

Bemessung von Holzrahmenbau-Wänden mit Gipsfaserbeplankung

Lukas Kramer, Lukas Furrer, Prof. Martin Geiser
Berner Fachhochschule, Institut für Holzbau, Tragwerke und Architektur

1 AUSGANGSLAGE

Die Holzrahmenbauweise ist in allen Regionen der Schweiz sehr verbreitet. Als Beplankungsmaterial werden neben OSB auch unterschiedliche Gipsprodukte eingesetzt, da diese im Bezug auf Brandschutz, Schallschutz und sommerlichen Wärmeschutz von Vorteil sind. Für die Beplankung von aussteifenden Holzrahmenbau-Wänden werden oft Gipsfaserplatten verwendet. Da die Bemessung von solchen Wänden in der Norm [SIA 265, 2021] nicht ausführlich geregelt ist, wird in der Schweiz üblicherweise der deutsche nationale Anhang des Eurocodes [DIN EN 1995-1-1/NA, 2013-08] verwendet. Nach dieser Norm darf der Rechenwert der Schubfestigkeit des Plattenwerkstoffes beim Nachweis der Scheibenbeanspruchung nicht höher als die niedrigste Zugfestigkeit des Plattenmaterials für Scheibenbeanspruchung sein, was bei Gipsfaserprodukten üblicherweise der Fall ist. Zudem sind diese niedrigen Zugfestigkeiten mit verhältnismässig tiefen Reduktionsbeiwerten zur Berücksichtigung der Zusatzbeanspruchungen ($k_{v,2}$, Erläuterungen dazu siehe [Manser et al., 2023] in diesem Tagungsband) zu kombinieren, was dazu führt, dass die Nachweisführung von Holzrahmenbau-Wänden mit Gipsfaserbeplankungen sogar bei kleineren Bauwerken problematisch sein kann, da eine zweireihige Verklammerung nicht möglich ist.

Obwohl sich Gipsfaserplatten von den herkömmlichen Holzwerkstoffplatten deutlich unterscheiden, werden bei der Nachweisführung die gleichen Beiwerte sowie der gleiche Bemessungswert des Abscherwiderstands der Klammer verwendet. Aus diesem Grund ist zu erwarten, dass eine spezifische Nachweisführung mit baustoffgerechten Parametern zu einer verbesserten Ausnutzung des Potenzials von Gipsfaserplatten als Beplankungsmaterial von Holzrahmenbau-Wänden führen sollte. Gleichzeitig sollte dank dem Einsatz von Beplankungsmaterialien mit Mehrfachfunktion eine Stärkung der Attraktivität des Holzbaus erfolgen. So wurde Ende 2019 das Institut für Holzbau, Tragwerke und Architektur (IHTA) der BFH von der Knauf AG Schweiz beauftragt, Bemessungsparameter für den baustoffgerechten Einsatz von Knauf-Gipsfaserplatten zur erdbebengerechten Gebäudeaussteifung im Holzbau zu entwickeln. Der vorliegende Beitrag fasst die wesentlichen Ergebnisse dieses Forschungsauftrags zusammen.

2 EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN

2.1 Verwendete Werkstoffe

Beplankung: Für die Untersuchungen wurde die Knauf Vidifire A1 Platte mit 18 mm Dicke festgelegt. Die Platte zeichnet sich aus durch die Verwendung von einem hochwertigen Spezialgips und organischen und anorganischen Fasern. Daraus resultiert eine höhere Festigkeit als bei Standardplatten und eine leicht erhöhte Rohdichte. Somit ist eine höhere Leistungsfähigkeit der mit diesem Produkt beplankten Holzrahmenbau-Wand zu erwarten.

Ständerwerk: Die Ständerwerkelemente bestehen aus Brettschichtholz GL24h [SN EN 14080, 2013], hergestellt aus Fichte (*Picea abies*).

Verbindungsmittel: Für die Klammerverbindung werden Klammern vom Typ Haubold KG700 K 1,53 x 50 mm verwendet.

Die Ergebnisse aus diesen Untersuchungen gelten ausschliesslich für die zuvor genannten Produkte und dürfen nicht auf andere Platten und Verbindungsmittel übertragen werden.

