

DIPLOMARBEIT

Master Thesis

Aussteifung von mehrgeschossigen Gebäuden durch Holz - Stahl - Mischkonstruktionen

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Prof. DDI Wolfgang Winter

und DI Dr. Kamyar Tavoussi

E 259/2

Institut für Architekturwissenschaften
Abteilung Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Tamir Pixner

9407563

Porzellangasse 54/1/10
1090 Wien

Wien, am 20.10.2010

Vorwort

Diese Diplomarbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit am Institut für Architekturwissenschaften, an der Abteilung für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau, am Lehrstuhl von Prof. DDI Wolfgang Winter.

Im Zuge dieser Tätigkeit konnte ich an mehreren Forschungsprojekten teilnehmen und die daraus erlangten Erkenntnisse in meine Diplomarbeit einfließen lassen.

An dieser Stelle möchte ich mich deshalb bei Prof. Winter dafür bedanken, dass er mich in den vergangenen Jahren so gefördert hat.

Ich möchte mich ebenfalls bei DI Dr. Kamyar Tavoussi bedanken. Während sämtlicher Forschungsarbeiten haben mich seine Anleitungen begleitet und ich hatte die Möglichkeit Erfahrung zu sammeln und von ihm zu lernen.

Ich bedanke mich auch herzlich bei meiner Familie. Sie haben mich alle auf meinem Weg unterstützend begleitet und ich hoffe, Ihnen Einiges davon zurückgeben zu können.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	5
1.1	Motivation.....	5
1.2	Werkstoffe.....	6
1.3	Beispiele von mehrgeschossigen Holzmischbauten	9
1.3.1.	5-stöckiger Holzmischbau in Kanazawa M Bldg.	9
1.3.2.	6-stöckiger Holzmischbau im Oberwallis in der Schweiz	11
1.3.3.	Pilotprojekt hölzerner Leuchtturm	13
1.4	Ziel der Arbeit.....	14
2.	Aussteifungsvarianten.....	14
2.1	Aussteifung durch Stahlbetonkern.....	14
2.2	Aussteifung durch Holzkern.....	14
2.3	Fassadenaussteifung	18
2.3.1	Diagonalsystem.....	18
2.3.2	Rahmensystem	19
2.3.3	Schlussfolgerung.....	19
3.	Systementwicklung.....	20
3.1	Schmale BSP-Scheibe	21
3.2	Verbindungstechnik.....	22
3.2.1.	Variante 1: eingeleimte Lochbleche (HSK)	22
3.2.2.	Variante 2: kontinuierliche Zugelemente und Einleitung über Kontakt	23
3.3	Adaptierung der Prüfeinrichtung	27

3.4	Versuche.....	30
3.4.1	1. Versuchsreihe: Optimierung der Wandscheibe.....	32
3.4.1.1	Quasistatische Versuche.....	32
3.4.1.2	Zyklische Versuche	45
3.4.2	2. Versuchsreihe: Testen der gewünschten Verbindungstechnik.....	47
3.5	Modellierung der Scheibe.....	56
4.	Fallstudie: 16 Stockwerke unter Erdbeben- und Windbelastung	58
4.1	Konstruktion	58
4.2	Lastannahmen	60
4.2.1	Vertikallasten.....	60
4.2.2	Erdbebenlasten	60
4.2.3	Windlasten	60
4.3	Dynamische Analyse in RFEM	61
4.3.1	Lastfall Erdbeben	61
4.3.2	Lastfall Wind.....	64
4.4	Ergebnisse und Schlussfolgerung	65
5.	Ausblick	67
6.	Abbildungsverzeichnis	71
7.	Tabellenverzeichnis	73
8.	Quellenverzeichnis	73
9.	Anhang A	74
10.	Anhang B	76

Kurzfassung

Das Ziel dieser Arbeit war mögliche Aussteifungsvarianten von mehrgeschossigen Holz-Stahl-Mischkonstruktionen gegenüberzustellen. Es wurde versucht allgemein gewonnene Erkenntnisse zu einem möglichen System zusammenzuführen und Lösungsansätze zu entwickeln. Zu Beginn wurde am Konzept der gesamten Gebäudeaussteifung gearbeitet. Anschließend wurde auf das einzelne Aussteifungselement Augenmerk gelegt. Die Modellierung der Aussteifungselemente für die Stabwerks- und Finite Elemente-Berechnungen stellte einen wichtigen Teil der Arbeit dar. Dazu war eine Vielzahl von getroffenen Annahmen notwendig. Die Lastfälle Erdbeben und Wind wurden genauer betrachtet. Anhand der resultierenden Kräfte wurden eine geeignete Verbindungstechnik und eventuelle Versteifungsmaßnahmen angedacht. In einem Ausblick wurden Verstärkungs- und Versteifungsmaßnahmen zur Gebäudeoptimierung erläutert.

Abstract

The outpointing and investigation of several bracing systems for multi-storey timber-steel-mixed structures was the aim of this work. A possible efficient bracing system was tried to be developed based on general perceptions from different studies. Both the single bracing element and the complex bracing system of a whole construction were investigated. The modelling for dynamic analyses in framework and finite element software was a big part of the work. A lot of estimations and assumptions had to be taken. The load cases wind and earthquake were relevant for the dynamic analyses. A possible anchorage and connective system was developed based on the resulting loads from dynamic analyses. As an outlook several optimizations regarding the reinforcement and stiffening are presented.

1. Einleitung

1.1 Motivation

Als Bauingenieur und umweltbewusster Mensch sehe ich es als meine Verpflichtung an, ökologisch und ökonomisch nachhaltig zu planen und zu agieren. Somit ist es naheliegend, dass ich den nachwachsenden Rohstoff Holz als Baumaterial zum Einsatz bringen möchte. Im urbanen Raum der mitteleuropäischen (durch Weltkriege gezeichneten Länder) wird Holz im mehrgeschossigen Bauwesen nur begrenzt eingesetzt [siehe Abbildung 1, Abbildung 2]. Dort gilt es meiner Meinung nach anzusetzen, indem nach Lösungsansätzen geforscht wird, Systementwicklung betrieben wird und Überzeugungsarbeit geleistet werden muss.

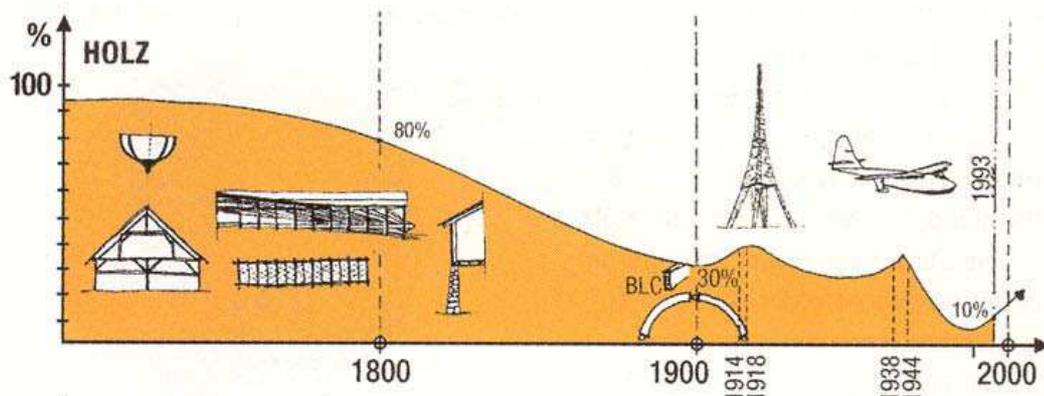


Abbildung 1: geschätzter Marktanteil von Holz bei Tragkonstruktionen des Hochbaus

Quelle 1: Prof. DDI Wolfgang Winter, Institut für Architekturwissenschaften, Abteilung für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau

Um dem Anspruch der Nachhaltigkeit und des ökologischen Bewusstseins gerecht zu werden, sehe ich es als sinnvoll an, die unterschiedlichen Baustoffe ihren Stärken und Schwächen nach zu kombinieren und nicht gänzlich nach wirtschaftlichen Kriterien zum Einsatz zu bringen. Solche angedachten Mischbauweisen bieten die Möglichkeit unsere Rohstoffe effizient zum Einsatz zu bringen und umweltbewusst wertvolle Gebäude zu schaffen.

In diesem Sinne sehe ich im Bereich Holz-Stahl-Mischkonstruktionen sehr viel Potential. Diese zwei Materialien haben an sich sehr unterschiedliche Eigenschaften. Holz ist ein weicher und warmer Baustoff, Stahl hingegen ist hart und kalt. Trotzdem lassen sie sich sehr gut ergänzen. Durch Trockenbauweise, leichte Elemente, hohen Vorfertigungsgrad sind diese zwei Baustoffe sehr montagefreundlich und

garantieren kurze Bauzeiten und hohe Flexibilität in der Erweiterung, Ergänzung oder Umnutzung von Bauten.

Gegenwärtig ist Stahlbeton der dominante Baustoff im Hochbau (Abbildung 2), Holz und Stahl haben jedoch gemeinsam Potential größere Marktanteile zu erlangen.

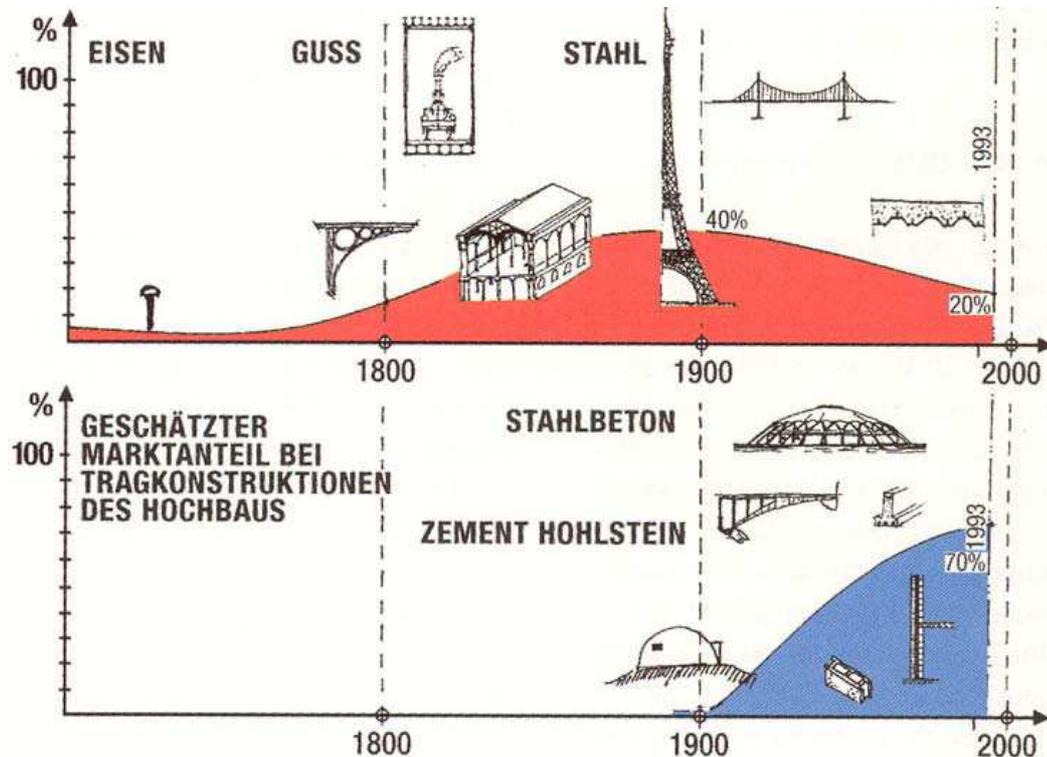


Abbildung 2: geschätzter Marktanteil von Stahl und Stahlbeton bei Tragkonstruktionen des Hochbaus

Quelle 2: Prof. DDI Wolfgang Winter, Institut für Architekturwissenschaften, Abteilung für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau

1.2 Werkstoffe

„Holz ist atmungsaktiv und gleicht den Feuchtigkeitshaushalt der Räume aus, was sowohl im Winter als auch im Sommer eine angenehme Klimatisierung der Raumluft bewirkt. Holz wächst nach und bindet CO₂. Der Stahlbau glänzt mit hohen Recyclingwerten, hat eine lange Lebensdauer und lässt sich sparsam montieren und demontieren. Holz hat nicht mehr viel mit heimelig zu tun. Holz ist ein moderner und vielseitiger Baustoff, der in großen Mengen direkt vor unserer Haustüre nachwächst.“

Quelle 3: <http://web281.jupiter.ibone.ch/pdf/BerichtHOLZSTAHL.pdf>

In Abbildung 3 und Abbildung 4 werden die wichtigsten Holzeigenschaften und die daraus resultierenden Vor- und Nachteile für den Holzbau dargestellt.

