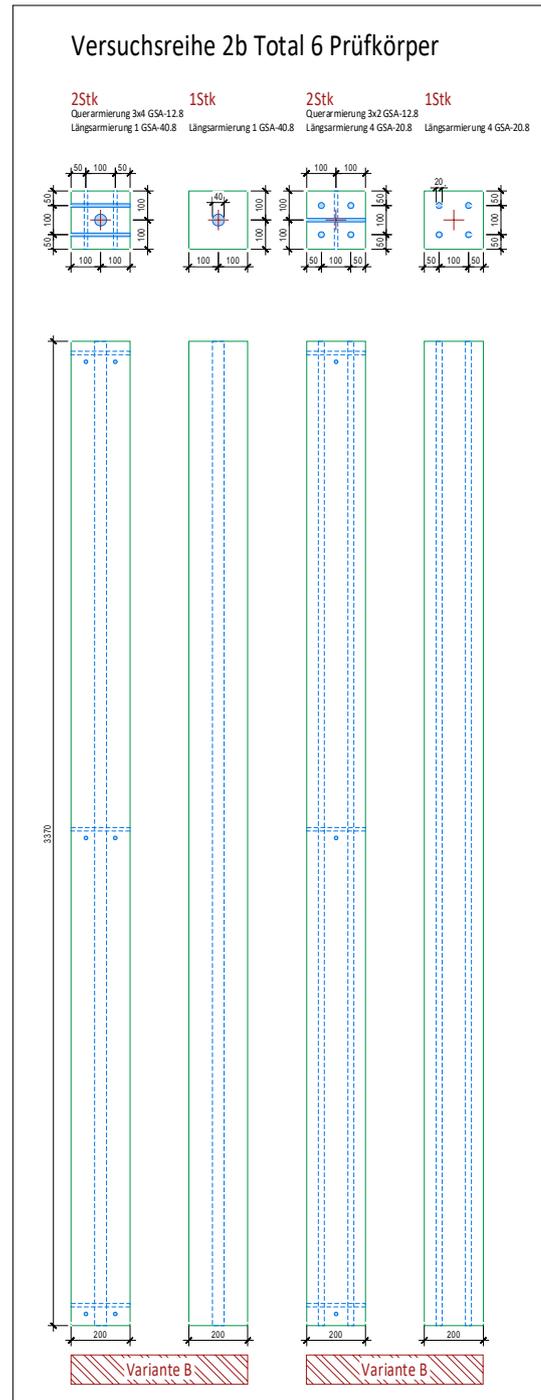
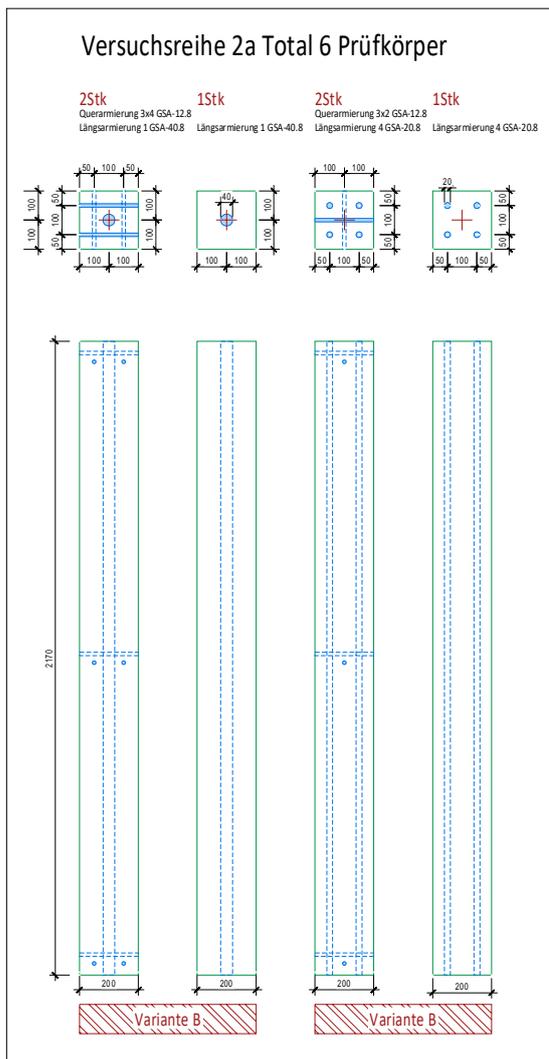
2.1 Zielsetzung

Hauptziel war aufzuzeigen, dass durch die Anordnung einer Längsarmierung das Tragvermögen – bei Beibehaltung der Querschnittsabmessung – wesentlich gesteigert wird.