2.2 Klammerverbindungen

Die Vidifire A1-Holz-Klammerverbindung wird in Anlehnung an die [EN 1381, 2016] geprüft. Der Prüfkörper ist in der Abb. 1 dargestellt. Pro Prüfkörper werden insgesamt 8 Klammern K 1,53 x 50 mm eingesetzt. Vor der Herstellung wurde das Holz bis zur Massenkonstanz bei 20°C und 65 % Luftfeuchtigkeit gelagert. Die Klammern werden mittels Luftdruckpistole bündig eingetrieben. Das Holz wird parallel zur Faser belastet und die Klammerrücken werden in einem Winkel von 45° zur Faserrichtung des Holzes eingetrieben. Insgesamt wurden 50 Prüfkörper getestet.

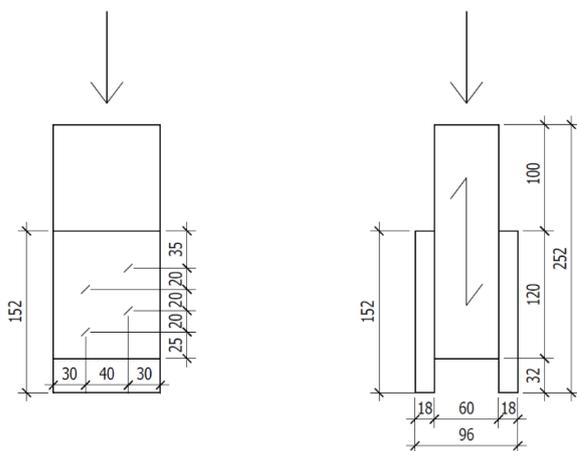


Abb. 1 Prüfkörper zur Bestimmung der Klammerverbindungseigenschaften

Die Steifigkeit der Klammerverbindung ist wie bei Klammerverbindungen in OSB/3 abhängig von der Auslastung [Oberbach, 2021]. Dies ist in Abb. 2 ersichtlich. Die Steifigkeit bei 100 % Ausnutzung des Bemessungstragwiderstands kann verwendet werden, wenn die Aussteifung nur mit Holzrahmenbauwänden mit Vidifire A1 Beplankung erfolgt. In der Abb. 3 sind die Steifigkeiten der beiden Klammerverbindungen an exemplarischen Kraft-Verschiebungskurven dargestellt.

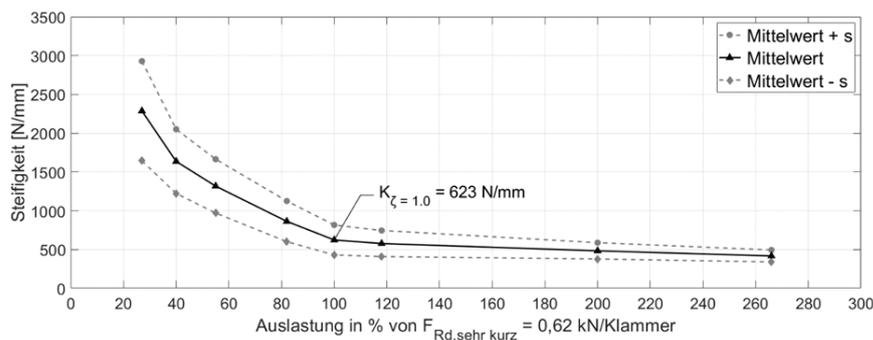


Abb. 2 Steifigkeit der Vidifire A1-Holz Verbindung pro Klammer in Abhängigkeit der Auslastung in Prozent des Tragwiderstands der Verbindung

Die Berechnung des charakteristischen Tragwiderstandes der Vidifire A1-Holz Verbindung erfolgt nach [ETA-07/0086, ETA-16/0535, EN 1995-1-1, 2014] und ergibt sich zu 0,736 kN. Dementsprechend beträgt der Tragwiderstand für sehr kurze Einwirkungen 0,62 kN sowie für kurze Einwirkungen 0,51 kN. Da der Fließbeginn bereits in diesem Bereich liegt (Abb. 3), kann der charakteristische Tragwiderstand nicht weiter erhöht werden, obwohl der Widerstand der Verbindung deutlich höher wäre.