Eigenschaft	Vor- bzw. Nachteil															
Geringe Rohdichte	Geringes Eigengewicht															
Geringe Wärmeleitfähigkeit	Gute bauphysikalische Eigenschaften, Wärmeisolierung															
Hohe Widerstandsfähigkeit gegen chemische Einflüsse	Einsatz in aggressiver Umgebung möglich															
Hohe Festigkeiten bei geringem Eigengewicht	zB. große Reisslänge (Al 11km, St 360 5km, FI 20km)															
Gute Bearbeitbarkeit	Sowohl maschinell als auch händisch unabhängig von Dimension															
Positive Ökobilanz, geringe Umweltauswirkungen über den gesamten Lebenszyklus	Geringer Ressourcen u. Energieinput bei Produktion und Verarbeitung z.B.: Energie Baustoffproduktion (kWh/m ³ bzw. kWh/kg): <table border="1"> <tr> <td>Holz</td> <td>BSH</td> <td>Bet</td> <td>St-Bet</td> <td>St</td> </tr> <tr> <td>660</td> <td>1200</td> <td>500</td> <td>1600</td> <td>50000</td> </tr> <tr> <td>1,5</td> <td>2,7</td> <td>0,2</td> <td>0,67</td> <td>6,4</td> </tr> </table>	Holz	BSH	Bet	St-Bet	St	660	1200	500	1600	50000	1,5	2,7	0,2	0,67	6,4
Holz	BSH	Bet	St-Bet	St												
660	1200	500	1600	50000												
1,5	2,7	0,2	0,67	6,4												
Prädestiniert für den Baubereich	Schneller Aufbau und sofortige Tragfähigkeit; leichte Demontage und Wiederverwendbarkeit															
CO ₂ -neutral, durch Mikroorganismen abbaubare biogene Substanz	Keine Belastung der Umwelt; 100% recyclebar															
Hygroskopizität	Arbeiten von Holz (Quellen und Schwinden) bzw. Baubiologische Positivkriterien (Klimapuffer)															
Brennbarkeit	Resttragverhalten bzw. Überdimensionierung der Bauteile (Ästhetik)															

Abbildung 3: Die wichtigsten Holzeigenschaften und die daraus für den Holzbau folgenden Vor- und Nachteile

Quelle 4: Vom BAUM zum WERKSTOFF, Skelettskriptum zur Vorlesung Holzbau I für Bauingenieure, TU Wien Lehrstuhl für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau

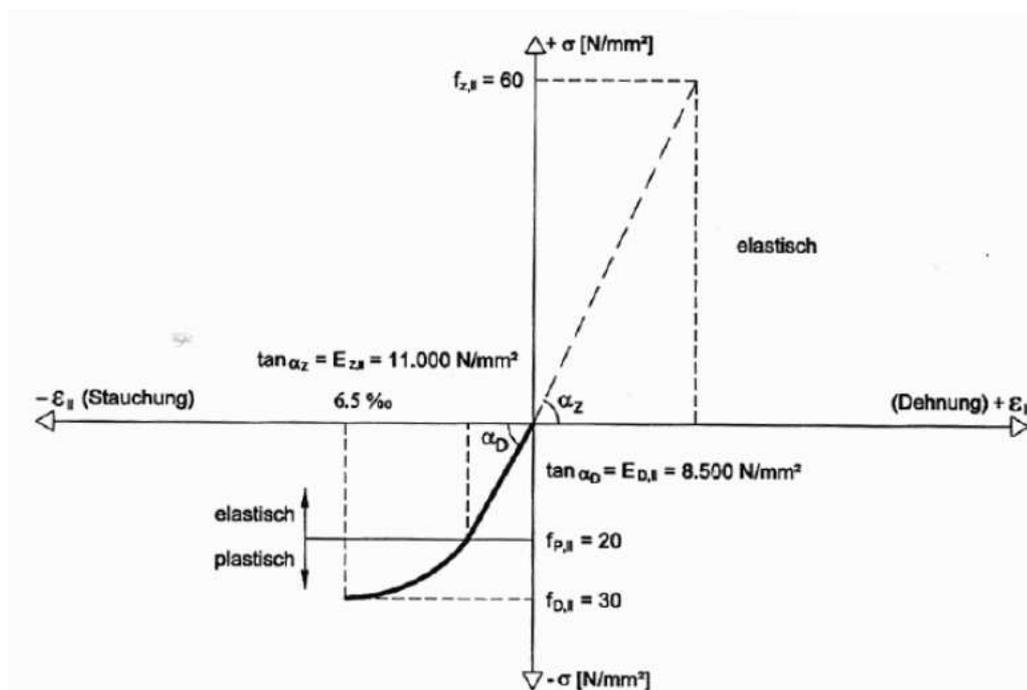


Abbildung 4: Arbeitslinie von Holz parallel zur Faser

Quelle 5: Tragwerkselemente; Egger, Beck und Mandl; B.G. Teubner Verlag; 1996

Stahl ist auf Druck und Zug gleichermaßen belastbar (Abbildung 5). Stahl lässt sich warm und kalt verformen (walzen, ziehen, pressen, biegen usw.), mechanisch bearbeiten (sägen, bohren, stanzen, fräsen, hobeln usw.) und er lässt sich schweißen.

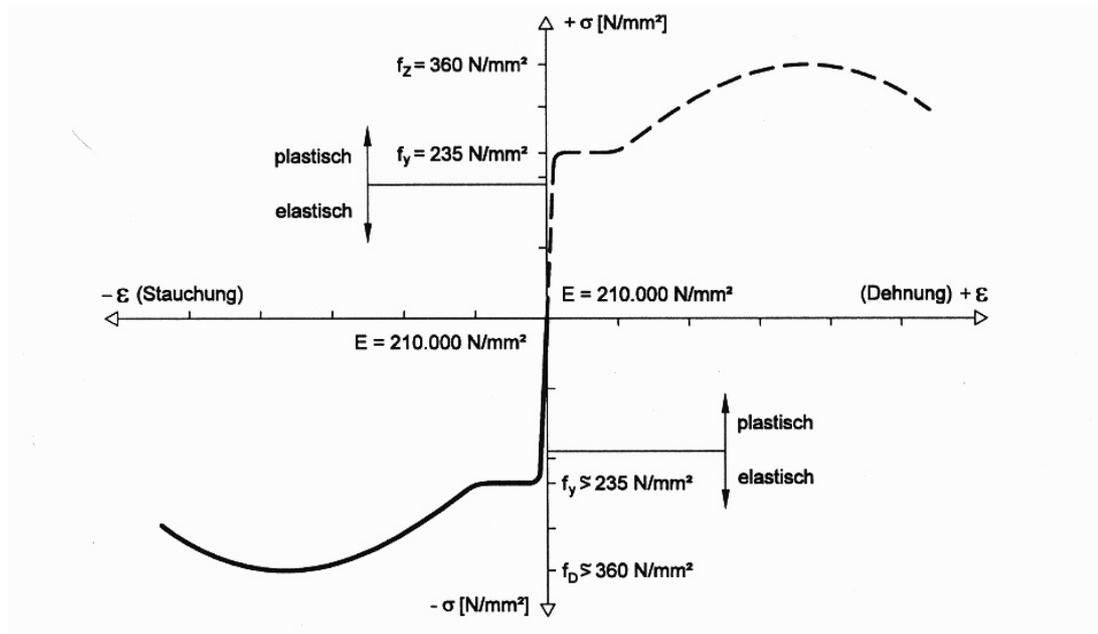


Abbildung 5: Idealisierte Arbeitslinie von S 235

Quelle 6: Tragwerkselemente; Egger, Beck und Mandl; B.G. Teubner Verlag; 1996

1.3 Beispiele von mehrgeschossigen Holzmischbauten

1.3.1. 5-stöckiger Holzmischbau in Kanazawa M Bldg.

Quelle 7: THE DESIGN AND INSTALLATION OF A FIVE-STORY NEW TIMBER BUILDING IN JAPAN, KOSHIHARA, Miki, IIS, the University of Tokyo

In Kanazawa, Japan entstand 2005 das erste 5-stöckige Holzhaus [Abbildung 6] seit 1950. Das erste Geschoß ist aus Stahlbeton ausgeführt, die weiteren Geschoße bestehen aus einem holzbasierten Hybridbau.



Abbildung 6: Kanazawa M Bldg.

Sowohl die Stützen und die Träger als auch die Aussteifungsdiagonalen bestehen aus Brettschichtholz mit eingearbeiteten Stahlelementen [Abbildung 7]. Die Deckenelemente sind aus Stahlbeton.

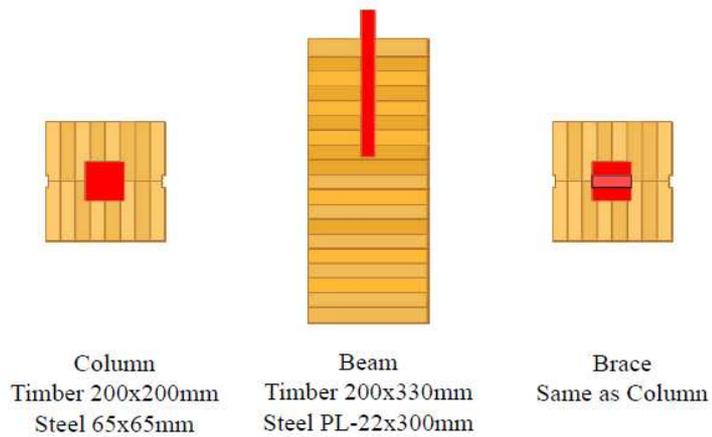


Abbildung 7: Holzquerschnitte mit Stahleinlagen

Die Idee ist, dass die Last nach einem Brand ausschließlich von den Stahlelementen abgetragen werden kann [Abbildung 8]. Allgemein wird die Vertikallastabtragung dem Stahlelement zugewiesen und das Holz verhindert das Beulen der Stahlstütze bei Erdbebenbeanspruchung.

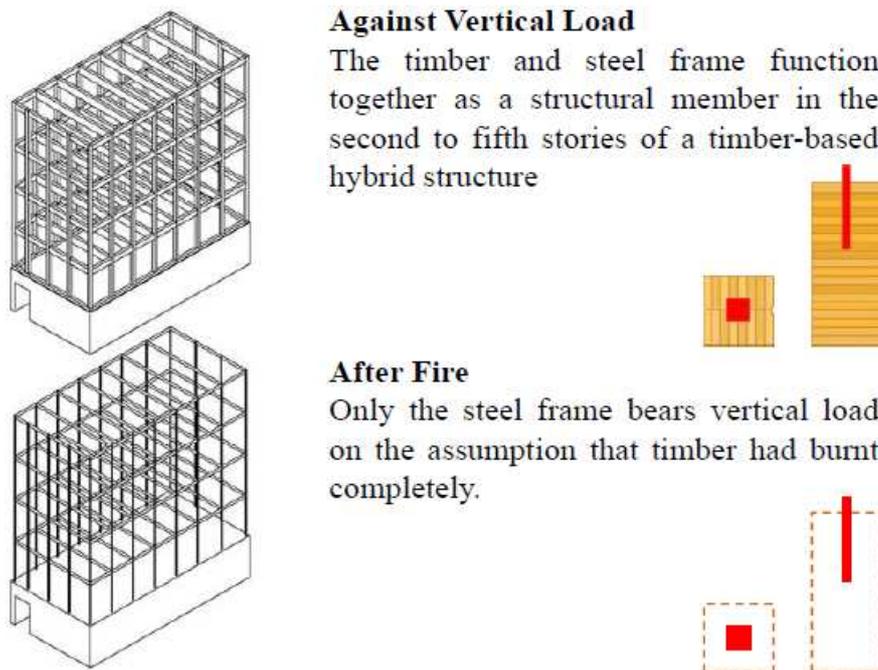


Abbildung 8: Zusammenwirken von Holz und Stahlelementen

1.3.2. 6-stöckiger Holzmischbau im Oberwallis in der Schweiz

Quelle 8:

http://www.erne.net/modultech/referenzdokus/referenzen_loesbuero_Lonza_Visp.pdf,
www.erne.net/aktuelles/ERNE_Newsletter_Juni08.pdf

In der Schweiz realisierten 2008 ERNE modul-technologie und Architekturbüro Hornberger Architekten in einer alpinen High-Tech-Landschaft das erste sechsstöckige Bürogebäude in Holz-Hybrid-Bauweise [Abbildung 9] mit dem „SupraFloor-System“, vorgefertigte HBV-Elemente.

„Das Gebäude wird in einem ... erdbebengefährdeten Gebiet erstellt. Entsprechend ist das Tragewerk für die höchste Erdbeben-Gefährdungszone „Z3b nach SIA 260 (entspricht einem Bemessungswert der Bodenbeschleunigung von $1,6\text{m/s}^2$) konzipiert. Wegen nicht tragfähigem Sedimentboden ist die Fundamentierung auf Bohrpfählen erstellt. Der ins Bausystem integrierte Treppenhauskern aus vorgefertigten Betonelementen steift das Gebäude ohne zusätzlich tragende Wände aus. ... Der „Lonza-Kubus“ weist pro Stockwerk $24 \times 24 \text{ m}$ Grundfläche auf, was einer Gesamtfläche von 3456 m^2 entspricht.“(Abbildung 10).



Abbildung 9: 6-stöckiger Holzmischbau

1.3.3. Pilotprojekt hölzerner Leuchtturm

Quelle 9: [HTTP://DERSTANDARD.AT/1277337017197/BREGENZ-HOELZERNER-LEUCHTTURM-MIT-90-METER-HOEHE](http://derstandard.at/1277337017197/BREGENZ-HOELZERNER-LEUCHTTURM-MIT-90-METER-HOEHE)

In Bregenz befindet sich ein Pilotprojekt in Entwicklung. Der Bau des Prototyps soll noch heuer beginnen.

"Wir wollen in die Höhe gehen, sofern man uns lässt", skizziert der Vorarlberger Bauunternehmer Hubert Rhomberg die Idee des Life-Cycle-Towers in Kurzform [Abbildung 11]. Rhombergs Anliegen: Die Baubranche müsse sich ihrer Verantwortung bewusst sein. Den Holztower sieht er dazu als "Leuchtturmprojekt".



Abbildung 11: Hölzernes Hochhaus mit 20 Stockwerken? Technisch ist so ein Projekt möglich. Nun muss die Politik mitspielen. (Visualisierung: Rhomberg)

Dieser bis zu 100 Meter hohe Turm soll auf 3 Stahlbetongeschoßen errichtet werden. Die Decken sind in Holzbetonverbundbau gefertigt. Die Aussteifung gegen horizontale Lasten soll durch einen Kern wahlweise in Holz oder Stahlbeton erfolgen.

1.4 Ziel der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit war mögliche Aussteifungsvarianten von mehrgeschossigen Holz-Stahl-Mischkonstruktionen gegenüberzustellen. In Anbetracht der Tatsache, dass die Ergebnisse aus unterschiedlichen Forschungsoperationen stammen, wird darauf hingewiesen, dass verschiedene Annahmen mit Rücksicht auf die Interessen der Forschungspartner getroffen wurden und es daher auch nicht möglich war sämtliche Forschungsansätze einander anzupassen. Nichts desto trotz wurde versucht allgemein gewonnene Erkenntnisse zu einem möglichen System zusammenzuführen und Lösungsansätze zu entwickeln. Zu Beginn wurde am Konzept der gesamten Gebäudeaussteifung gearbeitet. Anschließend wurde auf das einzelne Aussteifungselement Augenmerk gelegt. Die Lastfälle Erdbeben und Wind sollten dabei genauer betrachtet werden. Anhand der resultierenden Kräfte sollten eine geeignete Verbindungstechnik und eventuelle Versteifungsmaßnahmen angedacht werden.

2. Aussteifungsvarianten

2.1 Aussteifung durch Stahlbetonkern

Die Aussteifung von mehrgeschossigen Gebäuden erfolgt üblicherweise durch Aussteifungskerne und/oder Aussteifungselemente im Inneren des Gebäudes. Beliebt sind dabei Stahlbetonkerne, welche sämtliche Horizontallasten aufnehmen und abtragen können.

In Verbindung mit Holz sollten jedoch folgende Überlegungen angestellt werden. Durch einen Stahlbetonkern wird das Gesamtgewicht des Gebäudes erhöht. Zuzufolge horizontaler Lasteinwirkung und wegen der hohen Steifigkeit des Kerns kommt es zu Spannungsspitzen an den Berührungspunkten der Holzkonstruktion mit dem Stahlbetonkern. Ebenso wird mit unterschiedlichen Setzungen zu rechnen sein. In wirtschaftlicher Hinsicht können unterschiedliche Montagezeiten hervorgerufen durch die Kombination aus der Trockenbauweise beim Holz und der Stahlbetonbauweise ineffizient sein.

2.2 Aussteifung durch Holzkern

Im Rahmen des Forschungsprojektes 8+ wurde die Machbarkeit eines 20 stöckigen Büroholzhauses untersucht.