2.2 Prüfkörper

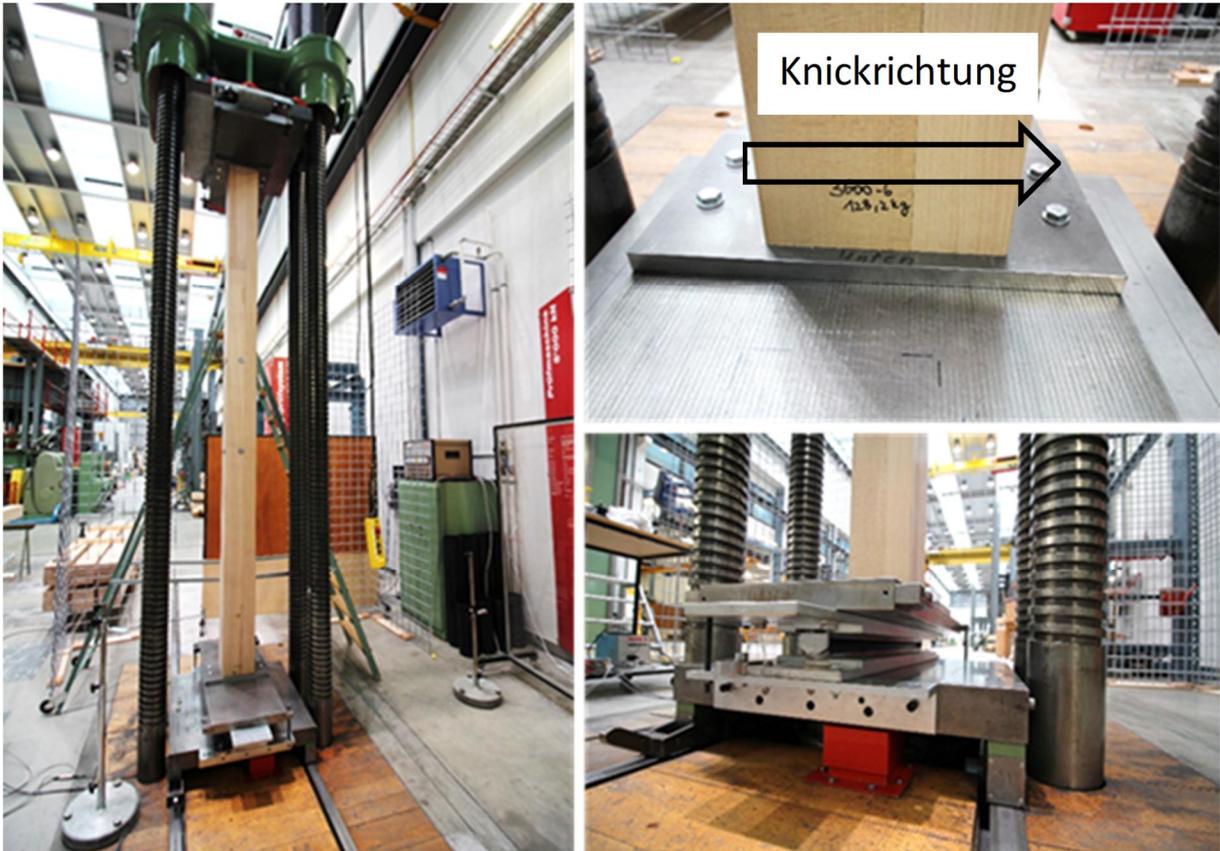


Die Anordnung der Armierung spielt eine zentrale Rolle. Neben den statischen Überlegungen sind auch die Anforderungen bezüglich Brandschutzes zu beachten. In der ersten Serie (Stützenlänge 1.5 m) ging es darum herauszufinden, wieviel Stahlarmierung bezogen auf den Holzquerschnitt nötig ist, um die angestrebte 30-40% Tragvermögensteigerung zu erreichen. Neben den «armierten» Stützen wurde aus möglichst gleichwertigen Buchenmaterial auch Stützen ohne Armierung mit den gleichen Querschnitten hergestellt und mitgeprüft. Armiert gab es jeweils 4 Serien, zweimal mit einem zentralen Armierungsstab und zweimal mit verteilter symmetrischer Armierung (4 Stäbe). Der Armierungsgrad des Zentrischen ist jeweils mit der dazugehörigen Vierergruppe in etwa identisch. Um ein frühes vorzeitiges Aufspalten im Anschlussbereich zu vermeiden wurden jeweils bei zwei der drei Prüfkörper im Anschlussbereich eine Querarmierung ausgeführt.