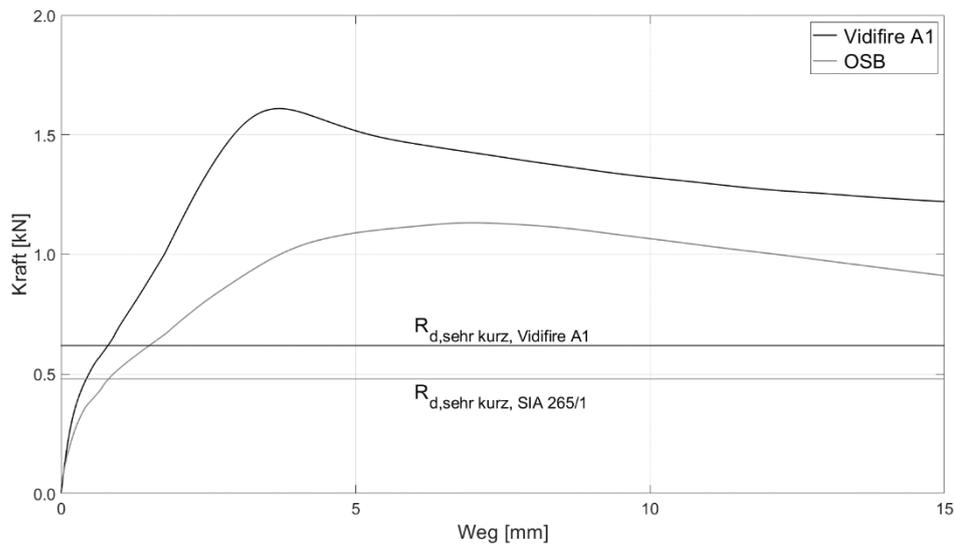


Abb. 3 Vergleich von Kraft-Verschiebungskurven von Klammerverbindungen (pro Klammer) mit OSB/3 und Vidifire A1 Beplankungen

2.2.1 Überfestigkeitsfaktoren für die Bemessung nach dem duktilen Tragwerksverhalten

Im Falle einer Erdbebenbemessung nach dem duktilen Tragwerksverhalten mit einem Verhaltensbeiwert $q > 1,5$ ist die Klammerverbindung als duktiler Bereich auszubilden. Alle übrigen Tragwerksteile und Verbindungen des Aussteifungssystems müssen gemäss [SIA 265, 2021] § 4.6.3.1 einen ausreichend höheren Tragwiderstand aufweisen. Die im vorliegenden Fall erforderlichen Überfestigkeitsfaktoren wurden für die Randständer (GL24h) und die Beplankung (Vidifire A1) ermittelt. Die Ermittlung der Überfestigkeitsfaktoren folgt der Methodik von [Schick, 2017], wobei das stochastische Materialmodell für Brettschichtholz aus [Schilling et al., 2022] verwendet wird. Der Bemessungswiderstand der Klammerverbindung wird entsprechend der Tabelle 3 verwendet. Die Überfestigkeitsfaktoren wurden probabilistisch ermittelt. Als Sicherheitsindex β wird wie in [Schick, 2017] ein Wert von 1,75 verwendet. Die Sensitivitätsfaktoren α werden mittels First Order Reliability Method (FORM) [Hasofer und Lind, 1974; Rackwitz und Fiessler, 1978] ermittelt. Im Rahmen des Eurocode Entwurfes [prEN 1998-1-1, 2022] sind die angegebenen Überfestigkeitsfaktoren als γ_{Rd} / K_{deg} zu verstehen.

Aufgrund der sehr hohen Überfestigkeitsfaktoren eine Erdbebenbemessung nach dem duktilen Tragwerksverhalten kaum wirtschaftlich umzusetzen ist. Deshalb wird eine konventionelle Erdbebenbemessung mit einem Verhaltensbeiwert von $q = 1,5$ empfohlen.

Tabelle 1 Ermittelte Überfestigkeitsfaktoren

Bauteil	Überfestigkeitsfaktor
Randstütze GL24h	2,4
Beplankung Vidifire A1	2,4

Die Abb. 4 zeigt die Bandbreite des experimentell ermittelten Tragverhaltens der Vidifire A1-Holz Klammerverbindung. Dabei wurde der Widerstand auf den sehr kurzen Bemessungswert normalisiert.

