

Untersuchungen an aussteifenden Wandscheiben in Einzelement-Bauweise

1 Einleitung

Der vorliegende Beitrag behandelt die Untersuchung und Weiterentwicklung eines einfachen und ökologischen Holzbausystems in enger Zusammenarbeit mit dem Hersteller.

Im Rahmen des Kooperationsprojektes „PRO INNO II“ wird die Entwicklung innovativer Produkte in einer Partnerschaft zwischen Forschungseinrichtung und einem mittelständischem Unternehmen gefördert. Der Wunsch, die Systembauweise in Gebiete mit hoher Erdbeben- und Sturmgefährdung zu exportieren, führte im Rahmen von PRO INNO II zu einer Zusammenarbeit zwischen dem Hersteller HIB – Elemente GmbH (www.hib-system.com) und der VA SHS, Abteilung Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen.

Bedingt durch den besonderen Aufbau des Systems aus vorgefertigten Elementen wurden umfangreiche Untersuchungen zur Beurteilung des Tragverhaltens der Wände bei Beanspruchung in ihrer Ebene durchgeführt. Mit einer neu entwickelten und aufgebauten Prüfapparatur wurde das Verhalten der Wandscheiben unter horizontalen Belastungen, wie sie bei Sturm- oder Erdbebenlasten auftreten, geprüft.

Im folgenden Beitrag werden das Bausystem und die Ergebnisse der durchgeführten Versuche vorgestellt. Die Eigenschaften der Wandbauteile unter horizontalen Belastungen werden mit denen des konventionellen Holzrahmenbaus verglichen. Anhand der ermittelten Energiedissipation werden Rückschlüsse auf das Verhalten der Wände unter Erdbeben- und Sturmbelastungen gezogen.

2 Vorstellung der Einzelement-Bauweise



Bild 1: Rohbau eines Wohngebäudes aus vorgefertigten Wandelementen

Hauptmerkmal der Einzelement-Bauweise ist die Verwendung von vorgefertigten Holzbausteinen zur Errichtung von tragenden und aussteifenden Wänden. Ähnlich dem Mauerwerksbau werden die einzelnen Lagen im Läuferverband mit jeweils einer halben Steinlänge Übergreifung verlegt (Bild 1).

Die vorgefertigten Elemente bestehen im wesentlichen aus zwei parallelen Platten, in deren Mitte vertikale Stege angebracht sind (Bild 2). Das Grundelement hat die Abmessungen Länge $\ell = 1,0$ m und $h = 0,5$ m. Halbe und viertel Elemente zur Ausbildung von Zwischenlängen sind erhältlich. Je nach gewünschtem Dämmstandard sind die Elemente in Wanddicken von $b = 160$ mm, $b = 240$ mm oder $b = 300$ mm erhältlich. Die Stege im Abstand von 250 mm sind mit Schwalbenschwanznuten versehen, in welche schadstofffreie Livingboardplatten (ein der OSB – Platte ähnlicher Holzwerkstoff) beidseitig eingeschoben werden. Die Verbindung von Platte und Steg mittels Schwalbenschwanz wird durch Klammern gesichert und stellt eine einfache, effiziente und schadstofffreie Verbindung dar.

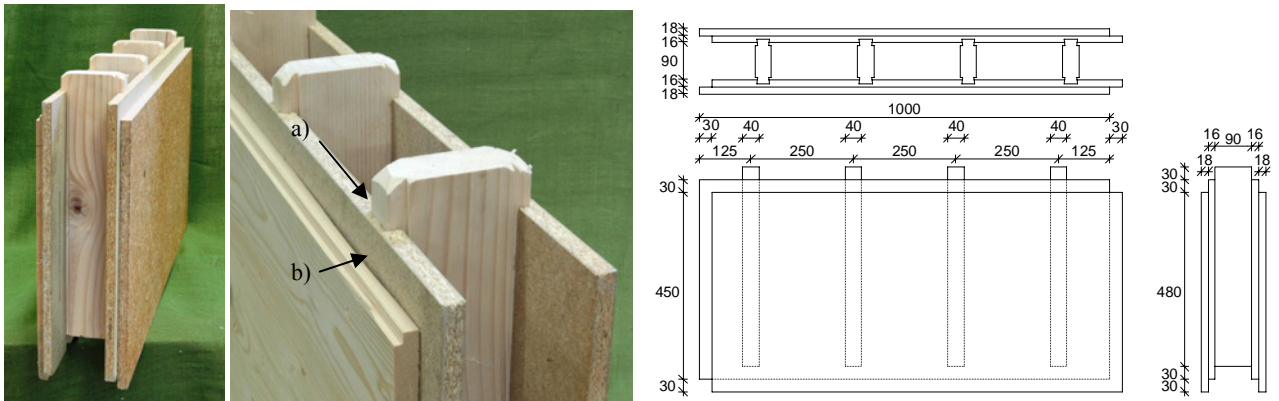


Bild 2: (links) Vorgefertigter Wandbaustein, (mitte) a) Detail überstehende Stege und b) Versatz der Beplankungslagen (rechts) Maße eines Grundelementes der Wanddicke 160 mm.

Die im Element angebrachten Stege stehen nach oben um 30 mm über das Element hinaus und sind an der Elementunterseite entsprechend zurückversetzt. Wie bei einem Baukastensystem können durch die schwalbenschwanzförmigen Überstände die einzelnen Elemente sehr einfach aufeinander gesteckt werden. Die Überstände greifen in die entsprechenden Verkürzungen ein, wodurch bereits ein erster Verbund in der Fuge zwischen den Elementen entsteht. Auf der späteren Innenseite des Gebäudes ist eine zweite Livingboardplatte mit einem Versatz von 30 mm aufgebracht. Eine um 30 mm versetzte Bretterlage ist auf der späteren Außenseite des Gebäudes angebracht, an der z.B. die Unterkonstruktion für die Fassade angeschlossen werden kann. Die äußeren Beplankungslagen greifen beim Verlegen der Elemente ebenfalls ineinander. Nach Abschluss der Rohbauarbeiten, wenn durch die Vertikallast aus gedecktem Dach die Elementfugen sicher geschlossen sind, werden in die überlappenden Livingboardplatten auf der späteren Innenseite des Gebäudes Klammern im Abstand von 50 mm eingetrieben. Bild 2 zeigt ein Grundelement und das Detail der überstehenden Stege, in Bild 3 ist die Position der Klammern zu erkennen.