Quelle 10: <http://www.hausderzukunft.at/results.html/id5482>

Die Abteilung für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau war als Forschungspartner für die Tragwerksentwicklung zuständig. Es wurden unterschiedliche Grundrisstypen mit unterschiedlichen Aussteifungssystemen angedacht und teilweise in Stabwerksprogrammen untersucht. Einer dieser Typen war der sogenannte American Type (siehe Abbildung 12).

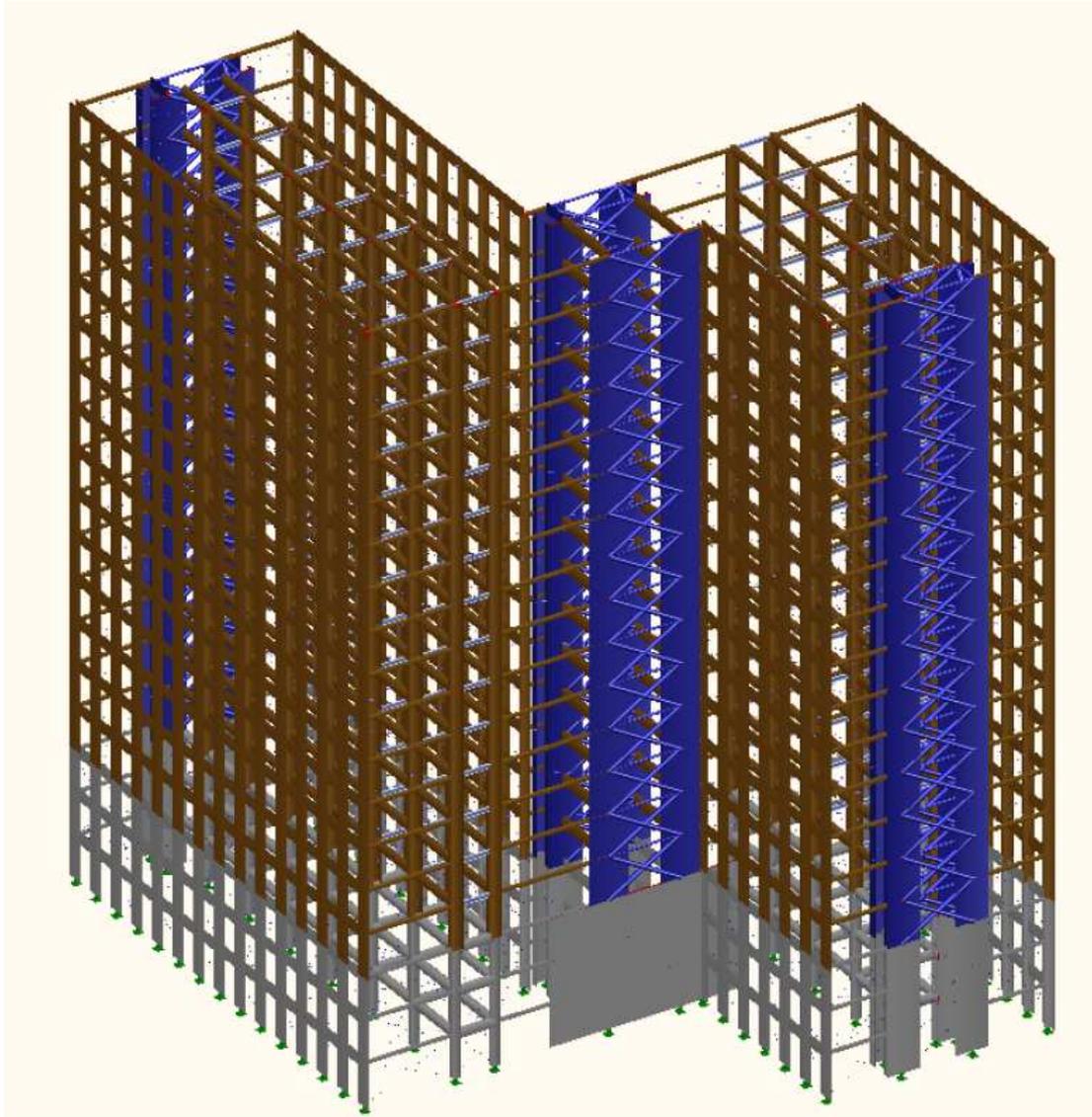


Abbildung 12: 3D-Ansicht American Type im RSTAB-Modell

Die Aussteifung sollte einerseits durch Kerne aus Brettsper Holz (grün) und andererseits durch Holz-Stahl-Rahmen (rot) erfolgen (siehe Abbildung 13).

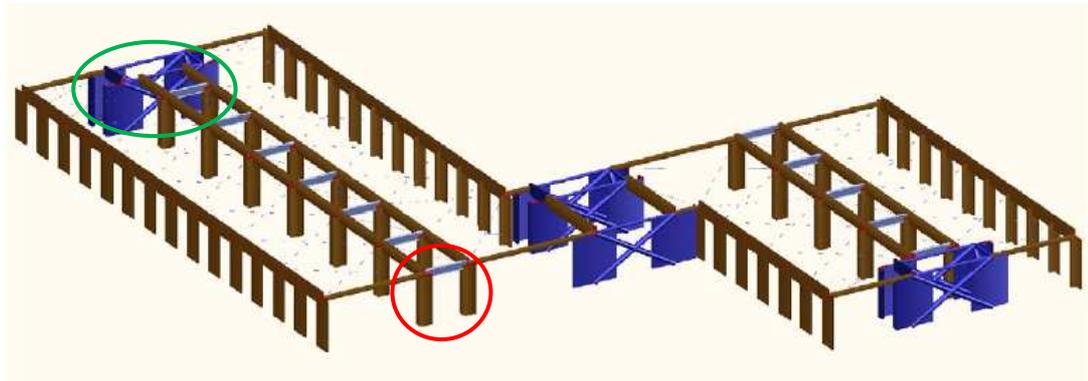


Abbildung 13: Einzelnes Geschoß American type

Für die RSTAB (siehe Anhang A) -Berechnungen wurde der Holzkern durch ein Stabwerk simuliert. Dieses Stabwerk wurde anhand eines RFEM (siehe Anhang A) - Modells kalibriert. Die Eingabedaten der BSP-Scheibe erfolgten nach der Anleitung der Firma KLH.

Quelle 11: [HTTP://WWW.KLH.AT/STATIK6.HTML?L=0](http://www.klh.at/statik6.html?L=0)

„Für die genaue Berechnung der Wände als Wandscheibe kann ein Rahmensystem mit Längs- und Querträgern angenommen werden.

Dabei sind für die Längsträger beispielsweise Vollholzquerschnitte mit den Längslagen (z.B. $3.4 \times h$ in cm für eine KLH 3s 94 mm) und für die Querträger Vollholzquerschnitte mit den Querlagen (z.B. $6.0 \times h$ in cm für eine KLH 3s 94 mm) anzusetzen.

Die Höhe der einzelnen Balkenquerschnitte sind im Einzelfall festzulegen. Somit können Wandscheiben auch unter Berücksichtigung von Fenster- und Türöffnungen berechnet werden.“

Die Geometrie des Kernes war mit 7,5 x 2,5 Metern vorgegeben. An einer Stirnseite befand sich eine Öffnung von $b \times h = 1,5 \times 2,5$ Meter ($A=3,75\text{m}^2$). Die Stockwerkshöhe betrug 3,25 Meter und die Anzahl der Stockwerke war 20. Der Kern sollte aus 5-schichtigen Brettsper Holzwänden mit einer Gesamtdicke von 16 cm (jede Lage 3,2 cm) ausgeführt werden. Den einzelnen Lagen wurde das Material *Nadelholz S 10 | DIN 1052: 1988-04*. Somit waren 3 Lagen ($3 \times 3,2=9,6\text{cm}$) in vertikaler Richtung orientiert und 2 Lagen ($2 \times 3,2=6,4\text{cm}$) in horizontaler Richtung orientiert.

Nachdem das gesamte Gebäude nach der Aufbringung einer Horizontallast als sehr weich eingestuft werden konnte, wurde die Steifigkeit des Holzkernes untersucht. Dazu wurde die Steifigkeit des Holzkernes mit der Steifigkeit des Holz-Stahl-Rahmens (siehe Abbildung 13) verglichen. Der Rahmen hat einen Hebelarm von 3 Metern und besteht aus BSH-Stützen mit einem Querschnitt von 60/80 cm biegesteif angeschlossen an ein 50 cm hohes Stahlfachwerk aus U 200 Profilen. Der Kern wurde mit 2x100 kN an den Ecken im obersten Geschoß horizontal belastet. Der Rahmen wurde horizontal mit 100 kN im obersten Geschoß belastet (siehe Abbildung 14).

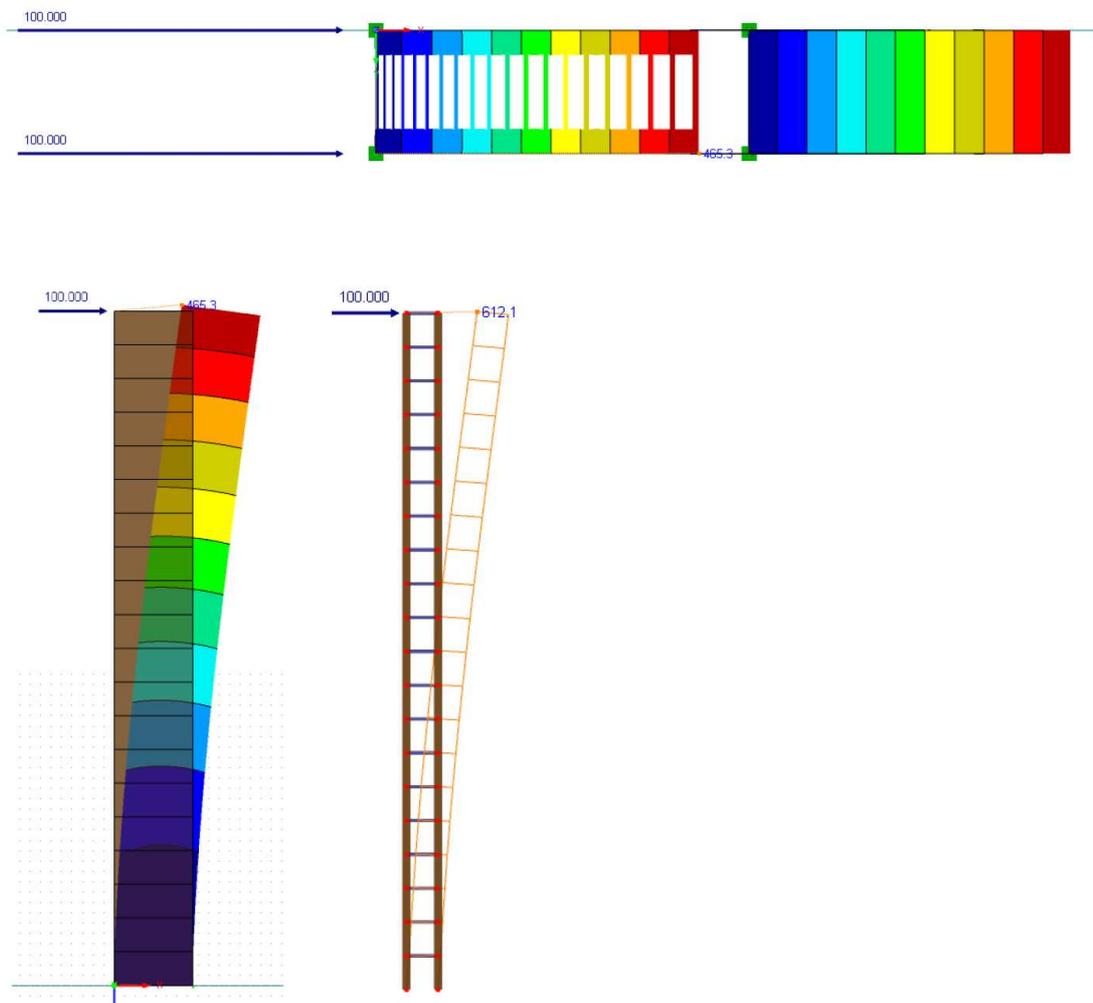


Abbildung 14: Steifigkeitsstudie Holz kern vs Holz-Stahlrahmen

Die Verformung des Holzkernes zufolge einer Horizontalbelastung von 200 kN beträgt ca. 47 cm. Die Verformung des Rahmens zufolge einer Belastung von 100 kN beträgt ca. 61 cm. Die Steifigkeit von dem Holz kern ist somit mit jener von 3 Rahmen vergleichbar.

Die Schlussfolgerung war, dass ein hoher schlanker Aussteifungskern aus Holz eine eher geringe Steifigkeit aufweist und den hohen Aufwand zur Herstellung und Montage der Zugverbindung nicht rechtfertigt. Diesen Überlegungen folgend ist eine Aussteifung des Gebäudes ausschließlich durch Elemente in der Fassade vor allem bei hohen schlanken Gebäuden nachvollziehbar. Die zusätzlichen Vorteile einer solchen Aussteifung sind enorme Flexibilität und geringerer Materialeinsatz für die Trag- und Aussteifungsstruktur.

2.3 Fassadenaussteifung

Zur weiteren Konkretisierung wurde ein Vergleich zwischen einem Aussteifungssystem mit Diagonalen und einem mit biegesteifen Verbindungen mit gewählten Querschnitten, die alleine dem Vergleichszweck dienen, angestellt. Zu diesem Zweck wird ein Dreifeldsystem betrachtet. Die Stützen, Träger und Aussteifungsdiagonalen werden als Brettschichtholzelemente so konfiguriert, dass die Querschnitte an das jeweilige System angepasst sind und die Gesamtkubatur der beiden Systeme ähnlich ist.

Beim Diagonalsystem werden die Stützen ($30/30=900\text{cm}^2$), die Träger sowie die Diagonalen ($10/10=100\text{cm}^2$) quadratisch ausgeführt. Die Diagonale wird mit dem halben E-Modul angesetzt, um die Verbindung zu berücksichtigen. Beim biegesteifen System werden die Stützen ($10/90=900\text{cm}^2$) und die Träger ($2/50=100\text{cm}^2$) rechteckig ausgeführt.

2.3.1 Diagonalsystem

In den folgenden Abbildungen werden die Ergebnisse der Horizontalverformungen zufolge einer Horizontallast von 100 kN dargestellt.