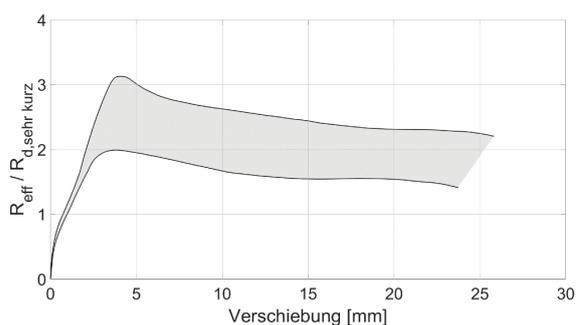


Abb. 4 Tragverhalten einer Vidifire A1-Holz-Klammerverbindung mit normalisierter Darstellung des Tragwiderstands

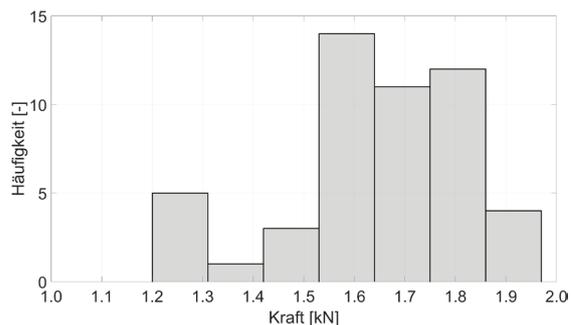


Abb. 5 Verteilung der Vidifire A1-Holz-Klammerverbindungswiderstände

2.3 Holzrahmenbau-Wände

Um das Tragverhalten von Gipsfaser-beplankten Holzrahmenbau-Wänden zu untersuchen, wurden Prüfwände unterschiedlicher Ausführung getestet. Das Hauptaugenmerk bei den Wandscheibenprüfungen nach [ISO 21581, 2010] lag insbesondere auf dem Reduktionsfaktor k_{v2} . Dafür muss in den Prüfkörpern ein Versagen in der Beplankung erfolgen. In der ersten Prüferie ist der Einfluss des Randabstands der Verklammerung auf das Tragverhalten einer Wandscheibe untersucht worden. In einer weiteren Prüferie wurden einseitig und zweiseitig beplankte Wandscheiben getestet, wobei auch der Einfluss eines vertikalen Plattenstosses untersucht worden ist. Schliesslich wurden in der letzten Prüferie einseitig und zweiseitig beplankte Wandscheiben mit optimiertem Klammerabstand getestet. Abb. 6 zeigt die unterschiedlichen Varianten der drei Prüferien.

Die Prüfkörper der Serie 1 sowie Serie 2 wurden vertikal geprüft und waren 1,29 m lang und 2,49 m hoch. Die Prüfkörper der Serie 3 wurden liegend geprüft, wie in [Manser et al., 2023]. Die Wandscheiben waren 2,49 m lang und 1,29 m hoch. Die Beplankung wies rund herum einen Versatz zum Ständerwerk von 20 mm auf.

Der Maximalkräfte aller Prüfkörper sind in der Tabelle 2 aufgeführt. Exemplarische Versagensbilder sind in der Abb. 7 zu sehen. Die weitere Auswertung und Interpretation erfolgen in den anschliessenden Abschnitten.



Nomenklatur der Wandscheibenprüfung anhand des Beispiels 1-WS21-r15-a2x30

Prüferie	Beplankung zweiseitig ohne Stoss	Randabstand 15mm	Zweireihig mit $a_v = 30\text{mm}$
1	WS21	r15	a2x30

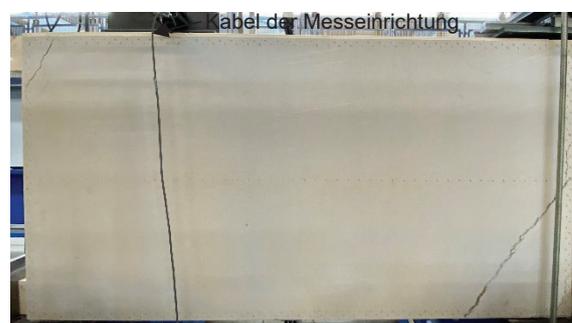
Abb. 6 Übersicht der Prüfkörpervarianten (schematische Darstellung)