Nach der Auswertung der Versuchsreihe 1 wurde entschieden mit dem höheren Armierungsgrad weiter zu prüfen. Das bedeutet zentrisch eine Armierung von $d=40$; bzw. 4 Armierungen $d=20$ mm. Im Gegensatz zur Versuchsreihe 1 wurden die Prüfkörper gelenkig gelagert (siehe Prüfaufbau). Dies ermöglichte uns eine einfachere Auswertung der Ergebnisse, da so die Knicklänge genau definiert ist. Wir haben mit dem gleichen Querschnitt zwei Längen geprüft 2.4 m (Serie 2a) und 3.6 m (Serie 2b). Wie sich bei Serie 1 gezeigt hat, war die Querarmierung nicht nötig, wir haben sie dennoch zumindest bei jeweils einem Prüfkörper durchgeführt.

2.3 Prüfaufbau



Der Abstand zwischen den Lagerdrehpunkt und Stützen Stirnfläche beträgt oben und unten je 230 mm. Das ergibt bei einer Länge der Stütze von 2170 mm bzw. 3370 mm eine Knicklänge von 2400 mm bzw. 3600 mm. In der Knickebene wurde eine Exzentrizität von $l/500$ eingeplant, die Stahlplatte unten wurde demnach um 4.8 mm bzw. 7.2 mm unten exzentrisch angeschraubt. Die Exzentrizität ermöglicht ein kontrolliertes Ausknicken in eine Richtung und etwas realistischere Resultate für die Praxis. Die Knickrichtung wurde so gewählt, dass die Stütze in ihre «homogene Richtung» knickt, d.h. die Ebene, in welche die Stützen knickten, lag parallel zu den BSH Lamellen.

2.4 Ergebnisse

2.4.1 Serie 1

Prüfkörper	Armierung	Maximallast (kN)	Mittelwert (kN)	Steigerung (%)
101-1	1x d=30 zentrisch/Querarmierung	2816	2852	108
101-2	1x d=30 zentrisch/Querarmierung	2901		
102	1x d=30 zentrisch	2838		
103-1	1x d=40 zentrisch/Querarmierung	3053	3104	118
103-2	1x d=40 zentrisch/Querarmierung	3119		
104	1x d=40 zentrisch	3140		
105-1	4x d=15 in den Ecken/Querarmierung	2972	2985	113
105-2	4x d=15 in den Ecken/Querarmierung	2986		
106	4x d=15 in den Ecken	2997		
107-1	4x d=20 in den Ecken/Querarmierung	3587	3541	135
107-2	4x d=20 in den Ecken/Querarmierung	3450		
108	4x d=20 in den Ecken	3585		
	unbewährte Stützen		2632	100

2.4.2 Serie 2a

Prüfkörper	Armierung	Maximallast (kN)	Mittelwert (kN)	Steigerung (%)
201	1x d=40 zentrisch/Querarmierung	2028	2110	117
202	1x d=40 zentrisch	2185		
203	1x d=40 zentrisch	2118		
204	4x d=20 in den Ecken/Querarmierung	2567	2473	137
205	4x d=20 in den Ecken	2367		
206	4x d=20 in den Ecken	2485		
	unbewährt GL 40h		1726	95
	unbewährt GL 48h		1811	100

2.4.3 Serie 2b

Prüfkörper	Armierung	Maximallast (kN)	Mittelwert (kN)	Steigerung (%)
301	1x d=40 zentrisch/Querarmierung	1350	1338	110
302	1x d=40 zentrisch	1367		
303	1x d=40 zentrisch	1296		
304	4x d=20 in den Ecken/Querarmierung	1689	1649	135
305	4x d=20 in den Ecken	1658		
306	4x d=20 in den Ecken	1601		
	unbewährt GL 40h		1150	94
	unbewährt GL 48h		1221	100