Bild 3: Details der Einzelement-Bauweise: (links) Einbinder bzw. Rähm als oberer Wandabschluss auf oberem Element mit Schrauben befestigt, (mitte) Grundelemente, Überlappung mit Klammern verbunden, (rechts) Schwelle aus Douglasie, Formteil aus Nadelholz zur Befestigung der unteren Elementlage.

Für den unteren und oberen Abschluss der Wände sind Schwellen bzw. Einbinder im System enthalten (Bild 3). In einem maximalen Abstand von 3,0 m sind in jede Wand zusätzlich vertikale Stiele („Zugstützen“) einzubringen. Die Zugstützen sorgen für zusätzliche Biegesteifigkeit der Wand bei Lasten, die rechtwinklig auf die Wandoberfläche wirken. Sie leiten ebenso die abhebenden Kräfte, die in der Wandebene wirken, in das Fundament weiter.

Die Wärmedämmung wird nach dem Aufstellen der Wand von oben in die Zwischenräume eingebracht. Auf den Elementen ist bereits eine diffusionsoffene Folie aufgebracht (in Bild 1 grün zu erkennen). Diese wird durch ein umlaufendes Schaumstoffband an die benachbarten Elemente gepresst, um die Winddichtigkeit des Gebäudes zu erreichen.

Durch den hohen Vorfertigungsgrad und die einfache Montage der Elemente wird eine schnelle und damit wirtschaftliche Bauausführung erreicht, bei der die Bauherren einen großen Anteil Eigenleistung erbringen können. Das maximale Gewicht eines Elementes entspricht ca. 25 kg, durch „Anpacken“ können bereits in der Rohbauphase durch diese „Muskelhypothek“ Baukosten eingespart werden.

Eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für die Verwendung des Systems bei bis zu dreigeschossigen Wohngebäuden und vergleichbar genutzten Gebäuden wurde im September 2007 erteilt.

3 Verhalten von Holzbauten unter Erdbeben- und Sturmlasten

Ein grundsätzlicher Vorteil von Holzhäusern unter Erdbebenbelastung liegt im geringen Gewicht des Werkstoffes Holz. Die sog. „seismische Masse“, welche bei einem Erdbeben zur Bewegung angeregt wird, ist niedrig. Weiterhin wird im Holzbau eine Vielzahl mechanischer Verbindungsmittel eingesetzt, deren Verhalten im Zusammenspiel mit den Eigenschaften von Holz und Holzwerkstoffen viele positive Aspekte zeigt.

Holzbauwerke in erdbebengefährdeten Gebieten müssen in der Lage sein, Beanspruchungen mit wechselnden Richtungen zu ertragen. Um vergleichbare Versuchsergebnisse zu erhalten, haben sich bei der Prüfung von Anschlüssen mit mechanischen Verbindungsmitteln Verfahren mit zyklischer Lastaufbringung bewährt. Hierbei werden Belastungen mit wechselnden Richtungen aufgebracht. Die Verfahren der zyklischen Lastaufbringung dienen der Vereinfachung des komplexen Belastungsmusters realer Beanspruchungen aus Erdbebenlasten. Die vergleichsweise langsamen Prüfgeschwindigkeiten der zyklischen Lastaufbringung wurden gewählt, um Einflüsse aus Trägheitskräften auszuschließen. Die Untersuchungen sollen mit üblichen Prüfmaschinen durchgeführt werden können, die Ergebnisse auf einen einfachen, vergleichbaren Nenner gebracht werden.

Während bei kleineren Verschiebungen sowohl der Baustoff Holz als auch die Verbindungsmittel sich linear – elastisch verhalten, stellen sich bei größeren Verschiebungen plastische Verformungen im Holz und in den Verbindungsmitteln ein. Dieses plastische Verhalten wird auch als „Zähigkeit“ oder „Duktilität“ bezeichnet. Duktilität ist die Eigenschaft eines Werkstoffes, vor seinem Versagen bleibende Verformungen ertragen zu können. Das Versagen eines duktilen Bauteils erfolgt nicht plötzlich, sondern langsam und unter „Ankündigung“ (große Verformungen). Holzbauteile können durch das Zusammenwirken von Werkstoff und mechanischen Verbindungsmitteln sehr duktil ausgelegt werden.

Bei der Verschiebung einer Verbindung über die Elastizitätsgrenze hinaus wird das Holz unter dem Verbindungsmittel plastisch verformt, ebenso erreicht das Verbindungsmittel sein Fließmoment und wird ebenfalls verformt.

Durch die entstehende Verformung, weiterhin durch Reibung und Abgabe von Wärmeenergie wird in der Verbindung Energie vernichtet. Vergleichbar ist die Verformung der Knautschzone eines Fahrzeuges bei einem Unfall. Diese vernichtet („dissipiert“) einen Teil der Bewegungsenergie beim Aufprall und schützt so die Fahrgäste.

Die Energie, die in einer gesamten Wand vernichtet werden kann, setzt sich im wesentlichen aus der Energiedissipation der einzelnen stiftförmigen Verbindungsmittel zusammen. Hinzu kommen Reibungseinflüsse, z.B. Reibung der Beplankung auf den Stielen oder Reibung der Füllung in den Wänden. Um das Verhalten von verschiedenen Bauweisen bei der Erdbebenbemessung berücksichtigen zu können, werden diese in Duktilitätsklassen eingeordnet.