Tabelle 2 Maximalkräfte der Prüfkörper bei Versagen der Beplankung (F_{max})

Prüfkörperbezeichnung	F_{max} [kN]	Prüfkörperbezeichnung	F_{max} [kN]
1-WS11-r25-a2x30-1	59,7	2-WS21-r15-a2x30-1	112
1-WS11-r25-a2x30-2	67,2	2-WS21-r15-a2x30-2	113
1-WS11-r15-a2x30-1	71,3	2-WS11-r15-a2x30-1	60,7
1-WS11-r15-a2x30-2	69,9	2-WS11-r15-a2x30-2	61,4
2-WS22-r15-a2x30-1	97,6	3-WS11-r15-a2x50-1	135
2-WS22-r15-a2x30-2	96,2	3-WS11-r15-a2x50-2	126
2-WS12-r15-a2x30-1	56,0	3-WS21-r15-a2x50-1	233
2-WS12-r15-a2x30-2	55,5	3-WS21-r15-a2x50-2	235



(a) 3-WS21-r15-a2x50



(b) 3-WS-WS11-r15-a2x50

Abb. 7 Exemplarisches Versagensbild der zweiten Serie

2.3.1 Reduktionsfaktor $k_{v,2}$

Die Methodik zur Ermittlung des Reduktionsfaktors wurde in diesem Tagungsband bereits in [Manser et al., 2023] ausführlich erläutert. Da die Untersuchungen auf einem spezifischen Produkt (Knauf Vidifire A1) als Beplankung basieren, ist der Mittelwert aus den Materialprüfungen repräsentativ für die Grundgesamtheit. Aus diesem Grund kann auf eine Auswertung mit unterschiedlicher Streuung wie in [Manser et al., 2023] im vorliegenden Fall verzichtet werden.

Für die Bestimmung des Reduktionsfaktors wird nicht wie in [DIN EN 1995-1-1/NA, 2013-08] der kleinere Wert der Schub- oder Zugfestigkeit verwendet, denn die Zusatzbeanspruchungen, welche in diesem Tagungsband bereits von [Manser et al., 2023] beschrieben wurden, sind definitionsgemäss im Reduktionsfaktor $k_{v,2}$ enthalten. Das Einsetzen der Zug- anstelle der Schubfestigkeit erscheint überflüssig, sofern adäquate Reduktionsfaktoren eingesetzt werden. Somit wird für die Bestimmung wie in [Manser et al., 2023] die Schubfestigkeit verwendet.

Die getesteten Holzrahmenbau-Wände der Serie 2 mit Stoss wiesen eine Beplankungslänge auf, welche exakt $h/4$ entspricht. Somit wurde der ungünstigste Fall untersucht. Ferner führt die Vergrößerung der Klammerabstände bei gleicher Anzahl Klammerreihen bei der Serie 3 zu einem höheren Reduktionsfaktor. Die ermittelten Reduktionsfaktoren für beidseitige Beplankungen liegen unterhalb der Werte der einseitigen Beplankung.