2.5 Schlussfolgerung

Bei gleichem Bewehrungsgrad weist die konzentrierte Einzelarmierung stets eine tiefere Traglast bzw. Knickspannung auf als die 4^{er} Gruppe, dies bedingt durch den fehlenden Beitrag zur Biegesteifigkeit. Die gewünschte Steigerung wurde demnach nur mit der Vierergruppe erreicht. Es gilt zu bedenken, dass in der Praxis die Stützen meist einen grösseren Querschnitt haben als 200/200 mm. Wird die Stütze grösser können die Armierungsstäbe im Verhältnis zum Trägerquerschnitt weiter aussen platziert werden, der Trägheitsradius wird vergrössert, was eine zusätzliche Steigerung gegenüber den unbewährten Stützen bedeutet.

Ein direkter Vergleich der Leistungssteigerung war durch eine sorgfältige Sortierung der Bretter mit einer möglichst gleichmässigen Verteilung der Brettlamellen sichergestellt. Die vor den Versuchen durchgeführten Berechnungen haben die Prüfwerte relativ genau vorhergesagt. Die Leistungssteigerung durch die Armierung kann demnach nicht nur versuchsmässig gezeigt, sondern auch berechnet werden.

3 Werkplanung Bauelemente aus Buche

3.1 Primärtragwerk

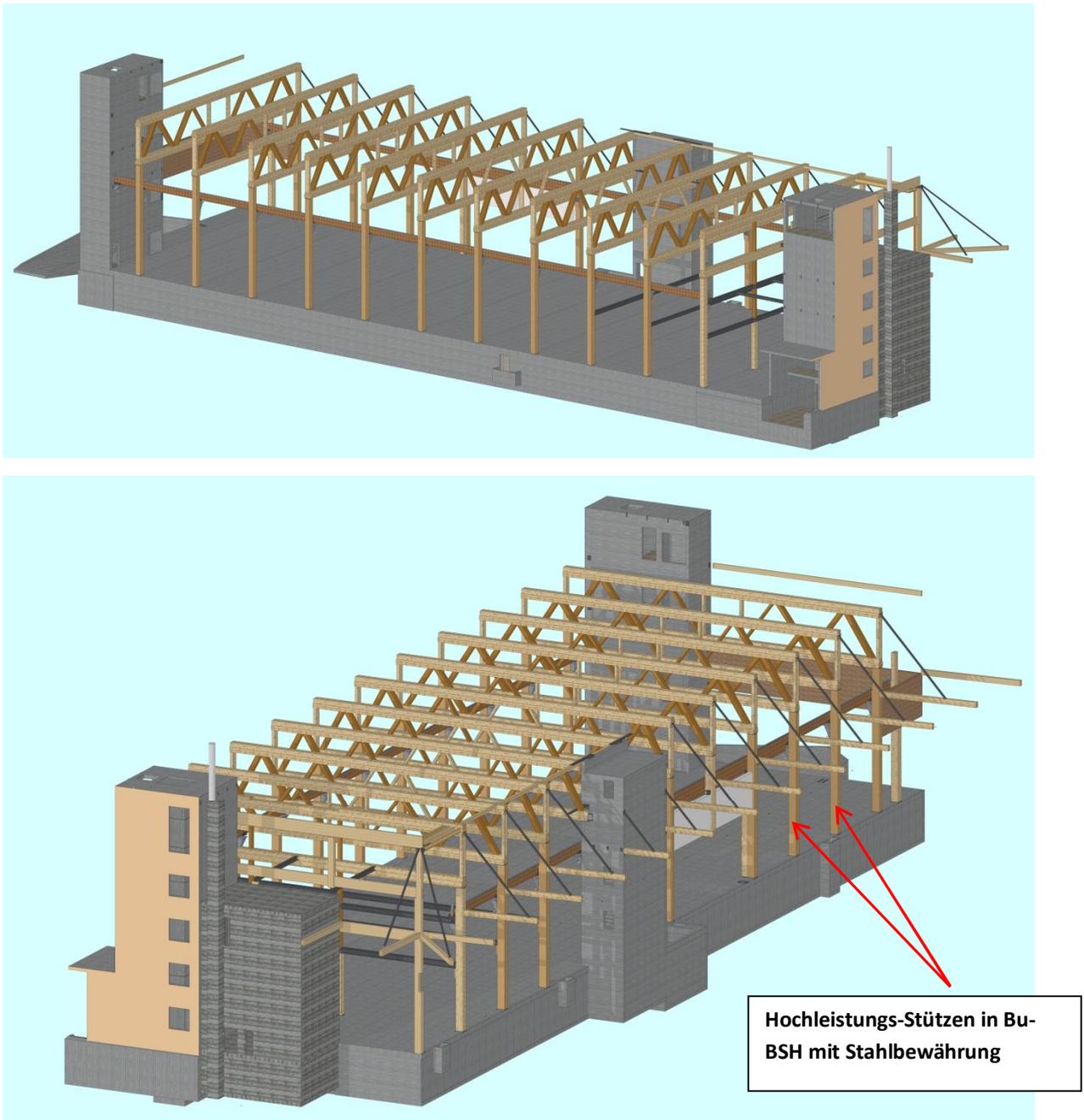


Abb. 5: 3D Modell von Primärtragwerk

4 Kostenvergleiche

4.1 Ausführungen in verschiedenen Materialien

Kostenvergleiche pro Stütze					
Beschrieb	BSH-Fichte	BSH-Buche mit Bewehrung	Stahlstütze	Betonstütze	Bemerkungen
Querschnitt in mm	480/720	440/540	HEB 360	450/280	
Brandschutzmassnahmen	keine	keine	Verkleiden mit RF 1 Platten 15 mm	keine	
Gewicht	17.3 kN	20.2 kN	14.6 kN	35.28 kN	
Kosten pro Stütze	5'860.00	8'600.00	6'860.00	7'640.00	ohne Krankonsole
Schallschutz nach oben	gelöst	gelöst	nicht gelöst	nicht gelöst	Abb. 17
Verkleidung Brandschutz			1'800.00		
Kosten Total pro Stütze	5'860.00	8'600.00	8'660.00	7'640.00	