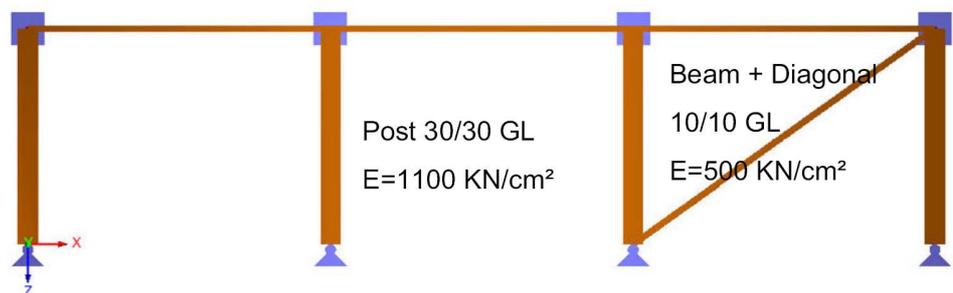


Abbildung 15: Diagonalaussteifung

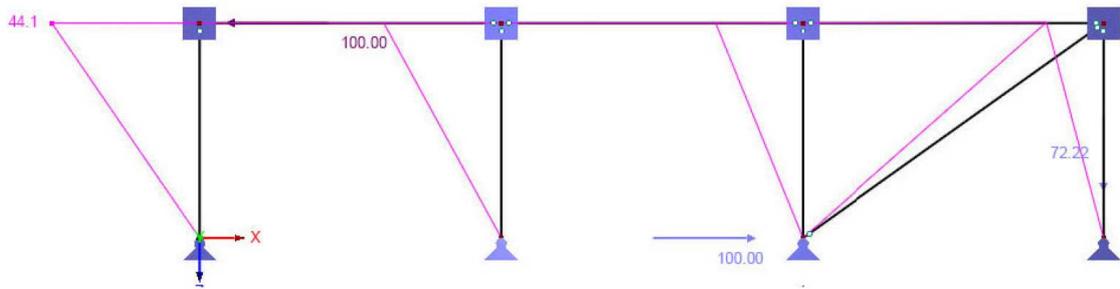


Abbildung 16: Verformung bei Diagonalaussteifung

Die Horizontalverschiebung bei der Diagonalaussteifung beträgt ca. 44 mm.

2.3.2 Rahmensystem

In den folgenden Abbildungen werden die Ergebnisse der Horizontalverformungen zufolge einer Horizontallast von 100 kN dargestellt.

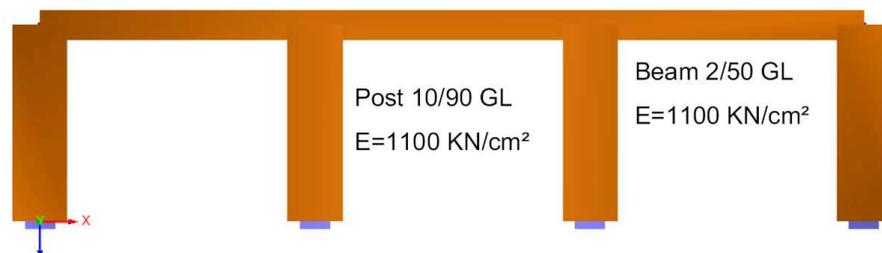


Abbildung 17: Aussteifung durch biegesteife Verbindung

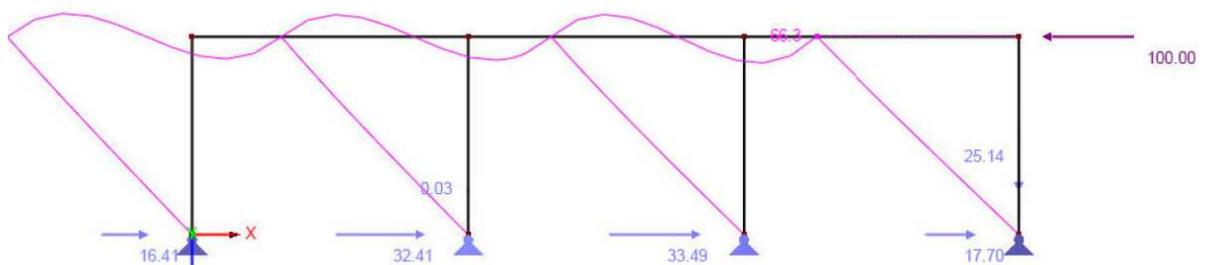


Abbildung 18: Verformung bei Aussteifung durch biegesteife Verbindung

Die Horizontalverschiebung bei der biegesteifen Verbindung beträgt ca. 66 mm.

2.3.3 Schlussfolgerung

Erwartungsgemäß wird durch eine Diagonalaussteifung ein steiferes System erreicht.

Dem Steifigkeitsgewinn bei der Diagonalaussteifung stehen aber hohe Lastkonzentrationen in den Anschlusspunkten gegenüber.

Um eine gute Verteilung der Kräfte zufolge Horizontalbelastung zu erreichen kreierte Prof. Winter die Idee und den Begriff des „Vogelkäfigs“ in Bezug auf die Gebäudeaussteifung. Es handelt sich dabei um eine Aussteifung in der Fassade durch schmale Wandscheiben als Stützelemente (teil)biegesteif verbunden mit schmalen und hohen Trägern. Die Vorteile einer solchen Aussteifung sind eine gleichmäßige Verteilung der Lasten durch Aktivierung sämtlicher Knoten, eine hohe Duktilität der (teil)biegesteifen Anschlüsse und eine gute Risikoverteilung bei Versagen eines Knotens.

3. Systementwicklung

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Ökohaus Erdbeben“ – das erdbebensichere Holzhaus, eine Kooperation der Firma Mölltaler Ökohaus und der Abteilung für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau am Institut für Architekturwissenschaften, entstand die Idee konventionell liegende aussteifende Wandscheibenelemente um 90° zu drehen und als schmale stehende Aussteifungselemente (siehe Abbildung 19) wirken zu lassen.

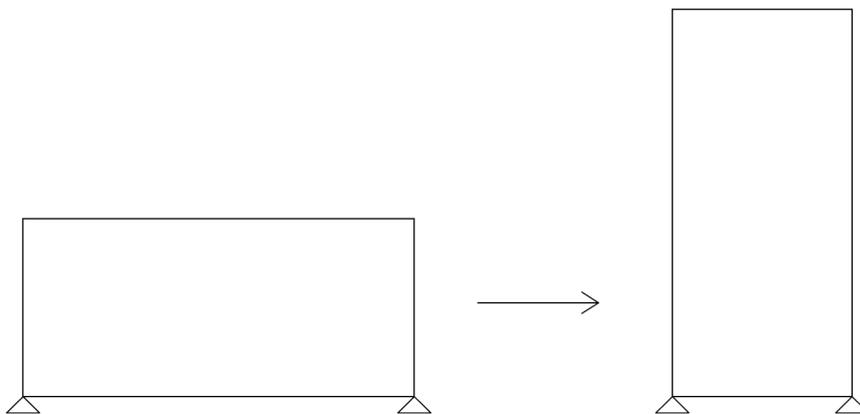


Abbildung 19: schmale stehende Aussteifungsscheibe

Aufgrund von erforderlicher Flexibilität und leichter vorgefertigter Bauweise ging die Entwicklung in Richtung Skelettbau unter Verwendung von massiven Elementen. Durch die verringerten Hebelarme waren zufolge Horizontalbelastung hohe Verankerungskräfte zu erwarten.

3.1 Schmale BSP-Scheibe

Der Wandaufbau stellte eine zentrale Rolle des Forschungsprojektes dar. Bezüglich des Aufbaus der Wandscheiben wurde anfänglich zwischen zwei Konstruktionstypen wie folgt unterschieden:

Variante **A** 20cm Brettschichtholz S13 (stehend) als Vollwandscheibe

Variante **B** 7cm Kerto-Platte mit innenliegenden Vertikalrippen (z.B.:16/24)

Während bei Variante A Horizontal- und Vertikallasten über die Wandscheibe abgetragen werden sollten, diente bei Variante B die Kerto-Platte zur Abtragung der Horizontallasten und die Vertikalrippen wurden (Lisenen) zur Abtragung der Vertikallasten herangezogen. Für beide Varianten wurden Vergleichsrechnungen angestellt.

Variante A wurde nach einigen statischen und dynamischen Voruntersuchungen aus Kostengründen nicht mehr in Erwägung gezogen.

Variante B wurde aufgrund relativ großer Horizontalverformungen, die sich zufolge dynamischer Berechnungen ergaben, nicht mehr weiterverfolgt.

Mit Rücksicht auf die Möglichkeit der Firma Ökohaus, mit Hilfe einer Vakuumpresse [Abbildung 20] mehrschichtige Brettsperrwände herzustellen, wurde letztendlich die

Variante **C Mehrschichtige Brettsperrwand**

als Wandtypus festgelegt.



Abbildung 20: Vakuumpresse

Zu Vergleichszwecken wurden verschiedene Wandaufbauten und Wandstärken entworfen und als Prototyp gebaut und getestet (siehe Kapitel3.4).

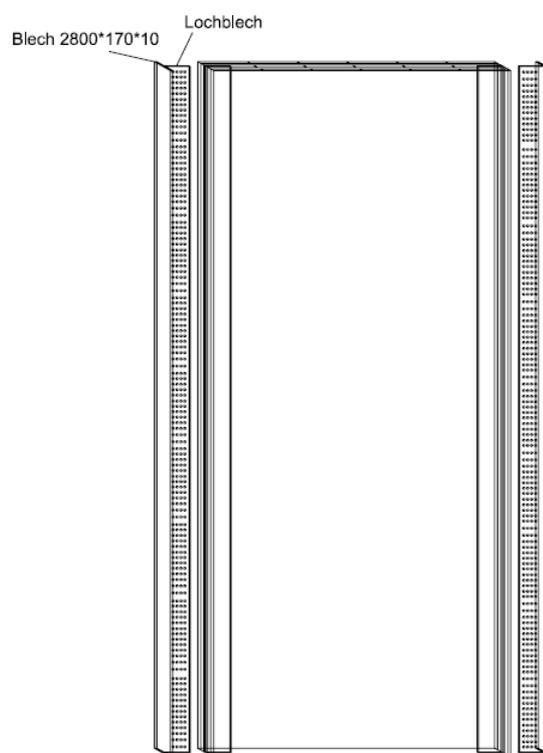
3.2 Verbindungstechnik

Die Höhe der anzusetzenden Lasten hat eine konventionelle Verankerung von vornherein ausgeschlossen.

Es wurden 2 Varianten überlegt, um die auftretenden Zuglasten wandseitig zu verankern.

3.2.1. Variante 1: eingeleimte Lochbleche (HSK)

Eine Möglichkeit war die Verwendung von eingeleimten, gelochten Stahlelementen am Scheibenrand um die Zugkraft kontinuierlich in die Holzwandscheibe einzuleiten (siehe Abbildung 21).



Explosionszeichnung

5-Schichtplatte 2800*1200*170 (32/32/42/32/32)
Mittlere Randbretter S17(mit Schlitz für
eingeleimtes Lochblech), Rest S10
Stahl S235

Abbildung 21: Variante HSK: eingeschlitzte Lochbleche

Das langfristige Verhalten des eingeleimten Lochbleches in Verbindung mit Holz wurde über diese Länge (280 cm) als kritisch eingestuft. Deswegen wurde diese Variante nicht mehr berücksichtigt.

3.2.2. Variante 2: kontinuierliche Zugelemente und Einleitung über Kontakt

Um hohe zu verankernde Zugkräfte im Holz zu vermeiden konnte durch Weiterführung der Zugkräfte in Stahlelementen am Scheibenrand nach „oben“ und Verankerung dieser Kräfte am Scheibenkopf durch eine Stahlplatte das Holz durch Kontakt auf Druck beansprucht werden. Dabei wurden 2 Stahl U-Elemente an beiden Scheiben-Enden eingebaut und am Scheibenkopf mit einer Stahlplatte und einem Hartholzstück verankert. Am unteren Ende ist eine unlösbare Verbindung an einen Stahlschuh mittels eingeschossenen Hilti-nägeln erfolgt, siehe folgende Abbildungen.

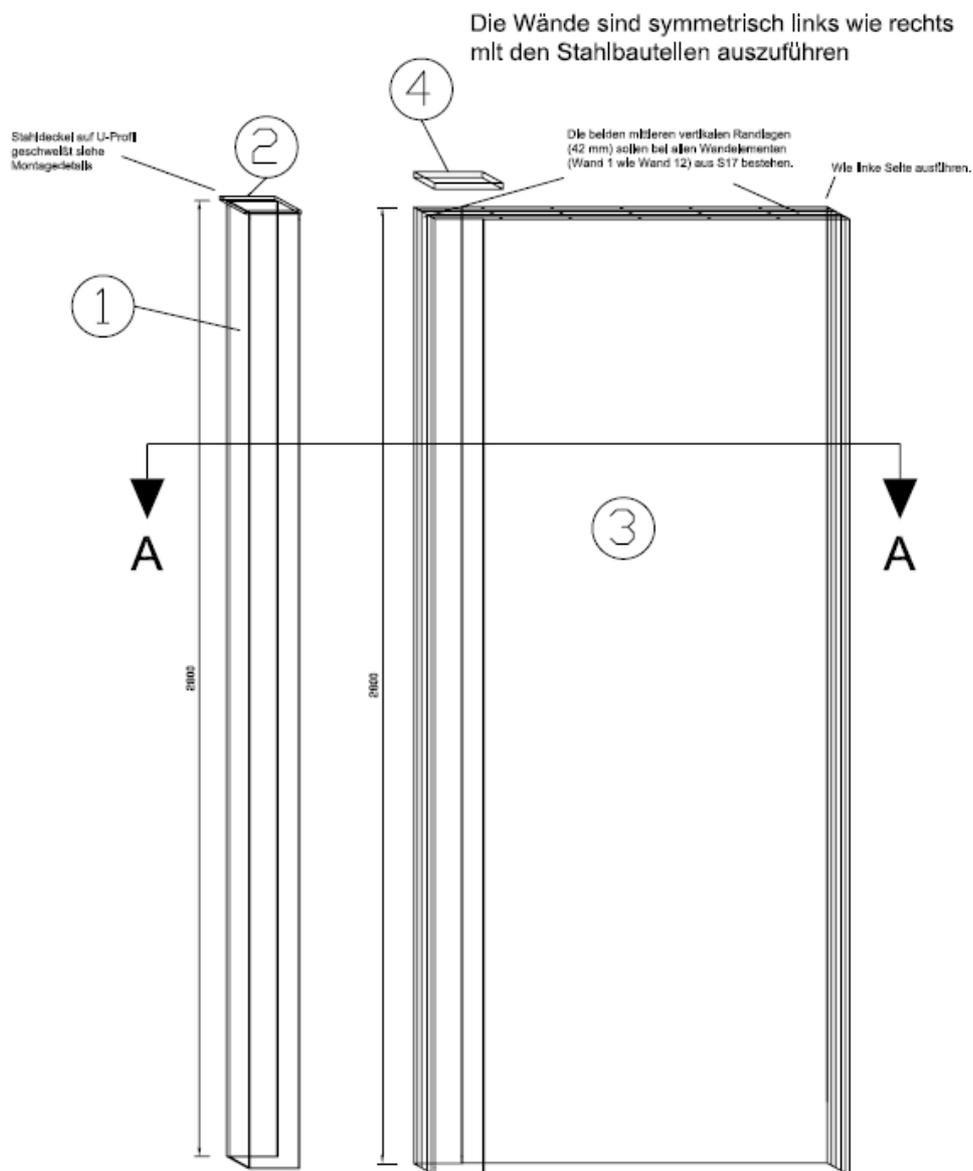
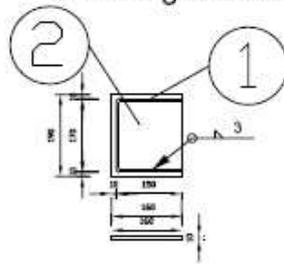