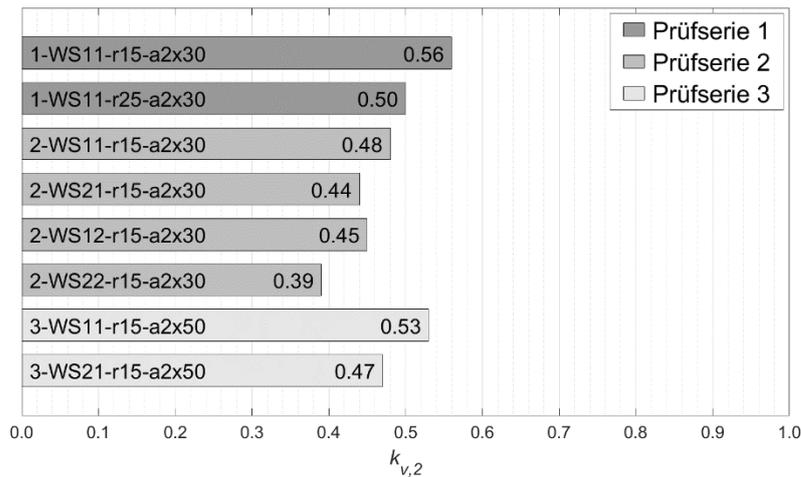


Abb. 8 Ergebnisse bezüglich Reduktionsfaktor $k_{v,2}$ für alle Prüfserien

Die Beplankung von zweiseitig beplankten Holzrahmenbau-Wänden kann als paralleles Tragsystem betrachtet werden. Erste analytische Untersuchungen an perfekt parallel tragenden Systemen wurden durch [Daniels, 1945] gemacht. Weiter wurden Simulationen für unterschiedliche Eigenschaften der Elemente des Systems und deren Abhängigkeiten durch [Gollwitzer und Rackwitz, 1988] gemacht. Bei ideal parallelen Systemen mit 2 linear elastischen Elementen hat sich gezeigt, dass der Mittelwert der Höchstkraft nur noch ca. 94% der Höchstkraft eines Elementes beträgt, wobei die Versagenswahrscheinlichkeit nicht zunimmt [Kramer, Manuskript in Vorbereitung]. Daraus folgt, dass die sinkenden $k_{v,2}$ Werte bei beidseitiger Beplankung zumindest teilweise durch das parallele Tragverhalten erklärt werden können.

Der Reduktionsfaktor nach [DIN EN1995-1-1/NA, 2013-08] für einseitig beplankte Wandscheiben von 0,33 kann aufgrund der vorliegenden experimentellen Untersuchungen bestätigt werden. Bei beidseitiger Beplankung kann der Reduktionsfaktor von 0,5 nicht bestätigt werden.

2.3.2 Resttragfähigkeit

Bei potenziell spröde versagenden Bauteilen ist die Resttragfähigkeit von besonderer Bedeutung. Die getesteten Holzrahmenbau-Wände zeigten wie geplant ein Versagen in der Beplankung. Im Anschluss an die Entstehung des Risses in der Beplankung fällt der Widerstand jedoch nur geringfügig. In der Abb. 9 ist der normierte Widerstand exemplarisch für je einen Prüfkörper der Serie 3 abgebildet. Darin ist ersichtlich, dass der Widerstand auch nach der Rissbildung in der Beplankung nicht unterhalb des Bemessungswiderstandes fällt.

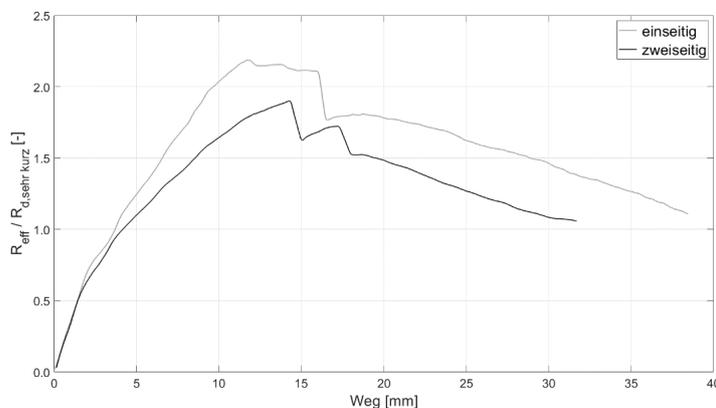


Abb. 9 Exemplarische, normierte Kraft – Verschiebungskurven der dritten Prüfserie

3 BEMESSUNGSPARAMETER

Die vorliegenden Angaben gelten ausschliesslich für die angegebenen Produkte.

3.1 Übersicht der Parameter

Tabelle 3 Bemessungsparameter für die konventionelle Erdbebenbemessung mit $q = 1,5$

Eigenschaft	Bezeichnungen	Wert
Charakteristischer Schubwiderstand der Vidifire A1 ¹	$f_{v,k}$	5,0 N/mm ²
Charakteristischer Abscherwiderstand der Klammerverbindung ²	R_k	0,736 kN
Verschiebungsmodul	K_{ser}	620 N/mm
Abstand zwischen zwei Verbindungsmitteln in Beanspruchungsrichtung	a_1	30 mm
Abstand zwischen zwei Verbindungsmittelreihen	a_2	15 mm
Randabstand der Verbindungsmittel	a_4	15 mm
Reduktionsfaktor für ein- und beidseitige Beplankung	$k_{v,2}$	0,33