	100%	147%	148%	130%	

Die Vergleiche zeigen doch deutlich auf, dass wir zukünftig mit den Hochleistungs-Stützen in Holz auf dem Markt konkurrenzfähig sind. Die Stahl- und Betonstützen wurden nicht bis ins letzte Detail geplant um die Kosten zu ermitteln. Die statischen Eigenschaften der Bu-Stützen mit einem Bewehrungsanteil von ca. 2 % konnten um 40 % gesteigert werden. Einen grossen Vorteil im Bau sind schlanke Bu-Stützen gegenüber Fichtenstützen mit ca. 70 %.

Da es sich um ein Pilotprojekt handelt, wo viel Erfahrung und Know-how aufgebaut werden musste sind die Herstellungskosten hoch. Bei grösseren Serien werden die Kosten um ca. 10-15 % sinken.

4.2 Funktionsweise

Die Schallschutzmassnahmen, d.h. die Schallübertragung ins Bürogeschoss und ins Dachgeschoss mit den Eigentumswohnungen konnte mit den Holzstützen viel einfacher gelöst werden. Der Rohstoff Holz hat sehr gute, dämmende Eigenschaften von Natur aus. Die Abkoppelung vom Schallübertragung aus der Kran-Benutzung (2 Kräne à 10 to Nutzlast im Zweischichtbetrieb) in die oberen Stockwerke wurde zusätzlich mit aufwendigen und auf Federpaketen gelagerten Krankonsolen gelöst. (Abb. 17)

5 Neubau eines 3-geschossigen Industriebaus

5.1 Einleitung

Wir bauen ein neues Firmengebäude

Firmeninhaber Heinz Beer: Innovation und Funktionalität sind für uns nicht nur bei Kundenaufträgen wichtige Begriffe, sondern gelten auch betriebsintern als zentrale Grundsätze. Wir sind stets bestrebt, unseren Mitarbeitern ein bestmögliches Umfeld zu garantieren, um auf dem Markt wettbewerbsfähig zu bleiben. Aus diesem Grund erstellen wir einen Neubau, welcher perfekt an unsere aktuellen Bedürfnisse angepasst sein wird. Für die Übergangszeit wurde ein praktisches Provisorium ganz in der Nähe gefunden.