Abbildung 22: Variante: kontinuierliche Zugelemente und Einleitung über Kontakt

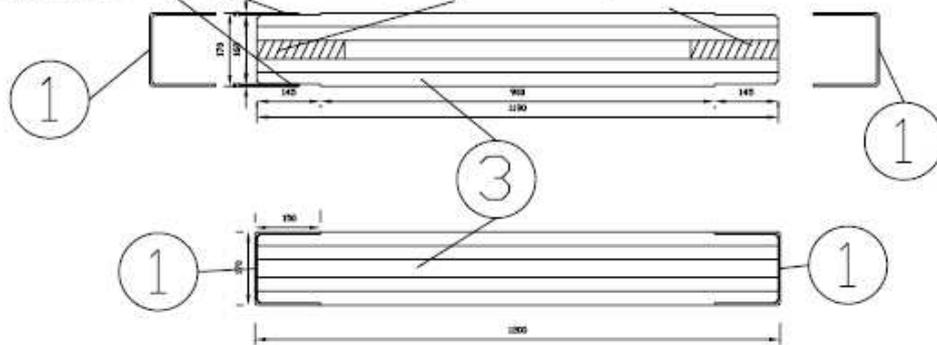
Stahldeckel S 235 auf
U-Profil geschweißt



Schnitt A-A
Holzwand

Selbige Einfräsungen der Ränder über die Gesamtlänge (2600mm) um bündigen Abschluß des Stahlprofils mit der Holzwand zu ermöglichen

Die beiden mittleren vertikalen Randlagen (42 mm) sollen bei allen Wandelementen (Wand 1 wie Wand 12) aus S17 bestehen,



Die Ecken müssen bearbeitet werden damit der Stahl satt am Holz sowohl an der Breitseite als auch an den Längsseiten anliegt

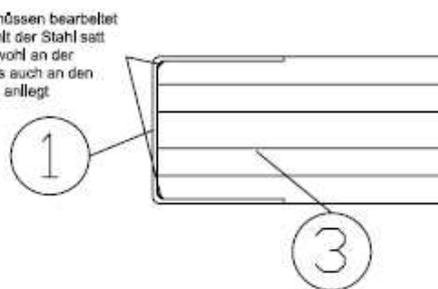
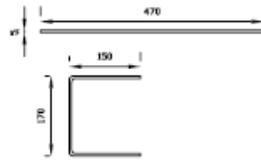
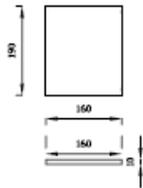


Abbildung 23: Details Variante: kontinuierliche Zugelemente und Einleitung über Kontakt

① U-Profil S 235 gekantet

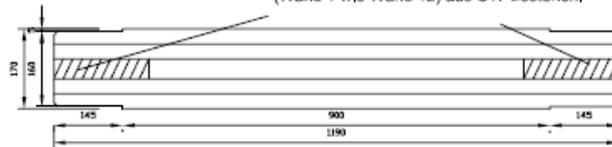


② Stahldeckel S 235

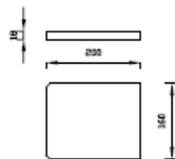


③ Holzwand L=2800mm

Die beiden mittleren vertikalen Randlagen (42 mm) sollen bei allen Wandelementen (Wand 1 wie Wand 12) aus S17 bestehen.



④ Holzteil Buche



Buchenholzstück als Passstück für U-Profil

Abbildung 24: Positionen: Variante: kontinuierliche Zuelemente und Einleitung über Kontakt

Stahlschuh S 355

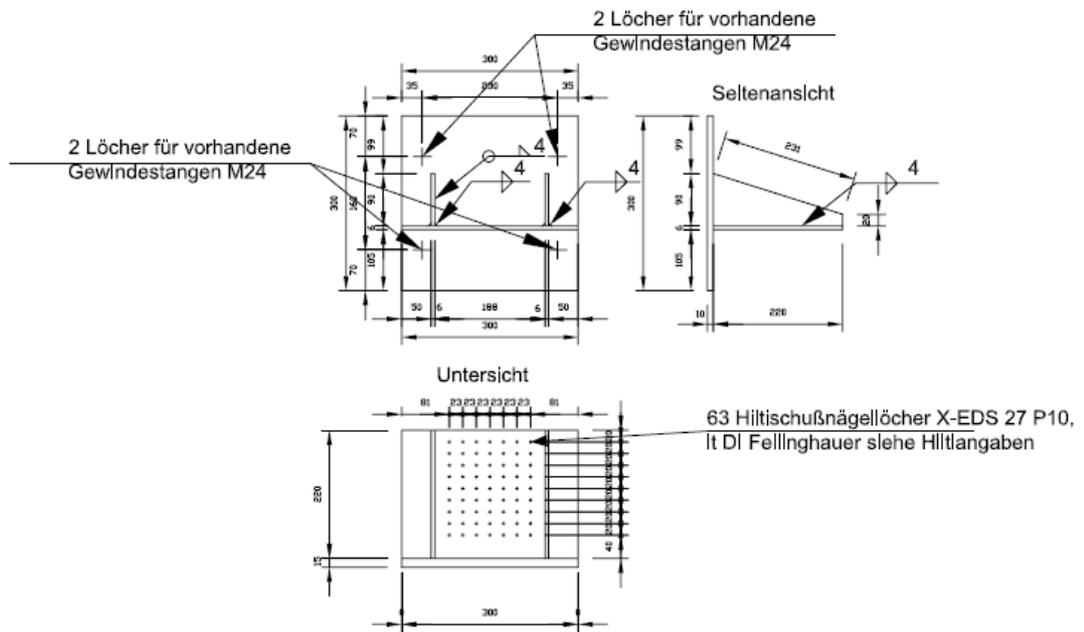


Abbildung 25: Detail Stahlschuh



Abbildung 26: Hilti - Schussnägel



Abbildung 27: Befestigung der Stahlschuhe auf den „Verbundprüfkörper“ für zyklische Versuche mittels Hilti-nägeln.

Diese Verbindungstechnik konnte von mir problemlos in sehr kurzer Zeit durchgeführt werden.

3.3 Adaptierung der Prüfeinrichtung

Um das Verhalten der Scheibe und deren Verankerung hinreichend genau beschreiben zu können, wurden für die Versuchsreihe horizontale Lasten bis zu 200 kN, das entspricht der maximal möglichen Lastaufbringung des Prüfzylinders, geplant. Für Lasten dieser Größenordnung bei einem Angriffspunkt in ca. 3 Metern Höhe war aber die bestehende Versuchsanlage bei der HFA nicht dimensioniert.

Voraussetzungen der vorhandenen Prüfeinrichtung laut HFA:

- 2 Prüfzylinder: max 200 KN und 100 KN
- Kran: max 3,2 t
- Prüfrahmen: max. mögliche vertikale Belastung: 200 KN
 max. mögliche horizontale Belastung:
 Druck: 70 KN, Zug: 30 KN
- Fundament: max. aufnehmbare Zugkraft: 300 KN/lfm
 max. aufnehmbare Druckkraft: ca. 3000 KN/lfm

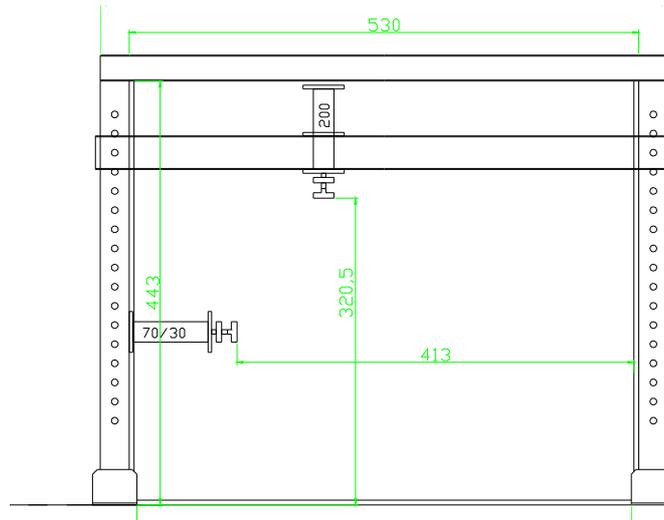


Abbildung 28: Bestehende Prüfeinrichtung bei HFA

Diese Tatsache hat eine Verstärkung dieser Anlage erforderlich gemacht. Es wurden unterschiedliche Varianten angedacht.

Dabei waren folgende Kriterien zu beachten:

- Aufnehmbare Kräfte des vorhandenen Prüfrahmens sowie des Stahlbetonverbundfundaments
- Zulässige Verformungen des vorhandenen Prüfrahmens
- Geometrische Beschränkung in vertikaler und horizontaler Richtung
- Reduktion von Gewicht und Vereinfachung der Montage der Zusatzkonstruktionen (Zeit, Kosten..)

Die Problematik bestand in erster Linie darin, die hohen Zugkräfte der Wandscheibe in das Fundament zu verankern. Um diese Zugkräfte vollkommen zu vermeiden war es notwendig, ein in sich geschlossenes statisches System zu erstellen.

Letztendlich wurde folgendes System gewählt (Abbildung 29), welches jederzeit wieder abmontiert werden konnte.

Ansicht Prüfeinrichtung

Variante 1

Stahlsorte S 355, alle Verbindungen 10.9,
Lackfarbe RAL 7036 - Plattingrau

Ergänzungen der Holzforschung Austria sind in einem eigenen Layer (Erweiterungen_HFA) hinzugefügt worden und haben für die vorhandenen Lastannahmen und deren Anordnung weder geometrisch noch statisch negative Auswirkungen.

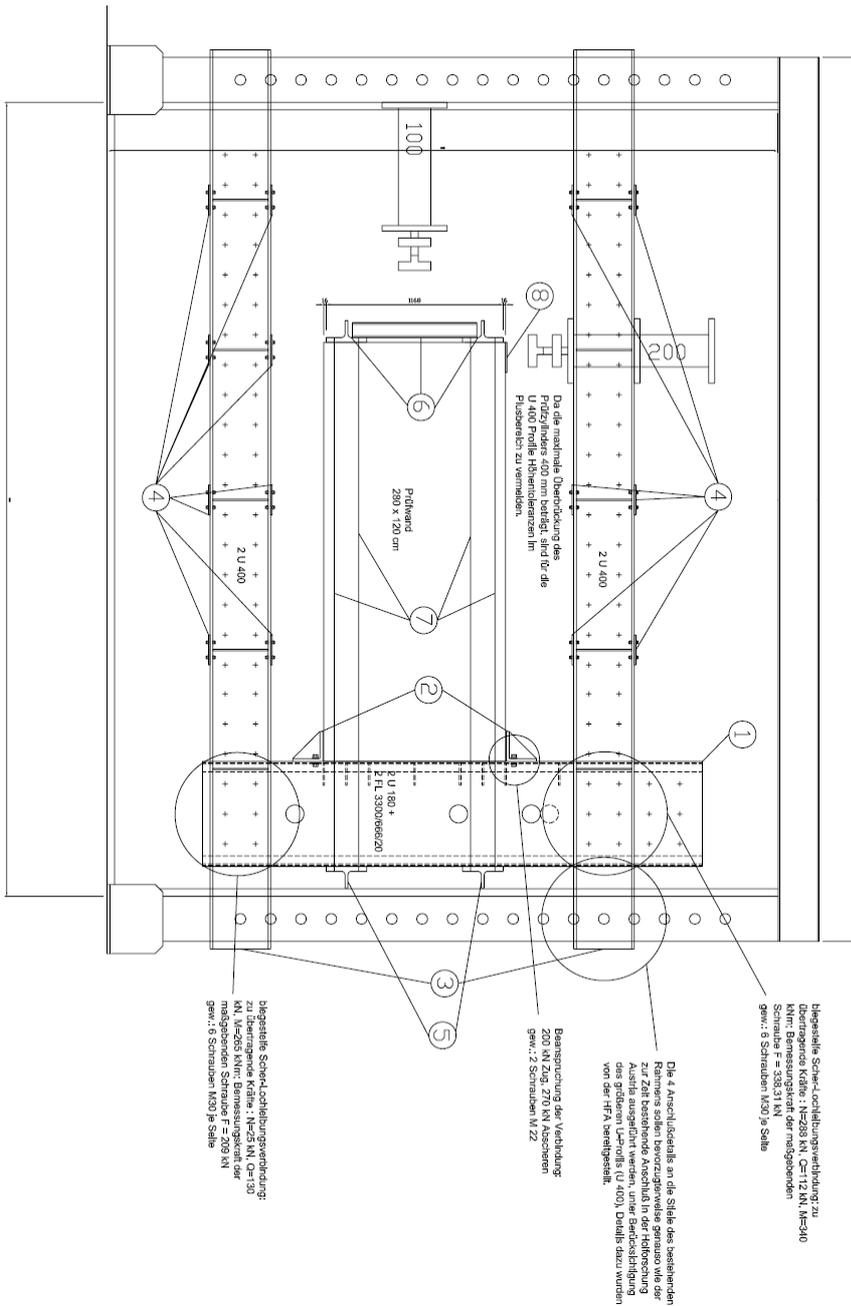


Abbildung 29: Ergänzung des bestehenden Prüfrahmens

Die Idee einer gleichzeitig einwirkenden vertikalen Belastung bei den Tests wurde aus Gründen der praktischen Durchführbarkeit wieder fallengelassen. Damit befand man sich aber statisch und dynamisch auf der sicheren Seite.

Bei den Versuchen wurden dann verschiedene Einflüsse wie die Rahmenverformung gemessen und vom Endergebnis wieder abgezogen. Somit konnten die Verformungen der Holzwandscheibe und die Verformungen zufolge Dehnungen der Zuelemente berechnet werden.