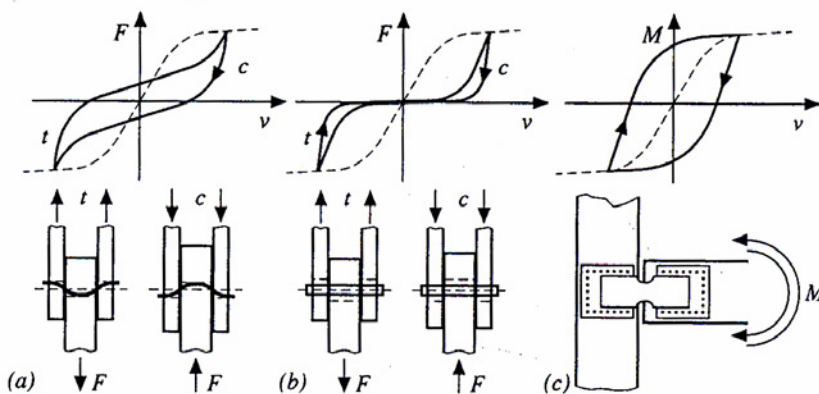


Bild 4: Verbindungen unter zyklischer Last: a) dünner Stabdübel, b) gedrungener Stabdübel, c) Stahlblech - Holz [1]

Bei der Prüfung von Holzverbindungen unter wiederholten Belastungen nimmt die Last-Verschiebungskurve einen typischen Verlauf an. Form und Inhalt der durch die Kurve („Hysteresekurve“) eingeschlossenen Fläche geben Auskunft über die während des Vorganges dissipierte Energie.

Anhand der einfachen Stabdübel- bzw. Stahlblechverbindungen in Bild 4 können einige wesentliche Eigenschaften von Holzverbindungen unter wiederholten Belastungen aus wechselnden Richtungen gezeigt werden. Die plastische Verformbarkeit des Verbindungsmittels beeinflusst die Form und den Flächeninhalt der Hysteresekurve wesentlich. Schlanke Verbindungsmittel, wie in

Bild 4 (a) zu sehen, sind leicht verformbar und können bei wiederholter Belastung Energie dissipieren. Gedrungene Verbindungsmittel, wie in Bild 4 (b), werden unter zyklischen Belastungen nur wenig oder gar nicht verformt, die Energiedissipation ist daher gering. Bild 4 (c) zeigt nahezu ideal- plastisches Verhalten eines Stahlbleches in einer Verbindung zur Übertragung eines Moments.

4 Versuche an Wänden in Einzelement-Bauweise

4.1 Wandprüfstand an der Universität Karlsruhe

Zur Erfassung der Eigenschaften von Bauteilen ist die Durchführung von Belastungsversuchen unerlässlich. Bei der Prüfung von aussteifenden Wänden werden Versuche an ganzen Wänden oder an Teilabschnitten von Wänden durchgeführt. Hierbei greift die Last in Wandlängsrichtung an der Oberkante der Wand, der späteren Lage der Geschossdecke an.

Sollen die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften der Wand ermittelt werden, so werden Versuche mit einseitig - monotoner Lastaufbringung durchgeführt. Bei diesen Versuchen wird die Last nach anfänglichen Vorbelastungen letztlich bis zum Versagen der Wand gesteigert. Die einfache Durchführung der Laststeigerung führte zur englischen Bezeichnung „Push – Over - Test“.

Soll für Erdbebenlasten z.B. die Energiedissipation untersucht werden, werden Versuche mit wiederholt zyklischer Lastaufbringung durchgeführt.

Die „richtige“ Art der Versuchsdurchführung an aussteifenden Wänden ist immer wieder Gegenstand von Diskussionen. Es sollte darauf geachtet werden, dass ähnliche Bedingungen, wie Sie im realen Bauwerk anzutreffen sind, geprüft werden. Diese sog. „Randbedingungen“ können die Versuchsergebnisse wesentlich beeinflussen. Daher sollten Auflasten nur in einer Größenordnung, wie Sie für die Bauweise zu erwarten sind, aufgebracht werden. Zur Bodenbefestigung der Wand sollten handelsübliche Befestigungsmittel verwendet werden, deren Traglasten den in der Praxis verwendeten Befestigungsmitteln entsprechen. Für die Versuchsdurchführung bedeutet diese Lagerungsart die konservative Annahme: Es werden sich geringere Festigkeits- und Steifigkeitswerte ergeben, als z.B. bei der Einspannung der Wand.

Zu hohe Auflasten oder ein Einspannen der Wand im Prüfraumen kann zur signifikanten Überschätzung der Traglast einer Wand führen. Bei vielen Prüfvorrichtungen ist es nicht möglich, große Belastungen oder große Verformungen aufzubringen, ohne dass sich die Randbedingungen der Prüfung, z.B. durch Verkanten der Wand ändern.

Der Vollständigkeit halber soll erwähnt werden, dass in manchen Fällen bewusst Prüfbedingungen erzeugt werden, die in der Realität nicht vorkommen, z.B. um einen bestimmten Versagensmechanismus bei einem Wandbauteil zu erzwingen.

Umfangreiche Untersuchungen führten in [2] zur Empfehlung, leichte Holzbauwerke mit beweglicher Auflast zu prüfen.

Stellt man sich ein einstöckiges Holzbauwerk vor, so belastet eine vergleichsweise leichte Dachkonstruktion die Wände. Bei einer Erdbebeneinwirkung wird die geringe Auflast aus dieser Dachkonstruktion nicht in der Lage sein, die Rotationsbewegung der Wand zu unterdrücken. Rotationsbewegungen der Wand führen jedoch zu einer schnellen Schädigung der Wand und setzen somit deren Traglast herab.

Grundlage für die Verwendung und für den Export neuartiger Materialien in erdbebengefährdete Gebiete ist die Durchführung von entsprechenden Versuchen durch geeignete Institutionen. Der Wunsch nach dem Einsatz verschiedener moderner Materialien für aussteifende Zwecke wird voraussichtlich zu weiteren interessanten Forschungsprojekten und Materialprüfungen führen. Um die gesteigerte Nachfrage in diesem Bereich abdecken zu können, stand zu Beginn des Projektes die Entwicklung und der Aufbau einer geeigneten Prüfapparatur für Wandscheiben. Diese sollte flexibel hinsichtlich der Abmessungen der Prüfkörper sein, problemlos in das Prüflabor integriert werden können, sowie die vorher beschriebenen, realitätsnahen Randbedingungen aufbringen können.