Abb. 6: Übersicht vom Neubau in Ostermundigen (Rendering)



Abb. 7: Die Baustelle Zollgasse 76, 3072 Ostermundigen

5.2 Planung

Das Tragwerk, unter anderem bestehend aus den zehn Bindern, wurde aus fünf Vorschlägen unterschiedlicher Projektgruppen junger Bachelor Holztechnik Studierender der Berner Fachhochschule

ausgewählt und in Zusammenarbeit mit ihnen umgesetzt. Studierende aus der Berner Fachhochschule für Architektur, Holz und Bau in Biel erarbeiteten in Praktikas bei der Beer Holzbau AG im Rahmen von Studienprojekten das Schallschutzprojekt, die Layoutplanung, das Brandschutzprojekt und ein Projekt-handbuch zuhanden erfolgreicher und nachhaltiger Entwicklung eines Holzbauunternehmens.

Die herausragende Neuheit der Beer-Halle sind die eingespannten Hochleistungsstützen, welche anstelle von Beton, in Schweizer Buchenholz ausgeführt sind. Das ist eine erstmalige Substitution einer Beton-Domäne durch eine Holzlösung, welche dem Buchenholz grosse, neue Märkte eröffnen wird. Um die 220 Tonnen, die auf einer einzelnen Stütze lasten, sinnvoll abtragen zu können, wurde ein System entwickelt, welches der Wirkungsweise der Betonstütze ähnelt. Indem die Buchenholzstütze armiert wurden, wird ein Teil der Last über den Stahl, der Rest über das Holz abgetragen. Diese Konstruktion erlaubt ein sehr einfaches Anschliessen an die Grundplatte, durch vorgängig hochpräzise versetzte Stahlplatten im Fundament. Durch diese Konstruktion blieb der Innenraum der Halle frei von Abspannungen und das Aussengerüst konnte direkt an die Stützen angehängt werden.



Abb. 8: Grundriss Hallenneubau Beer Holzbau AG

5.3 Produktion

Durch die eher geringe Erfahrung mit der Verarbeitung von Buchenholz zu Hochleistungsbauteilen tauchten jeweils diverse Herausforderungen auf, welche den Herstellungsprozess verlangsamt. So sind beispielsweise Buchenbretter, welche zur Herstellung von BSH benötigt werden, grundsätzlich kürzer und weniger gerade als Fichtenbretter, was somit auch den Sortierungs- und Keilzinkprozess deutlich verlangsamt. Zusätzlich wurden vom Säger teils zu schmale oder nicht vollständig vorgehoelte Bretter angeliefert, welche jeweils aussortiert werden mussten.



Abb. 9: Produktion Bu-BSH



Abb. 10: CNC-Abbund Bu-BSH



Abb. 1: Einbringen der Stahlbewahrung ins Bu-BSH



Abb. 2: Blockverleimungen der Bu-Stutzen



Abb. 13: Grundplatte fürs aufschweißen auf der Baustelle



Abb. 14: Bu-Stützen auf Grundplatte im Beton aufgeschweisst



Abb. 15: Montage der Bu-Stützen



Abb. 16: Genaues positionieren der Bu-Stützen mit dem Theodolit

5.4 Montage

Die Holzbaumontage konnte während des ganzen Montage-Prozesses unter <http://www.beer-holzbau.ch/index.php/aktuelles/fachwerk-ostermundigen/tagebuch> verfolgt werden.



Abb.17: Auflagerdetail Kranbahn auf einem Federpaket gelagert

BIM gewährleistet fehlerfreies und genaues Bauen:

alle Software-Programme arbeiten mit dem gleichen 3D-Modell. Vom Entwurf über die Statik, Bemessung, Konstruktion bis zur Maschinenansteuerung greifen alle auf dieselben 3D-Daten zu. Zu guter Letzt wird auch die Montage direkt vom 3D-Modell gesteuert; man nennt das «BIM to field» die Daten werden vom CAD direkt auf den LEICA-Tachymeter und auf die Baustelle projiziert. Die Buchenstützen konnten durch eine Baustellenschweissung direkt biegesteif ans Fundament angeschlossen werden. Dadurch blieb der Innenraum jederzeit frei verfügbar und aussen konnte das Gerüst an den Buchenstützen befestigt werden. Die Kranbahnlasten werden ebenfalls über die Buchenstützen abgeleitet, wobei diese mit speziellen Federpaketen akustisch zu den oberen Stockwerken abgekoppelt wurde.