3.4 Versuche

Anstatt mit Versuchen an Kleinprüfkörpern zu beginnen, wurden ganze Wandelemente mit den Abmessungen 120/280 cm auf statische Belastung geprüft. Hierfür wurde 1 Wandelement zugekauft, dabei handelt es sich um ein Element der Firma KLH. Dies diente dem Vergleichszweck mit fünf unterschiedlich angeordneten Fünfschichtplatten der Firma Ökohaus. Diese unterschiedlichen Anordnungen bezogen sich auf die Ausrichtung und die Variation der Winkel der einzelnen Schichten:

Geometrie der Prüfkörper:

Wandelemente 1200 * 2800 mm, Dicke unterschiedlich

Art der Prüfkörper:

Mehrschichtplatten verleimt

Aufbau der Prüfkörper:

kreuzweise Verleimung, Verleimung mit Winkel (66,8°, 45°, K mit 49,4°)

Geometrie der Schichten:

variable Dicken (32mm, .)

Material der Schichten:

variable Eigenschaften (S7, S10, OSB...)

Anzahl der Schichten:

3- Schicht, 5-Schicht

Tabelle 1: Anordnung der Schichten:

W1: III ≡ III ≡ III 32/32/32/32/32 (S10)
W2: III /// ≡ /// III 32/32/32/32/32 (66,8°)(S10)
W3: III /// ≡ /// III 32/32/32/32/32 (45°)(S10)
W4: III K III K III 32/32/32/32/32 (49,4°)(S10)
W5: III ≡ III ≡ III 32/32/32/32/32 (S7, S10)
W6: Riegel 6/12 + 2*OSB 15mm
W7: III /// ≡ \\ \\ III 32/32/32/32/32 (45°)(S10)
W8: III ≡ III ≡ III 32/32/32/32/32 (KLH)
W9: \\ \\ /// III /// \\ \\ 33/33/40/33/33(45°)(S10)
W10: \\ \\ /// \\ \\ 33/70/33 (45°)(S10)
W11: \\ \\ /// \\ \\ 33/77/33 (45°)(S10)
W12: \\ \\ /// III /// \\ \\ 33/33/47/33/33 (45°)(S10)

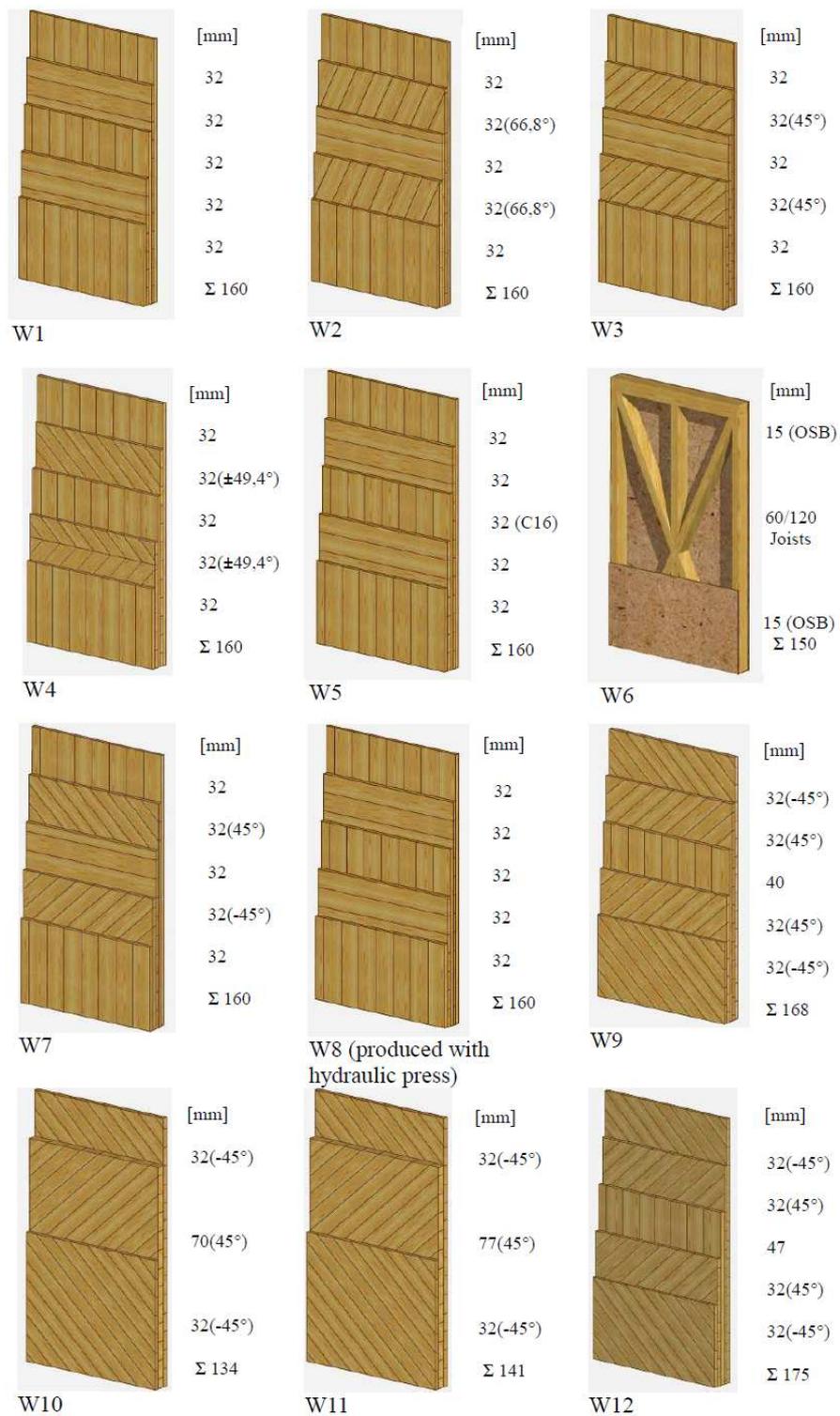


Abbildung 30: Wandaufbauten

Die Versuche wurden an der Holzforschung Austria (HFA) durchgeführt. Im Anhang B können die Prüfprotokolle eingesehen werden.

3.4.1 1. Versuchsreihe: Optimierung der Wandscheibe

3.4.1.1 Quasistatische Versuche

Die ersten Versuche wurden monoton und quasistatisch durchgeführt. Ziel war es, auf möglichst wirtschaftlichem Weg die Eignung verschiedener Wandtypen auf statische und dynamische Beanspruchung zu testen.

Die Versuche wurden nach EN 594 durchgeführt.

Als Zugglieder wurden 4 Gewindestangen (blau) mit einem Durchmesser von je 24 mm ($A_{ges}=14\text{cm}^2$) verwendet, die seitlich am Prüfkörper angeordnet und mit einem Stahlplattenkopf an diesem befestigt wurden (siehe Abbildung 31). Dabei wurden Belastungen bis zu 200 kN aufgebracht.

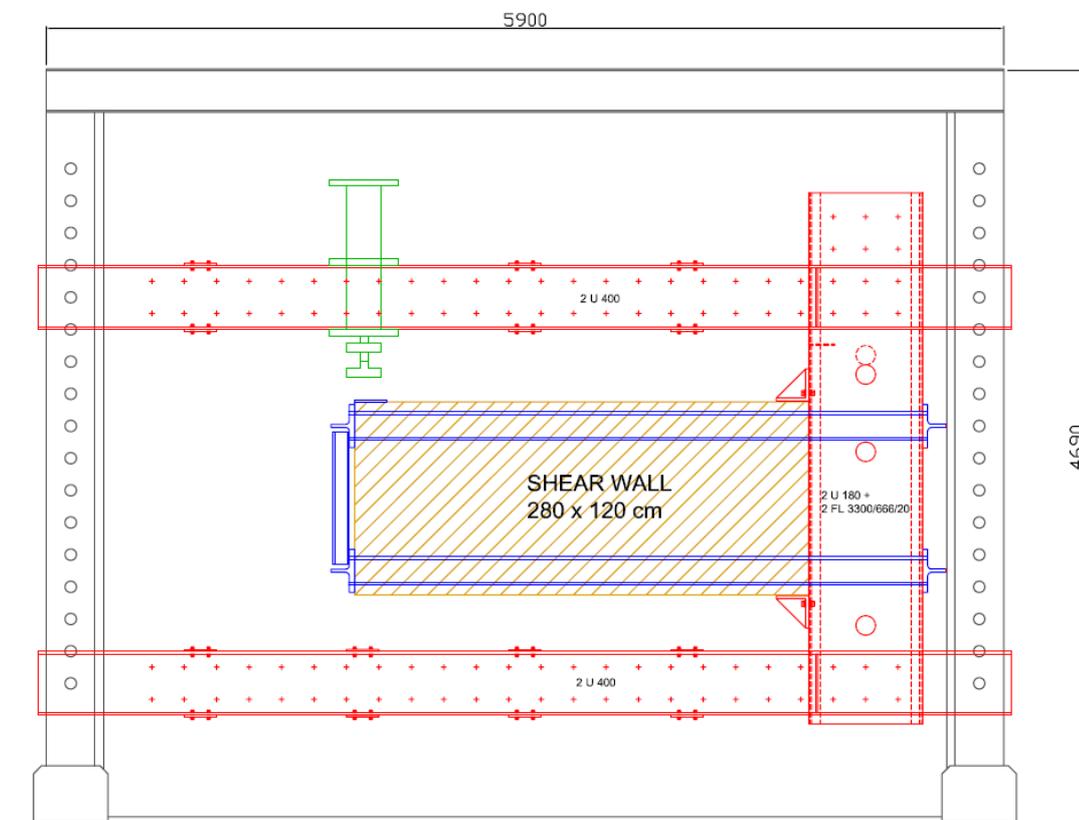


Abbildung 31: Versuchsrahmen

Die Ergebnisse für alle Wände 1-12 sind auf den nächsten Abbildungen vereinfacht zusammengefasst. Dabei ist nur der letzte Belastungszyklus dargestellt.

Die Bedeutung der verschiedenen in den Abbildungen gekennzeichneten Messpunkte wird im Folgenden erklärt:

Die Messwerte des Zylinderweges 3 ergeben sich aus der Schubverformung der Scheibe und der Rotationsverformung der Scheibe zufolge Dehnung der Stahlstangen.

Messwerte des Punktes 1 haben zur Kontrolle der obigen Werte gedient.

Die Differenz der Messwerte in den Punkten 4 und 0 ist als Dehnung der Gewindestangen zu verstehen.

Die (zum überwiegenden Teil elastische) Schubverformung der Scheibe ist aus den Messwerten der Diagonalverformungen 5 und 6 ablesbar.

Die Messpunkte 7 und 8 haben zur Verformungsmessung der Prüfanlage gedient.

Die lokalen Verformungen zufolge großer Anpresskräfte sind den Werten 2 und 3 (unterschiedliche Bezeichnungen des Messpunktes 3) (nicht bei allen Versuchen gemessen) zu entnehmen.

Wie bei Versuchen üblich, waren leider einzelne Messfehler und Messausfälle nicht auszuschließen.

Die Vertikalverschiebung der Zylinderpresse setzt sich aus 3 Anteilen (Rahmenverformung, Stahldehnung und Holzverformung) zusammen.

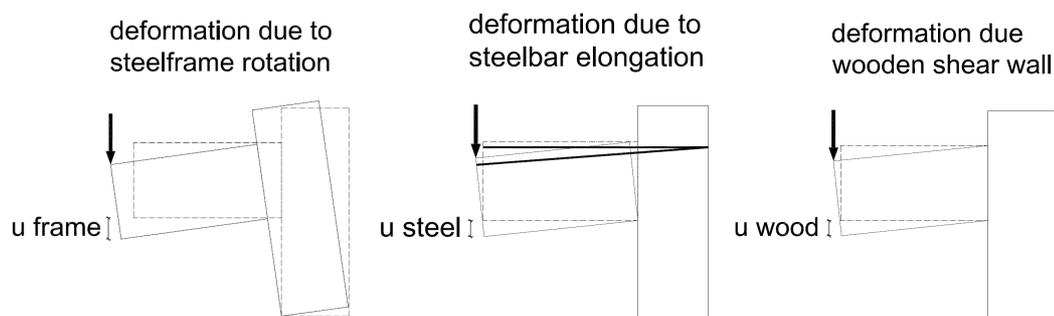


Abbildung 32: Anteile der gemessenen Vertikalverschiebung
 $u_{\text{total}} = u_{\text{frame}} + u_{\text{steel}} + u_{\text{wood}}$

Die Verformung zufolge der Stahlzugglieder und des Stahlrahmens bei unterschiedlicher Belastung kann folgenden Abbildungen entnommen werden.