Große Verformungen, um duktile Bauweisen wie die beschriebene Einzelement-Bauweise prüfen zu können, sollen ebenso aufgebracht werden können, wie große Kräfte. Z.B. können Vollholzbauweisen bauartbedingt enorme Lasten in ihrer Ebene aufnehmen, auch diese sollen bis zu ihrem Versagen geprüft werden können.

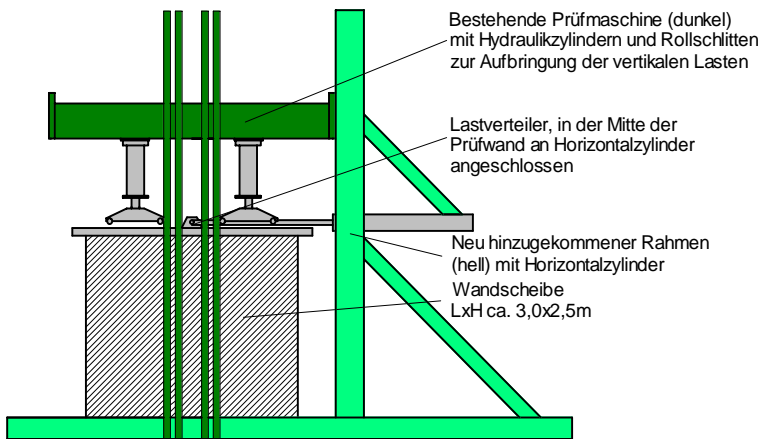


Bild 5: Prüfapparatur an der Universität Karlsruhe

Die Entscheidung fiel für einen 400 kN Hydraulikzylinder mit einem Fahrweg von ± 300 mm, der genügend Kraftreserven bietet, um auch massive Bauweisen zu prüfen. Die moderne Steuerungs- und Regelungstechnik ermöglicht ebenso präzise Versuche in kleineren Kraft- und Wegbereichen, um z.B. Untersuchungen mit aussteifenden Beplankungen aus Holzfaserdämmstoffen, Gipskarton- oder Gipsfaserplatten durchführen zu können.

Bild 5 zeigt den Aufbau des Wandscheibenprüfstandes. Es wird auf eine bereits bestehende Universalprüfmaschine zurückgegriffen, die die benötigte Höhe aufweist und die beschriebenen Auflasten durch die Kraft- bzw. Wegsteuerung der Vertikalzylinder erzeugen kann. Die vertikalen Zylinder ermöglichen unter Kraftsteuerung problemlos eine leichte Rotationsbewegung der Wand bei konstanter Auflast. Die gewünschten Versuchsbedingungen für im Holzbau vorkommende Lagerungsarten können ohne Probleme erzeugt werden. Angebaut wurde ein Stahlrahmen, der den Horizontalzylinder trägt. Die Konstruktion ist erweiterbar für Wandprüfungen bis zu 4 m Höhe und 6 m Länge. Die Kräfte aus dem Horizontalzylinder werden über einen Lastverteiler in der Mitte der Prüfwand eingeleitet, um eine Rotation des Versuchskörpers, wie oben beschrieben, zu ermöglichen. Der Prüfzylinder bleibt hierbei nahezu horizontal.

4.2 Versuche mit monotoner Lastaufbringung an Wänden in Einzelement-Bauweise

Versuche mit monotoner Lastaufbringung dienen zur Ermittlung von Steifigkeitskennwerten und der aufnehmbaren Höchstlast der Wände. Weiterhin werden die Verschiebungslaststufen für die spätere Durchführung von zyklischen Versuchen ermittelt.

Der Versuchsaufbau kann Bild 6 entnommen werden. Sowohl die Versuche mit monotoner als auch mit zyklischer Lastaufbringung wurden an einheitlichen Versuchswänden mit 3 m Länge und 2,57 m Höhe durchgeführt. Die Schwelle wurde mit zwei Fundamentdübeln $d = 12$ mm am Prüfraumen befestigt und es wurden fünf Elementlagen verlegt. An beiden Seiten der Wand wurden Zugstützen angebracht. Der Lastverteiler wurde mit bis zu 80 schräg eingedrehten Schrauben am Einbinder befestigt, um eine kontinuierliche und verschiebungsfreie Lasteinleitung zu gewährleisten. Alle Versuche wurden mit der Wanddicke 160 mm durchgeführt. In Abschnitt 4.3 werden zwei Versuche mit kiesgefüllten Wänden beschrieben. Außer in diesen Versuchen wurden keine Dämmstoffe oder Füllungen in den Wänden verwendet.

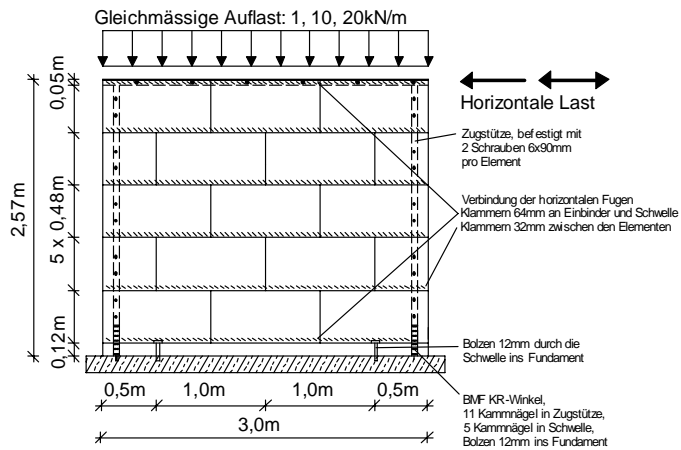


Bild 6: Prüfwand in Einzelement-Bauweise

Jede Versuchsreihe wurde mit Auflasten von 1 kN/m (geringe Auflast), 10 kN/m (gewöhnliche Auflast) sowie 20 kN/m (hohe Auflast) durchgeführt, um den Traglastzuwachs unter hohen Auflasten erfassen zu können. Hohe Auflasten beeinflussen das Verhalten der Wände positiv, da die abhebenden Kräfte geringer werden.