¹ Gemäss Herstellerangaben entsprechend [SIA 265/1, 2018] § 6.2.10.3, die ETA ist in Vorbereitung

² Berechnung nach [ETA-07/0086, ETA-16/0535, EN 1995-1-1, 2014, DIN EN 1995-1-1/NA, 2013-08]

Der Einsatz einer speziellen, leistungsfähigen Gipsfaserplatte (Vidifire A1) mit einer Dicke von 18 mm in Kombination mit einer baustoffgerechten Nachweisführung macht es möglich, Holzrahmenbau-Wände mit zweireihiger Verklammerung zu realisieren. Damit kann der Tragwiderstand mehr als verdoppelt werden und die mit Vidifire A1 beplankten Holzrahmenbau-Wandscheiben sind in der Lage, einen wichtigen Beitrag zur erdbebengerechten Gebäudeaussteifung zu leisten.

4 DANKSAGUNG

Die Autoren bedanken sich herzlich bei der Knauf Schweiz AG für die sehr gute Zusammenarbeit.

5 REFERENZEN

- Daniels H. E. (1945) The statistical theory of the strength of materials, Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences)
- DIN EN 1995-1-1/NA:2013 Nationaler Anhang – Nationaler festgelegte Parameter – Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten– Teil 1 - 1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau, CEN, Brüssel, Belgien
- EN 1995-1-1: 2014 Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1 - 1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau, CEN, Brüssel, Belgien
- EN 1381:2016 Holzbauwerke – Prüfverfahren – Tragende Klammerverbindungen, CEN, Brüssel, Belgien, 2016
- ETA – 07/0086 (2018) KNAUF Gypsum plasterboards Vidiwall and Vidiwall HI, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin
- ETA – 16/0535 (2019) haubold-Klammern $d = 1,53 – 1,80 – 2,00$ mm als Verbindungsmittel im holzbau für lange oder ständige Belastung auf Herausziehen, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin
- Gollwitzer S., Rackwitz R. (1990) On the Reliability of Daniels Systems, Structural Safety, 7:229-243
- Hasofer A. M., Lind N. C. (1974) Exact and invariant second-moment code format. Journal of the Engineering Mechanics division, 100:111-121
- ISO 21581:2010 Timber structures – Static and cyclic lateral load test methods for shear walls, International Organization for Standardization, Geneva

- Kramer L. (2023) Verhaltensbeiwert q von nicht duktil bemessenen Holzrahmenbau Wandscheiben, Masterthesis, Berner Fachhochschule BFH-AHB, Biel, in Bearbeitung
- Manser N., Zoller N., Kramer L., Steiger R., Geiser M., Frangi A. (2023) Ergebnisse aus Versuchen an mit OSB/3 beplankten Holzrahmenbau-Wänden, S-WIN Tagung, Biel/Bienne
- Oberbach, U. (2021) Ermittlung der dynamischen Eigenschaften von mehrgeschossigen Holzrahmenbauten mittels Ausschwingversuch, Masterthesis, Berner Fachhochschule BFH-AHB, Biel
- prEN 1995-1-1:2022 Eurocode 5 – Bemessung und Konstruktion von Holzbauten, CEN, Brussels, Belgium, INF ENQ Draft. Dokument CEN/TC 250/SC 5/N 1650
- Rackwitz R., Fiessler B. (1978) Non-Normal Vector in Structural Reliability, Forschungsbericht, Technische Universität München
- Schick M. (2017) Probabilistic investigations on over-strengths of nailed timber-framed wall elements, Dissertation, Kassel, Germany (Schriftenreihe Bauwerkserhaltung und Holzbau Heft 9)
- Schilling S., Palma P., Steiger R., Frangi A. (2021) Probabilistic description of the mechanical properties of glued laminated timber made from softwood, INTER
- SIA 265:2021 Holzbau, SIA, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), Zürich, Schweiz
- SIA 265/1:2018 Holzbau – Ergänzende Festlegungen, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), Zürich, Schweiz
- SIA 265/1 – C1:2021 Holzbau – Ergänzende Festlegungen – Korrigenda C1 zur Norm SIA 265/1:2018, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), Zürich, Schweiz
- SN EN 14080: 2013 Holzbauwerke - Brettschichtholz und Balkenschichtholz - Anforderungen, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), Zürich, Schweiz