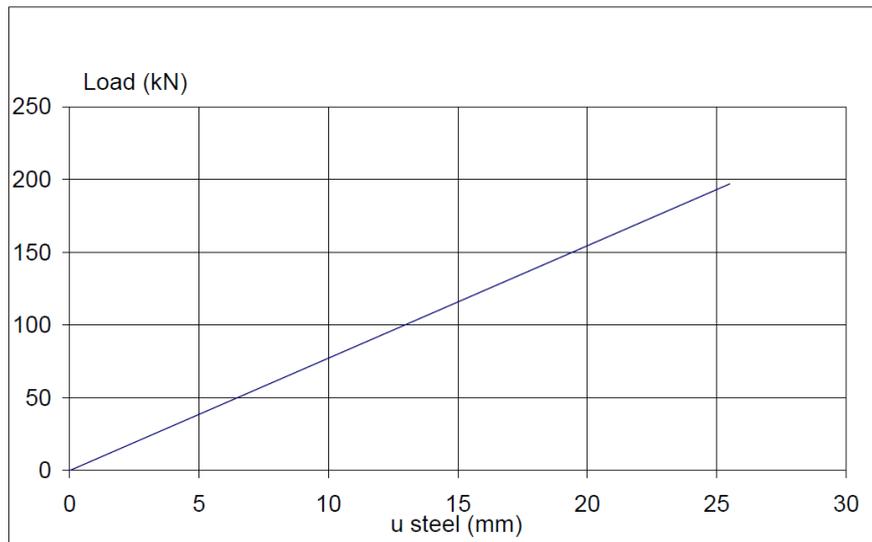


Abbildung 33: Verformung zufolge Stahldehnung

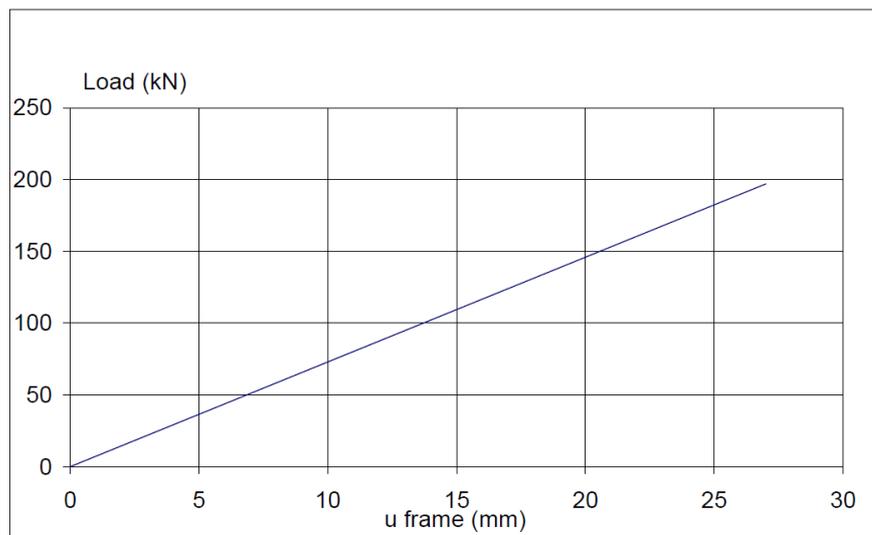


Abbildung 34: Verformung zufolge Rahmenverformung

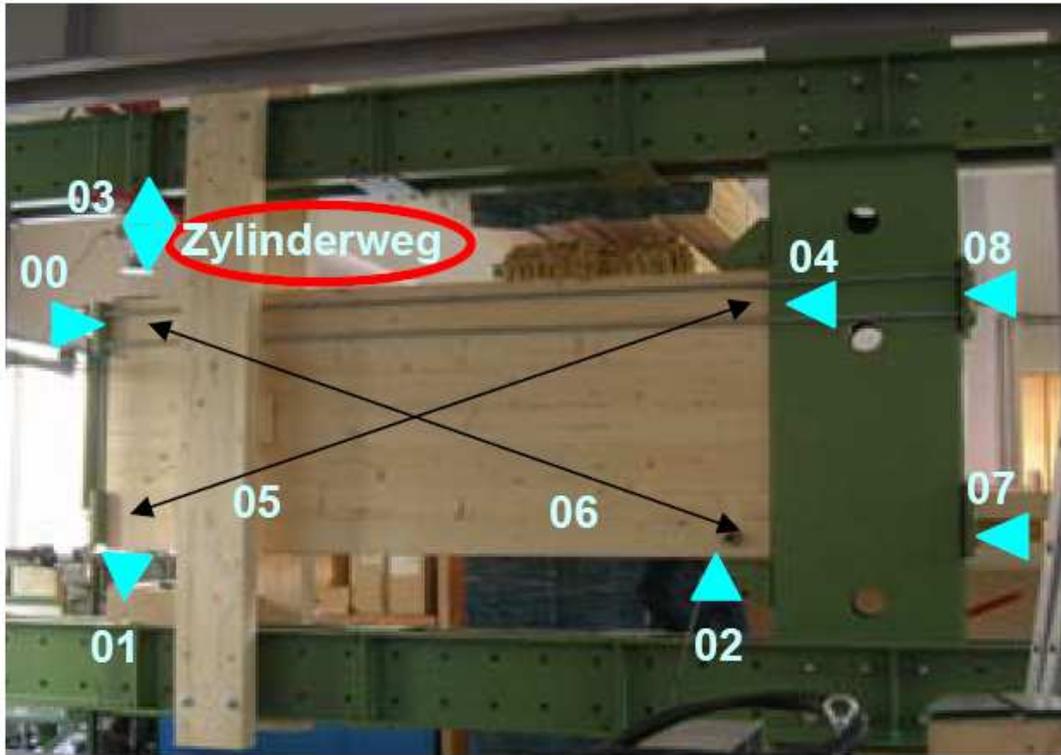


Abbildung 35: Der Zylinderweg

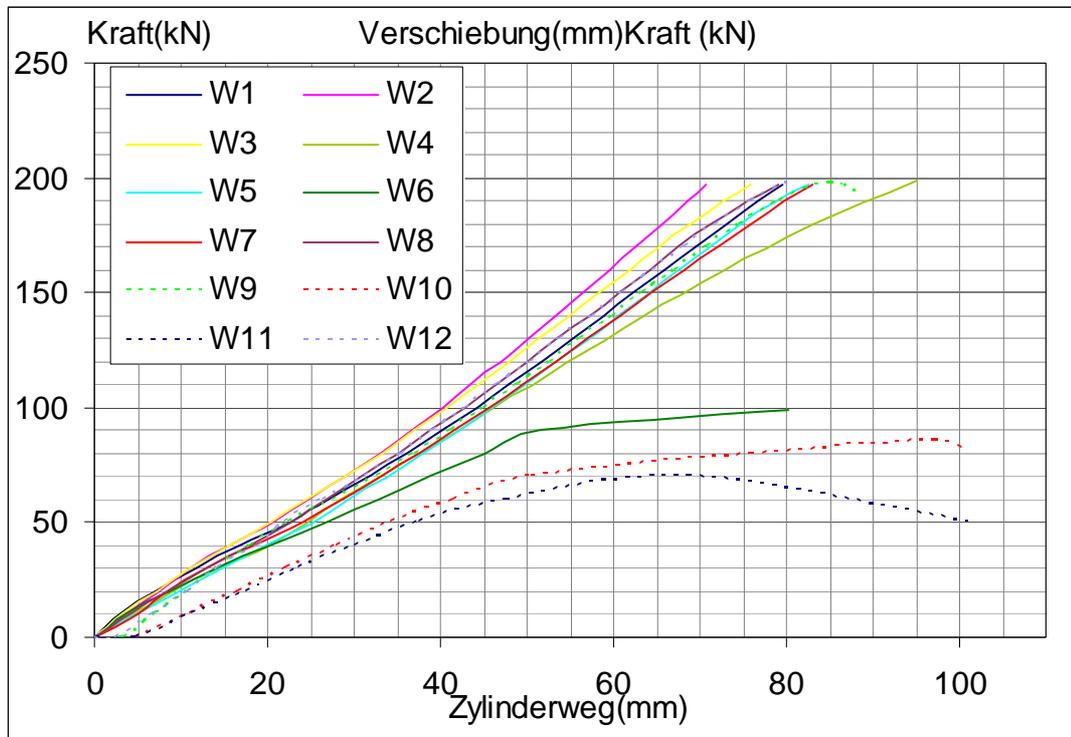


Abbildung 36: Verschiebungs-Kraft-Diagramm des Zylinderweges

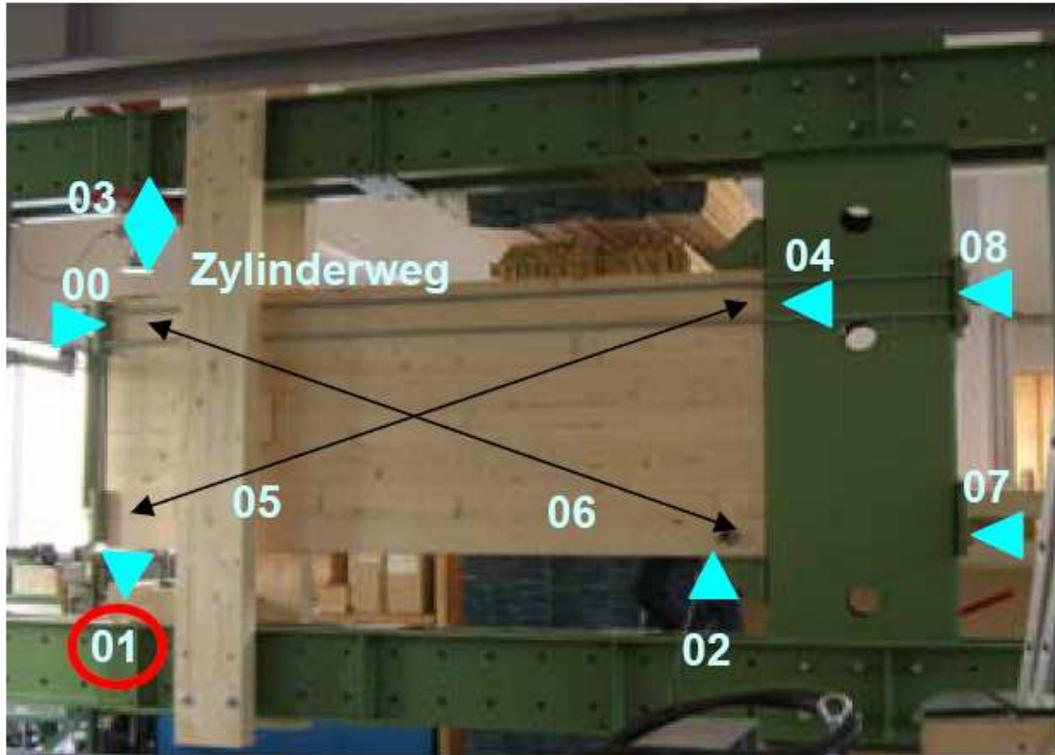


Abbildung 37: Die Messung der vertikalen Verschiebung am unteren Scheibenkopf

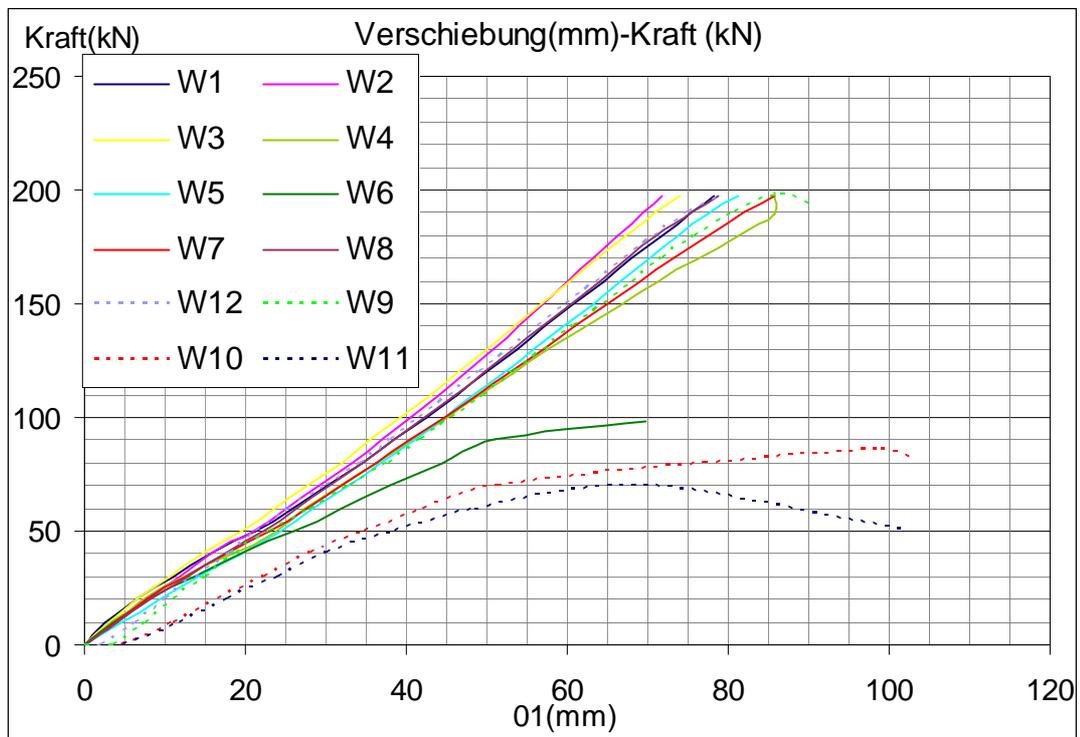


Abbildung 38: Verschiebungs-Kraft-Diagramm der vertikalen Verschiebung am unteren Scheibenkopf

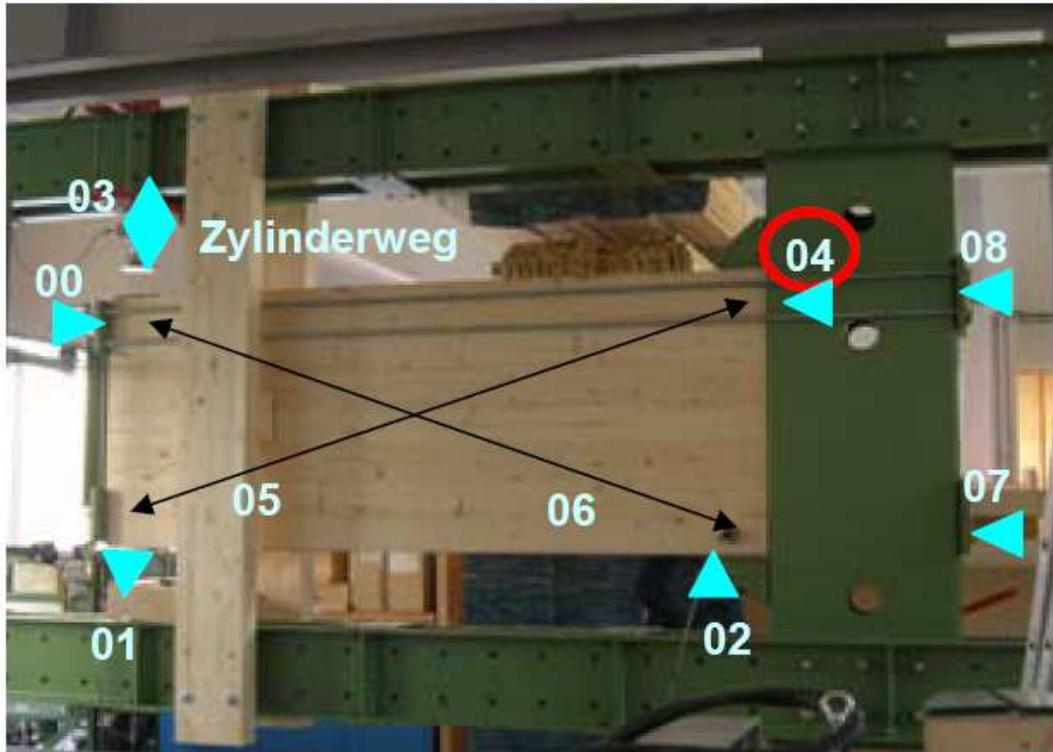


Abbildung 39: Die Messung der horizontalen Abhebung des Fußpunktes

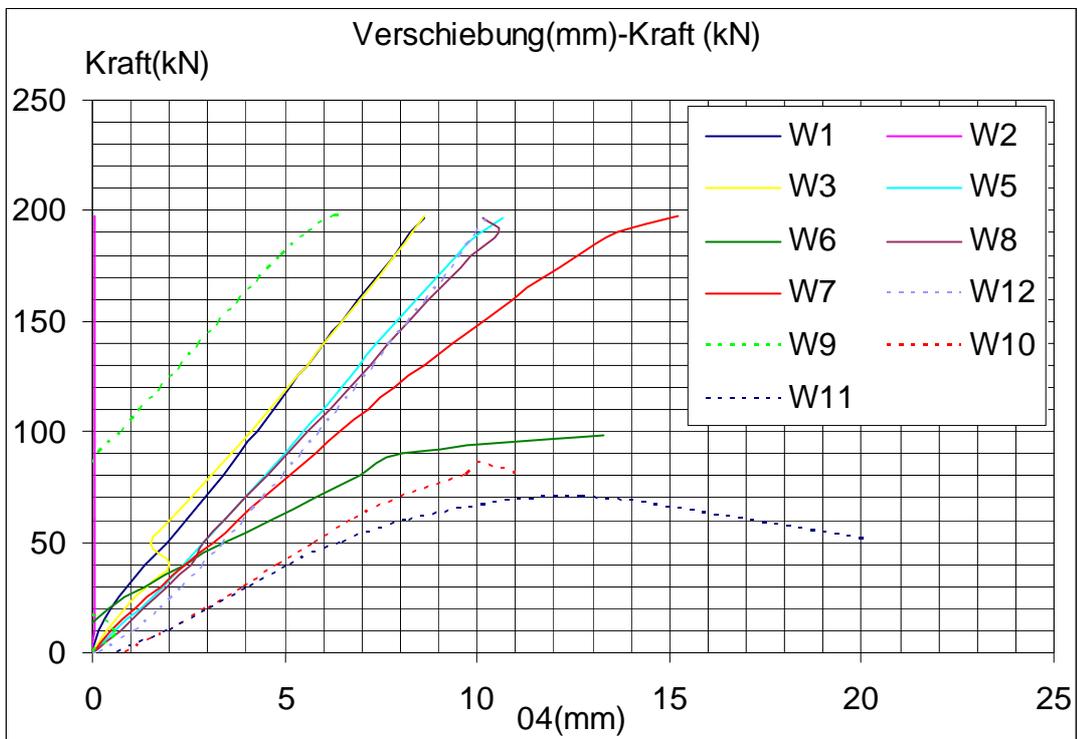


Abbildung 40: Verschiebungs-Kraft-Diagramm der horizontalen Abhebung des Fußpunktes