Während des ganzen Montageprozesses waren die Holzbauteile foliert (in Folie gepackt) um sie gegen Witterung zu schützen.

Der dreigeschossige Erneuerungsbau, mit einem Bürogeschoss in der Fachwerkebene und einem Attikageschoss mit zwei grossen Wohnungen ist ab Dezember 2016 die künftige Produktionsstätte der Beer Holzbau AG. Ende Oktober fand das feierliche Aufrichtefest mit der Segnung des „FachWerk“ statt. Es folgt nun der Endausbau innen und aussen. Ende Dezember 2016 wird der ganze Betrieb aus dem Provisorium ins neue Domizil umziehen.

Fazit und Ausblick

Das Ziel dieses Forschungsprojekt war es die Voraussetzungen für die industrielle Herstellung von Hochleistungs-Bauelemente in BU-BSH zu schaffen. Das Leuchtturmprojekt der neuen Halle Beer zeigt eindrücklich, wie die Buche als Hochleistungsstütze eingesetzt werden kann.

Um in Zukunft marktfähiges Bu-BSH herstellen zu können, müssen alle Prozessschritte vom Baum bis zur Lamelle neu konzipiert werden. Aufgrund der Wildheit der Buche, sind Konzepte in Arbeit, welche die Aufschlüsselung des Rundholzes nicht in Bretter, sondern in standardisierte Latten (40/40, 50/50 oder 60/60) auflöst. Aus diesen Latten werden Platten hergestellt, welche als Grundprodukt für verschiedene Buchenprodukte verwendet werden können. Beispiel: Bu-BSH, BU-CLT, BU-Hohlkasten, Bu-Möbelplatten.



Abb.18: Holzpixel als Symbolbild der Aufschlüsselung eines Buchenstammes in Latten

Die Denkfabrik Buchentisch sucht in ihrer Arbeit nach grossen und lohnenden Märkten für den Einsatz von Buchenprodukten und nennt die armierte und eingespannte Hochleistungsstütze als ein perfekt geeignetes Produkt, denn es handelt sich um ein Drucksystem, bei dem die Latten nicht keilgezinkt werden müssen. Diese Stumpfstofftechnik erlaubt es, fünf Prozessschritte zu eliminieren: Kappen, Zinken, Beleimen, Zusammenstossen und Hobeln. Gleichzeitig muss aber ein Lege-Algorithmus entwickelt werden, welche die Stumpfstoss-Anordnung vor dem Pressvorgang steuert.

positive Aspekte	eher negative Aspekte resp. noch offene Punkte
<ul style="list-style-type: none"> + Grosse Buchenbestände in der CH + Einheimische Ressource + Edler Werkstoff + Hochleistungswerkstoff + Gute Be- und Verarbeitungseigenschaften + HolzNetzWerk Schweiz, Wald Schweiz + Hoher, angewandter Forschungsbedarf + Laubholzprojekt kombiniert mit Energieholzkonzept + Durchgängige Digitalisierung vom Baum bis zum Bu-Produkt 	<ul style="list-style-type: none"> – Erlös von Bu-Rundholz ab Waldstrasse – Tiefe Ausbeute – Buche ist hervorragender Brennstoff – Preis für konventioneller Bu-BSH – Industrielle Produktion von Bu-Platten mit der nötigen Investition – Viel Bu-Starkholz in CH-Wäldern – Verfügbarkeit in gewünschter Zeit

Abschliessend kann gesagt werden, dass mit diesem Forschungsprojekt bereits ein wichtiger Schritt in die richtige Richtung gemacht werden konnte. Jedoch benötigt es noch weiteren Handlungsbedarf bis wirklich wirtschaftliche und marktfähige Produkte und Bauten aus Buche entstehen können.