Da die Beplankung der Wand nicht durchgängig ist, sondern sich in mehrere Abschnitte aufteilt, sollten die Fugenbereiche zwischen den Elementen genau untersucht werden.

Das Versagen trat vornehmlich durch das Zugversagen der Fugen zwischen den Elementen auf. Hierbei wurden die Klammern aus der Livingboardplatte herausgezogen, wobei sich das Versagen teilweise treppenförmig ausbildete (Bild 7 links), oder das Versagen konzentriert in einer Fuge auftrat (Bild 7 rechts).



Bild 7: Prüfwände nach dem Versuch mit monotoner Belastung

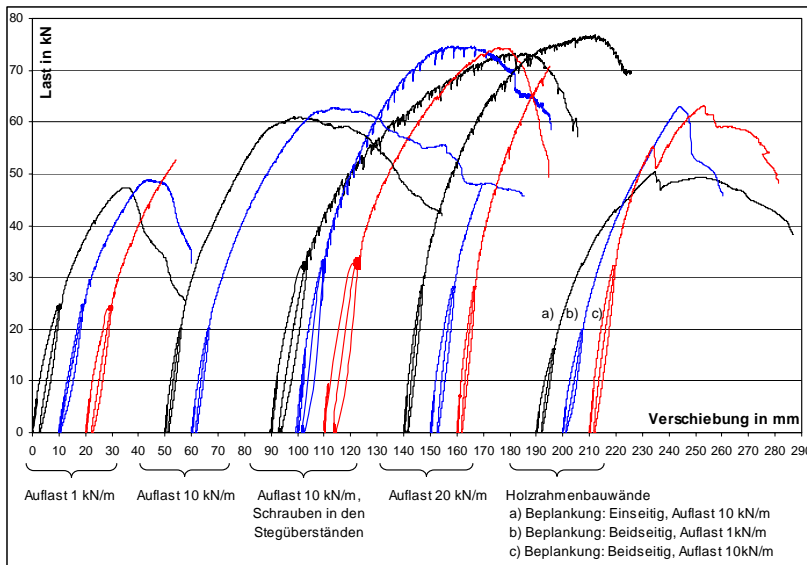


Bild 8: Ergebnisse der Versuche mit monotoner Lastaufbringung

Bild 8 zeigt die Ergebnisse der Versuche mit monotoner Lastaufbringung. Deutlich zu erkennen ist der positive Einfluss gesteigerter Auflasten auf die erreichten Horizontallasten. Während sich die erreichte maximale horizontale Last bei einer Auflast von 1 kN/m in der Größenordnung von 50 kN bewegt, steigt diese bei einer Auflast von 10 kN auf ca. 60 kN an. Diese Horizontallast von 60 kN kann bei gleicher Auflast auf ca. 75 kN gesteigert werden, wenn zusätzlich Schrauben in den Stegüberständen eingebracht werden. Weiterhin steigen auch die aufnehmbaren Verformungen bei Auflasten von 10 kN/m gegenüber einer Auflast von 1 kN/m an. Eine Steigerung der Auflast auf 20 kN/m hat nochmals eine Steigerung der aufnehmbaren Horizontallast zur Folge, jedoch ändert sich durch die hohe Auflast der Versagensmechanismus der Wand hin zu einem Schubversagen. Das Versagen erfolgte lediglich in einem Fall noch „gutnützig“, in zwei Fällen jedoch nicht mehr duktil. In Bild 8 sind an den Positionen 190, 200 und 210 mm die Ergebnisse von vergleichenden Versuchen mit Holzrahmenbauwänden angegeben. Auf diese Versuche wird in Abschnitt 4.4 eingegangen.

4.3 Versuche mit zyklischer Lastaufbringung an Wänden in Einzelement-Bauweise

Wie in Abschnitt 3 bereits erläutert, werden Bauwerke zur Beschreibung ihres Erdbebenverhaltens in Duktilitätsklassen eingeordnet. Wesentliches Ziel der Untersuchungen ist die Einordnung des Systems in die Duktilitätsklasse 3, um hieraus den Verhaltensfaktor $q = 4$ erhalten zu können.

DIN 4149 ordnet bezüglich der erforderlichen hysteretischen Dissipationsfähigkeit Tragwerke in die Duktilitätsklasse 3 ein, „die viele dissipative Bereiche mit stiftförmigen Verbindungsmitteln besitzen...“, wobei „Holztafelbauten, bei denen der Anschluss Beplankung – Rippen und der Anschluss der einzelnen Tafeln untereinander ausschließlich mit mechanischen Verbindungsmitteln erfolgt“ zu diesen Tragwerken gezählt werden können. Die Einzelement-Bauweise ist zwar keine Holztafelbauweise, jedoch sind bei der Wand in Einzelement-Bauweise mehrere Teilbereiche zur Energiedissipation geeignet. Der Überstand der Stege greift in das nächste Element ein, dort kann eine plastische Verformung des Holzes stattfinden. In den Lagerfugen sind im Abstand von 5 cm Klammern eingebracht, die aufgrund ihrer Schlankheit und Verformbarkeit sowie ihrer großen Anzahl den maßgeblichen Beitrag zur Energiedissipation leisten. Der Kontakt der Beplankungen zwischen den einzelnen Elementen bedingt Dissipation durch Reibung, welche z.B. durch das Einbringen einer Kiesfüllung in den Wänden (wie später beschrieben wird) noch gesteigert werden.

Die beschriebenen Eigenschaften sind viel versprechend für das Verhalten unter zyklischen Belastungen, die vielen dissipativen Bereiche ließen bereits im Vorfeld der Untersuchungen gute Ergebnisse erwarten.

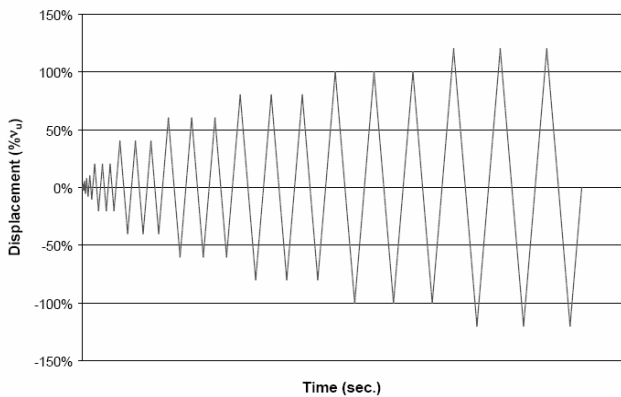


Bild 9: Verfahren der zyklischen Lastaufbringung [3]

Bild 9 zeigt das Verfahren der zyklischen Lastaufbringung. Ausgehend von den vorab durchgeführten Versuchen mit monotoner Belastung wird eine sog. Fließverschiebung v_u für den Prüfkörper festgelegt. Die Fließverschiebung kann z.B. die Verschiebung beim Versagen der Wand sein. Anhand dieses Wertes, z.B. $v_u = 100$ mm, werden prozentuale Anteile der Verschiebung $v = 1,25\%$ von v_u , $v = 2,5\%$ von v_u , $v = 5\%$ von v_u , usw. berechnet und diese Verschiebungswerte angefahren. Ab einer Verschiebung von $v = 20\%$ von v_u werden die Verschiebungswerte jeweils drei mal angefahren, um die Festigkeitsminderung bei wiederholter Belastung beurteilen zu können. Die Energiedissipation in einer Verbindung wird aufgrund der Vorschädigung im ersten Durchlauf eine andere sein als im zweiten und dritten Durchlauf.

Es stellt sich die Frage, wie die Energiedissipation ausgewertet und beurteilt werden kann. In dem für die Versuche verwendeten Vorentwurf zur Internationalen Norm ISO/CD 21581 ist (noch) kein Verfahren zur Bestimmung der Energiedissipation angegeben. Ein einfaches und gebräuchliches Verfahren ist in EN 12512 mit der Bestimmung des sog. äquivalenten hysteretischen Dämpfungsmaßes gegeben, siehe Bild 10. Bei der Bestimmung dieser Kenngröße der Energiedissipation wird die im System befindliche potentielle Energie der Energiedissipation beim Durchlauf eines halben Schleifenzyklus (multipliziert mit 2π) gegenübergestellt. Für gebräuchliche Holzbauweisen liegen die Werte von v_{ed} im Bereich von 8% - 10%.

Tabelle 1: Energiedissipation ausgewählter Versuche

Versuch	System	Auflast	Bemerkung	Äquivalentes hysteretisches Dämpfungsmaß 1. Schleifendurchlauf	Äquivalentes hysteretisches Dämpfungsmaß 2. und 3. Schleifendurchlauf
1	Einzelement-Bauweise	1 kN/m		10,9 – 11,0 %	8,6 – 9,5%
2	Einzelement-Bauweise	10 kN/m		13,9 – 15,7%	14,1 – 14,8%
3	Einzelement-Bauweise	20 kN/m		12,5 – 15,3%	12,9 – 17,5%
4	Einzelement-Bauweise	10 kN/m	Kiesfüllung	22,4 – 32,2%	29,6 – 33,8%
5	Holzrahmenbau	10 kN/m		10,9 – 12,9%	7,5 – 9,2%

In Tabelle 1 ist die Energiedissipation bei 100% der im monotonen Versuch ermittelten Maximalverschiebung angegeben.

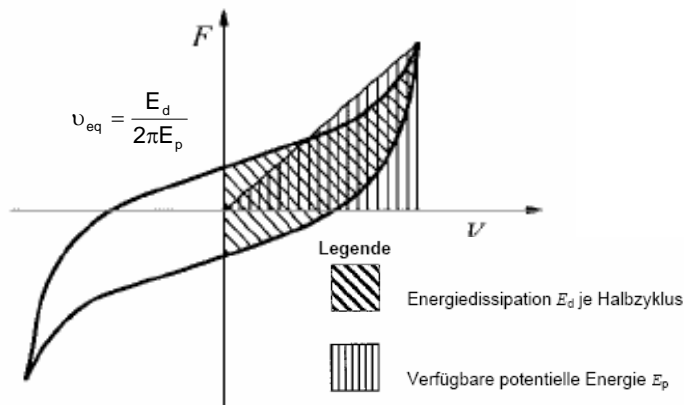


Bild 10: Definition des äquivalenten hysteretischen Dämpfungsmaßes v_{eq} nach DIN EN 12512



Bild 11: Versuchswände nach zyklischer Belastung

Im Vergleich zu den Versuchen ohne Auflast zeigten die Versuche mit Auflast 10 kN/m und 20 kN/m erwartungsgemäß höhere Maximallasten und bessere Energiedissipationseigenschaften. Dies kann an den Schaubildern der Versuche abgelesen werden: „Bauchigere“ Kurven schließen eine größere Fläche ein und dissipieren somit mehr Energie. Bild 11 (rechts) zeigt einen Versuchskörper mit 20 kN/m Auflast nach dem Versuch. Die erste Elementfuge zeigt große Verschiebungen, die durch die hohe Auflast aktivierte Reibung führt zu den Unebenheiten in der Versuchskurve: Die entstehenden Spannungen entladen sich ruckartig. Zwei Versuche untersuchten den Einfluss einer Kiesfüllung in den Wänden. Aus bauphysikalischen Gründen wird eine Befüllung der Wände mit gewaschenem Flusskies in der Systembauweise bereits bei Innenwänden eingesetzt. Die Kiesmasse kann Temperaturschwankungen abfedern und trägt so zur Regulierung des Wärmehaushaltes und darüber hinaus zum Schallschutz bei. Werden Außenwände mit Kies befüllt, wirkt sich der Kies bei hohen Windlasten positiv auf die zu verankernden Kräfte aus. Weiterhin stellt die Füllung bei Tornados einen Schutz gegen das Durchschlagen der Wand durch umher fliegende Teile dar. Durch die Reibung der Kieselsteine bei horizontaler Belastung kann ein weiterer Mechanismus zur Energiedissipation aktiviert werden. Wie in Bild 12 und in Tabelle 1 gezeigt, ist die hysteretische Dämpfung bei gleicher Auflast im Vergleich zur Wand ohne Kiesfüllung exzellent. Es muss jedoch hinzugefügt werden, dass die aufnehmbaren Maximallasten und Verschiebungen sinken, da Kieselsteine in die geöffneten Fugen hineinrieseln und diese dann blockieren.