6 Quellenverzeichnis

6.1 Literaturverzeichnis

- [1] U.-B. Brändli, Schweizerisches Landesforstinventar - Ergebnisse der dritten Erhebung, 2010.
- [2] T. Näher, B. Neubauer-Letsch und A. Müller , Grundlagen zum Marktpotential für Laubholzprodukte mit Fokus Buchen-Brettschichtholz, Biel/Bienne: BFH, 2012.
- [3] E. Gehri, Sortierung Eschenlamellen, 8803 Rüslikon, 2010.
- [4] B. Abplanalp, «Ökonomiegebäude Lauenen mit BSH aus Buchenholz (Pilotanwendung),» BAFU Bundesamt für Umwelt, 2010.
- [5] E. Gehri, «Sortierung Buchenbretter,» 8803 Rüslikon, 2010.
- [6] E. Gehri, «Die GT-Sortierung/Klassierung,» 8803 Rüslikon, 2005.
- [7] R. Wagenführ, Holzatlas, Fachbuchverlag Leipzig, 2000.
- [8] A. Wagenführ und F. Scholz, Taschenbuch der Holztechnik, München: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, 2012.
- [9] P. Glos und B. Lederer, Sortierung von Buchen- und Eichenschnittholz nach der Tragfähigkeit und Bestimmung der zugehörigen Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte, Institut für Holzforschung TU München, 2000.
- [10] A. Schusser, Untersuchung der Keilzinkenverbindung für Brettlamellen in Laubholz, Biel/Bienne: BFH, 2013.
- [11] E. Gehri, Verbindungstechniken für auf Laubhölzer basierten Holzwerkstoffe - mit besonderer Berücksichtigung von BSH und LVL aus Buche, IHF 2015 , 2015.
- [12] TU München, Gutachtliche Stellungnahme - Klebstoff Prefere 4535 mit Härter 5046 für Brettschichtholz aus Buche, München, 2013.
- [13] P. Niemz und M. Lehmann , Esche Verklebung - Ergänzende Untersuchungen zur Optimierung der Verklebung von Eschenholz für den Einsatz als Brettschichtholz im konstruktiven Holzbau, Biel: BFH Biel, 2015.
- [14] F. Sauser, Theoretische und praktische Analyse zur Produktion von Brettschichtholz in Buche, Tavannes: BFH Biel, 2013.
- [15] J. W. G. van de Kuilen, Gutachtliche Stellungnahme - Klebstoff Prefere 4535 mit Härter 5046 für Brettschichtholz aus Buche, München: Holzforschung München, 2013.
- [16] Martin Arnold, EMPA, WHFF-Projekt Nr. 2017.18, Qualitätskontrolle der Flächenverklebung bei Brettschichtholz aus Laubholz (QS LH-BSH)

6.2 Normenverzeichnis

Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA)

SIA 260:2013; Grundlagen der Projektierung von Tragwerken

SIA 265:2012; Holzbau

SIA 265-C3:2015; Holzbau – Korrigenda C3 zur Norm SIA 265:2012

SIA 265/1:2009; Holzbau – Ergänzende Festlegungen

SIA 265/1-C2:2014; Holzbau – Ergänzende Festlegungen – Korrigenda C2 zur Norm SIA 265/1:2009

Europäische Normen (EN) und Europäische Normen mit Status Schweizer Norm (SN EN)

SN EN 14080:2013; Holzbauwerke – Brettschichtholz und Balkenschichtholz – Anforderungen

EN 14081-1+A1:2011; Holzbauwerke – Nach Festigkeit sortiertes Bauholz für tragende Zwecke mit rechteckigem Querschnitt – Teil 1: Allgemeine Anforderungen

SN EN 384:2010; Bauholz für tragende Zwecke - Bestimmung charakteristischer Werte für mechanische Eigenschaften und Rohdichte

EN 408:2010+A1:2012 Holzbauwerke - Bauholz für tragende Zwecke und Brettschichtholz - Bestimmung einiger physikalischer und mechanischer Eigenschaften

EN 338:2009; Bauholz für tragende Zwecke – Festigkeitsklassen

EN 1912:2012; Bauholz für tragende Zwecke – Festigkeitsklassen – Zuordnung von visuellen Sortierklassen und Holzarten

SN EN 302-2:2013; Klebstoffe für tragende Holzbauteile – Prüfverfahren – Teil 2: Bestimmung der Delaminierungsbeständigkeit

SN EN 301:2013; Klebstoffe, Phenoplaste und Aminoplaste, für tragende Holzbauteile – Klassifizierung und Leistungsanforderungen

SN EN 14358:2006; Holzbauwerke – Berechnung der 5 %-Quantile für charakteristische Werte und Annahmekriterien für Proben

Deutsches Institut für Normung (DIN)

DIN 4074-1:2012; Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit – Nadelschnittholz

DIN 4074-5:2008; Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit – Laubschnittholz