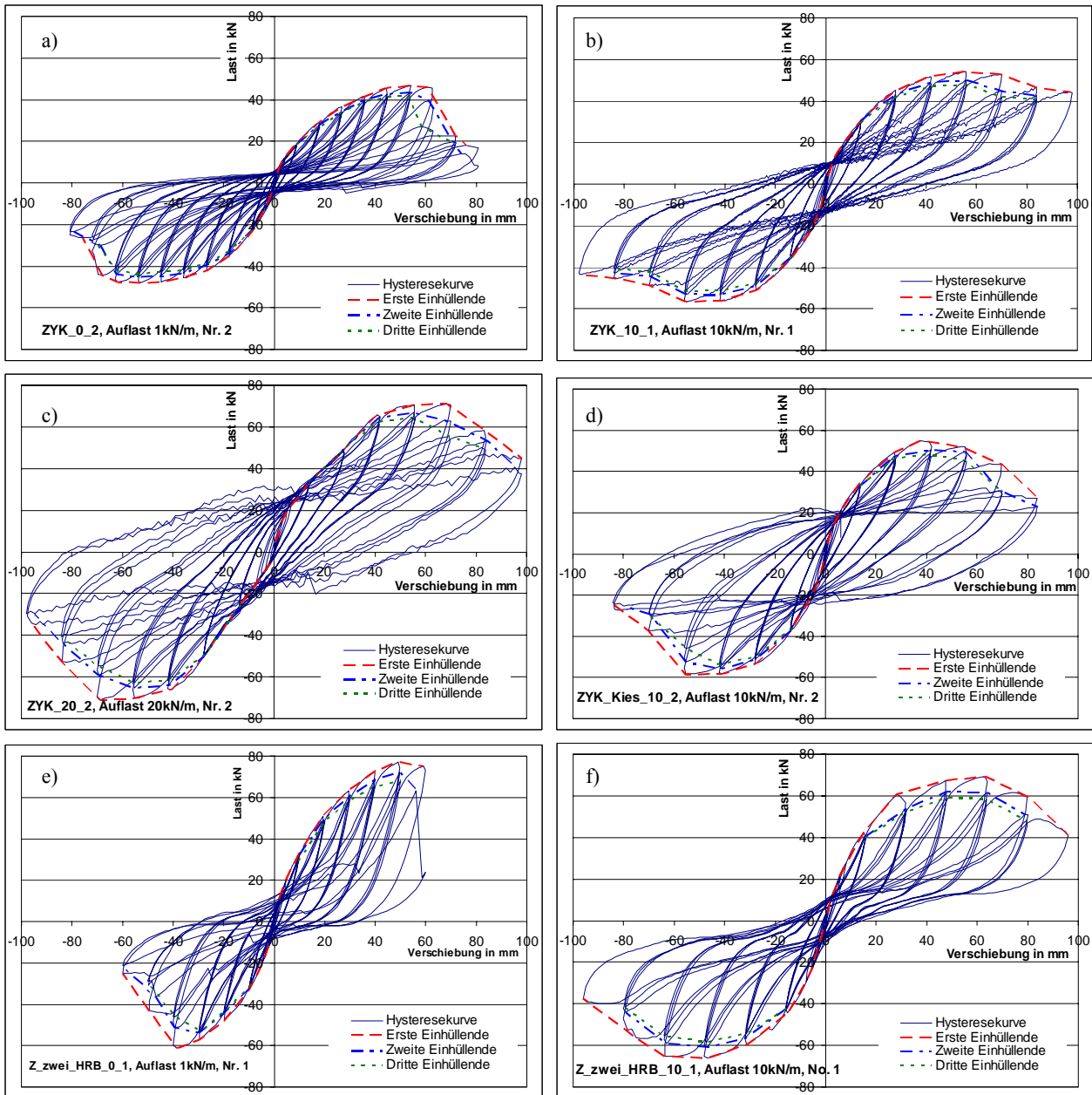


Bild 12: Hysteresekurven einiger untersuchter Wände

4.4 Vergleichsversuche mit Holzrahmenbauwänden

Um die Eigenschaften der Einzelement-Bauweise mit denen konventioneller Holzbauweisen vergleichen zu können, wurden 6 Versuche mit Holzrahmenbauwänden durchgeführt. Drei verschiedene Konfigurationen wurden in je einem monotonen und einem zyklischen Versuch geprüft.

Die Wände hatten die gleiche Höhe wie die Systemwände, wurden jedoch aufgrund der Standardgröße der Beplankung auf eine Länge von 2,5 m verkürzt. So konnten zwei Beplankungsplatten mit nur einem Stoß in der Mitte verwendet werden. Bild 13 zeigt den Aufbau der geprüften Holzrahmenbauwände.

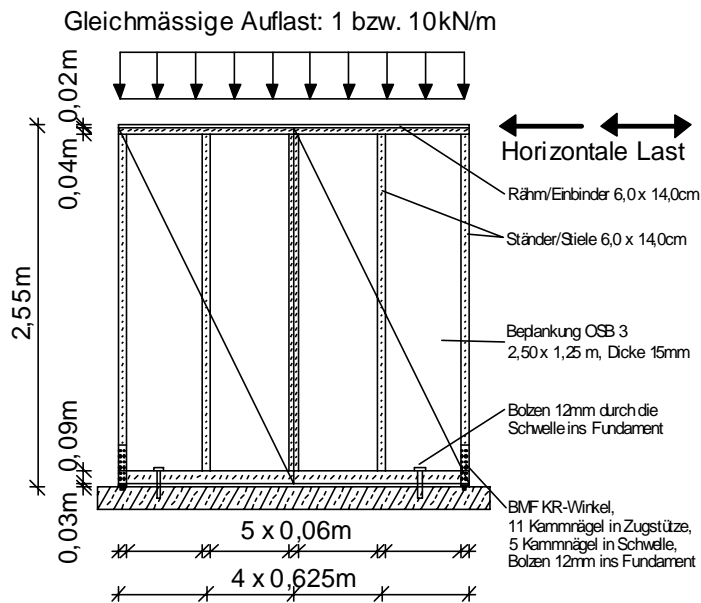


Bild 13: Geprüfte Holzrahmenbauwände

Nur auf der späteren Gebäudeinnenseite sind die Livingboardplatten der Systemwände durch Klammern verbunden, nur auf dieser Seite kann daher von einer „durchgehenden“ Beplankung gesprochen werden. Die beiden ersten Vergleichsversuche wurden daher mit einseitig beplankten Holzrahmenbauwänden durchgeführt. Die folgenden vier Versuche wurden mit beidseitig beplankten Wänden durchgeführt.

Zu Vergleichszwecken sind die Ergebnisse der Versuche bereits in Bild 8 eingetragen. An Position 190 mm ist das Schaubild der einseitig beplankten Wand eingetragen. Die Maximallast beträgt ca. 50 kN, bevor das Zugversagen der Beplankung eine weitere Laststeigerung verhinderte.

Die beiden Versuche mit beidseitig beplankten Holzrahmenbauwänden sind an den Pos. 200 bzw. 210 mm eingetragen. Die bei diesen Versuchen erreichten Höchstlasten unterscheiden sich nur geringfügig. Das Versagen trat in beiden Fällen wiederum durch den Abriss der OSB-Platte ein. Die Maximallast für den Versuch mit Auflast 10 kN/m entsprach derjenigen für die Systembauweise. Die Energiedissipation der Holzrahmenbauwände verglichen mit der Systembauweise ist beim wiederholten Durchlauf der einzelnen Schleifen geringer. Obwohl vorgeschädigt, kann die Einzelement-Bauweise noch vergleichsweise viel Energie dissipieren, während die Holzrahmenbauweise durch den Abriss der OSB – Platte so stark vorgeschädigt ist, dass die Energiedissipation stark nachlässt.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Entwicklung und Verbesserung eines innovativen Holzbaukonzeptes wurde am Beispiel einer Elementbauweise vorgestellt. Im Kooperationsprojekt zwischen mittelständischem Unternehmen und Forschungseinrichtung wird ein Produkt für außergewöhnliche Einwirkungen durch Bauteilversuche geprüft und in enger Zusammenarbeit mit dem Hersteller verbessert. Marktchancen in Ländern, in denen solche Belastungen häufig auftreten, lassen sich durch diese vorab durchgeführten Untersuchungen schneller ergreifen.

Alle Versuche wurden nach ISO/CD 21581 durchgeführt. Dieser innovative Normentwurf stellt erstmals einheitliche Prüfbedingungen für Wände in Holzbauweise unter statischer und zyklischer Belastung vor. Bisherige Normen befassten sich lediglich mit statisch – monotoner Belastung von Wandscheiben oder mit der zyklischen Prüfung von einzelnen Verbindungen. Die Entscheidung über das „richtige“ Vorgehen bei der Prüfung von Wandscheiben lag bisher beim jeweiligen Prüfer. ISO/CD 21581 stellt daher einen wichtigen Schritt in Richtung einer international anerkannten Prüfnorm für Wandscheiben in Holzbauweise dar. Die Anwendbarkeit des Normentwurfs auf außergewöhnliche Systeme wurde im Rahmen der Untersuchungen bestätigt. Die

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine wird die Weiterentwicklung dieser Prüfnorm unterstützen und ihre Erfahrungen einbringen.

Die Einzelement-Bauweise kann hinsichtlich ihrer Eigenschaften für aussteifende Wände in den Bereich des konventionellen Holzrahmenbaus eingeordnet werden. Sowohl die erreichten Höchstlasten als auch die Verschiebungen bewegen sich im Bereich derjenigen, die bei Vergleichsversuchen gemessen werden konnten.

Die Energiedissipationseigenschaften der Einzelement-Bauweise sind exzellent. Durch die vielen dissipativen Bereiche ist die Einordnung der Bauweise in die Duktilitätsklasse 3 angebracht. Die positiven Eigenschaften machen den Einsatz Regionen, die durch hohe Windlasten und Erdbeben gefährdet sind, möglich. Die Systembauweise kann die gleichen Einsatzzwecke wie die Holzrahmenbauweise erfüllen, ist dabei jedoch sehr einfach im Aufbau und daher kostengünstig.

Weitere Forschungsarbeit liegt in der Entwicklung eines numerischen Modells zur Beschreibung des Verhaltens der Wände bei den geprüften Belastungen. Mit dem Rechenmodell ist die Berechnung anderer Geometrien, z.B. mit Öffnungen in den Wänden möglich. Im Anschluss soll ein praxisgerechter Bemessungsvorschlag für die Bauweise erfolgen.

6 Literatur

- [1] Ceccotti, A. (1995): Holzverbindungen unter Erdbebenbeanspruchungen. Holzbauwerke STEP 1 – Bemessung und Baustoffe. Hrsg.: Blaß, H.J., Görlacher, R., Steck, G., Fachverlag Holz, Düsseldorf.
- [2] Dujic, B.; Aicher, S.; Zarnic, R. (2005): Investigations on in-plane loaded wooden elements – influence of loading and boundary conditions. Otto-Graf-Journal Vol. 16, 2005
- [3] Committee Draft ISO/CD 21581 (2007) – Timber Structures – Static and cyclic lateral test method for shear walls
- [4] Yasumura, M., Karacabeyli, E., 2007. “International Test Standard development for lateral load test method for shear walls” Proceedings CIB-W 18, paper 40-15-5, Bled, Slovenia.
- [5] EN 12512, 2001. Timber Structures – Test methods – Cyclic testing of joints made with mechanical fasteners.
- [6] EN 594, 1996. Timber Structures – Test methods – Racking strength and stiffness of timber frame wall panels.
- [7] ISO Standard 16670, 2003. Timber Structures – Joints made with mechanical fasteners – Quasi-static reversed-cyclic test method.