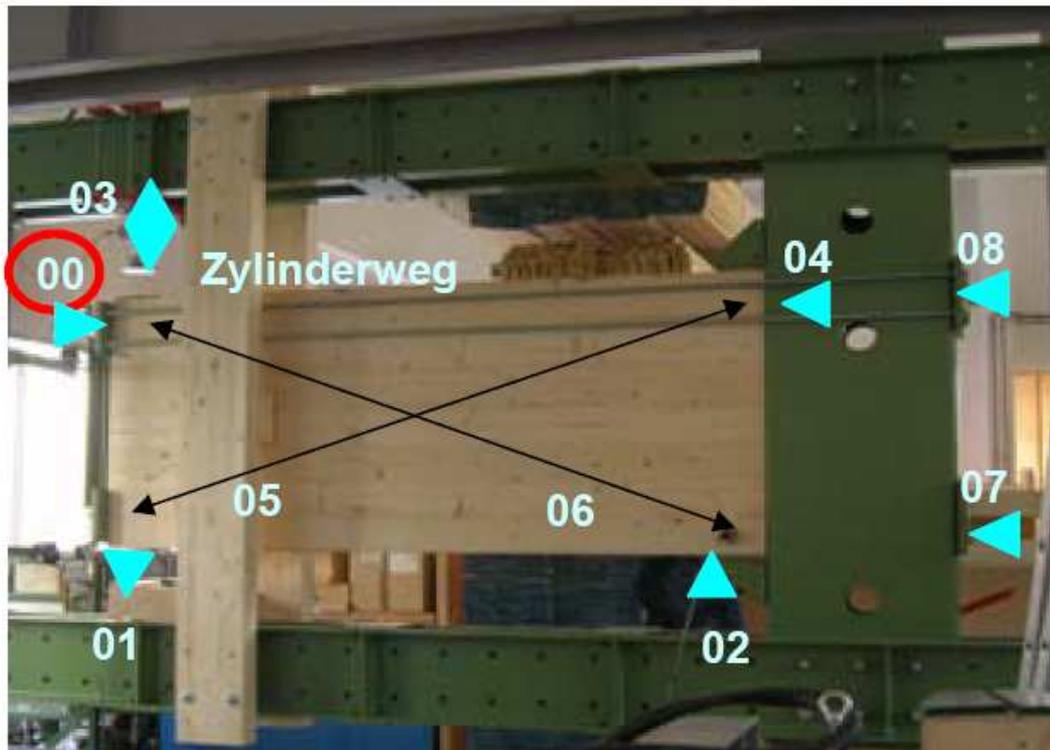


Abbildung 41: Die Messung der horizontalen Verschiebung am unteren Scheibenkopf

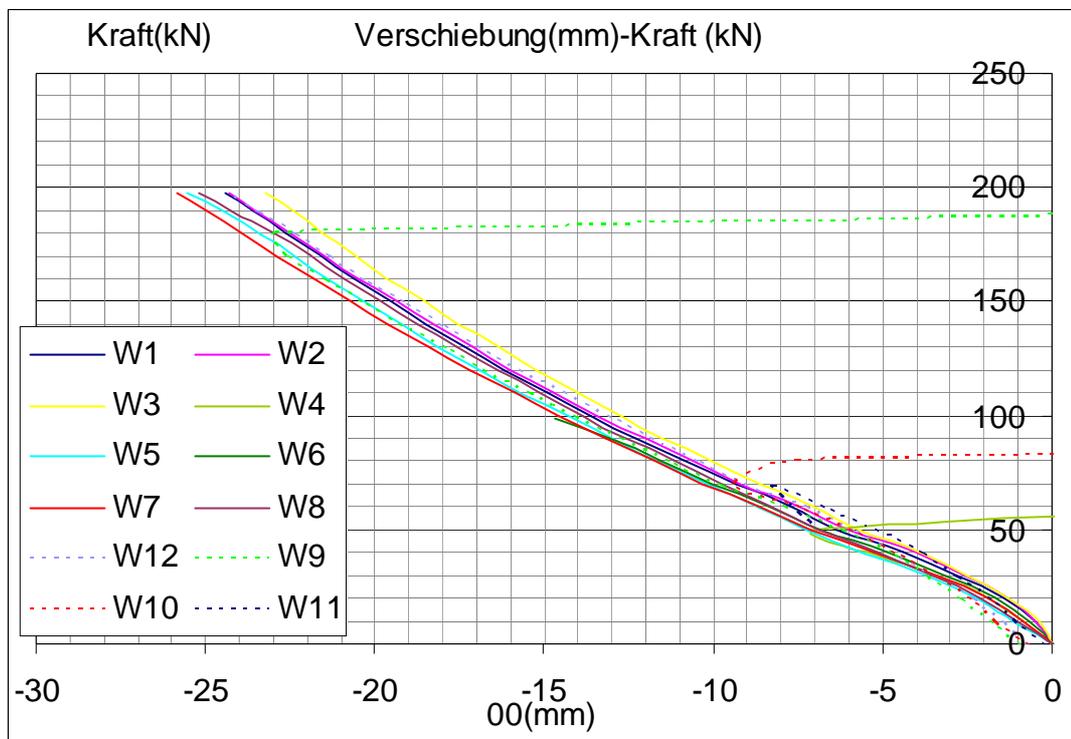


Abbildung 42: Verschiebungs-Kraft-Diagramm der horizontalen Verschiebung am unteren Scheibenkopf

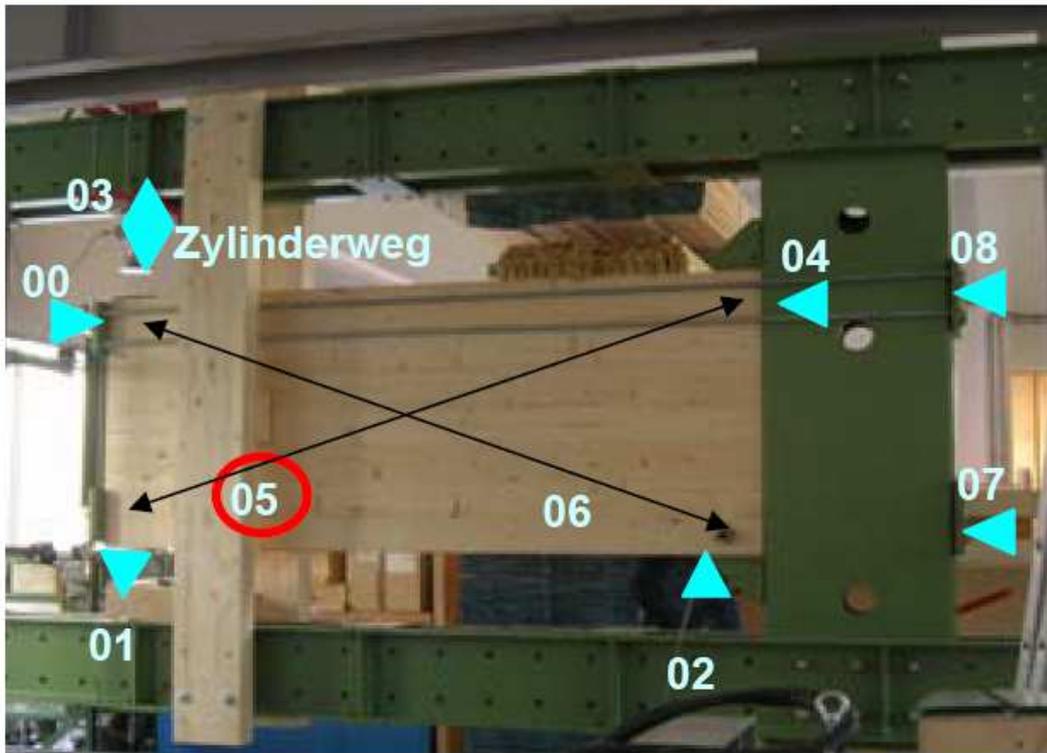


Abbildung 43: Die Messung der Dehnung der Zugdiagonale

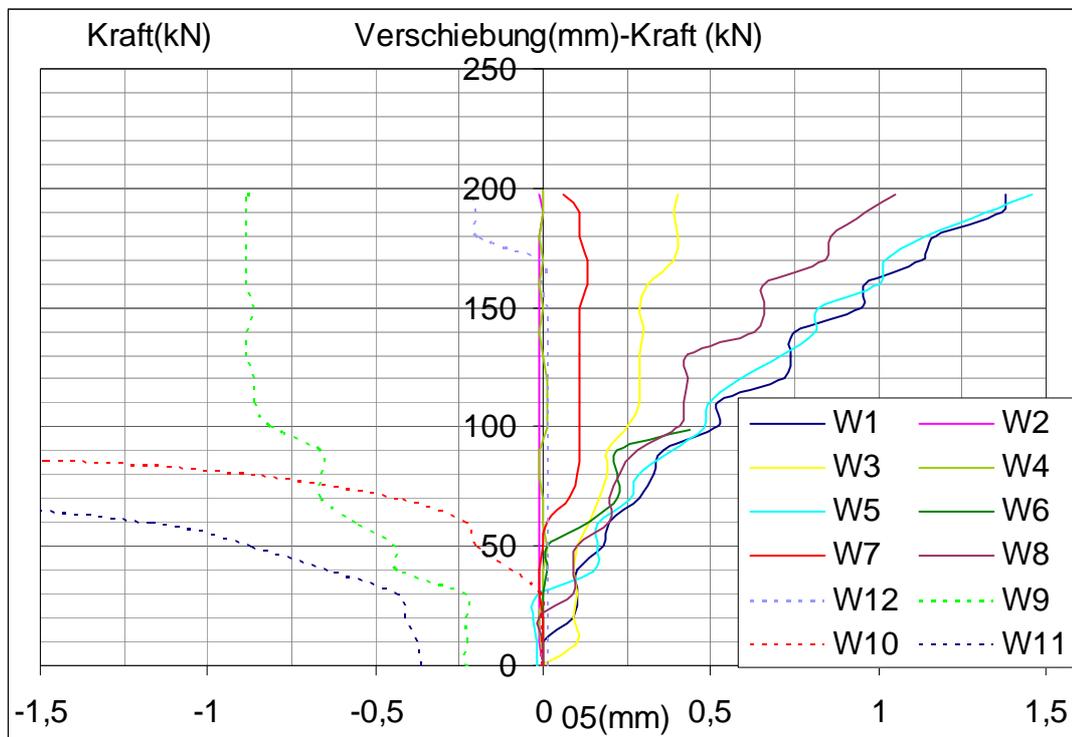


Abbildung 44: Verschiebungs-Kraft-Diagramm der Dehnung der Zugdiagonale

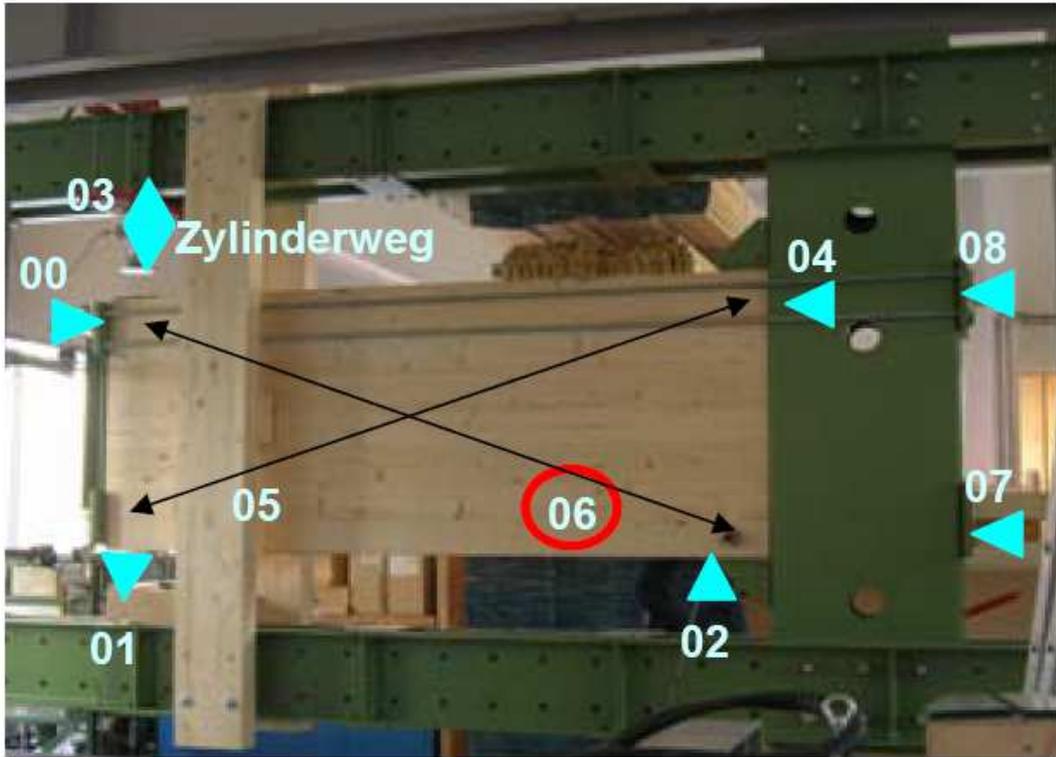


Abbildung 45: Die Messung der Stauchung der Druckdiagonale

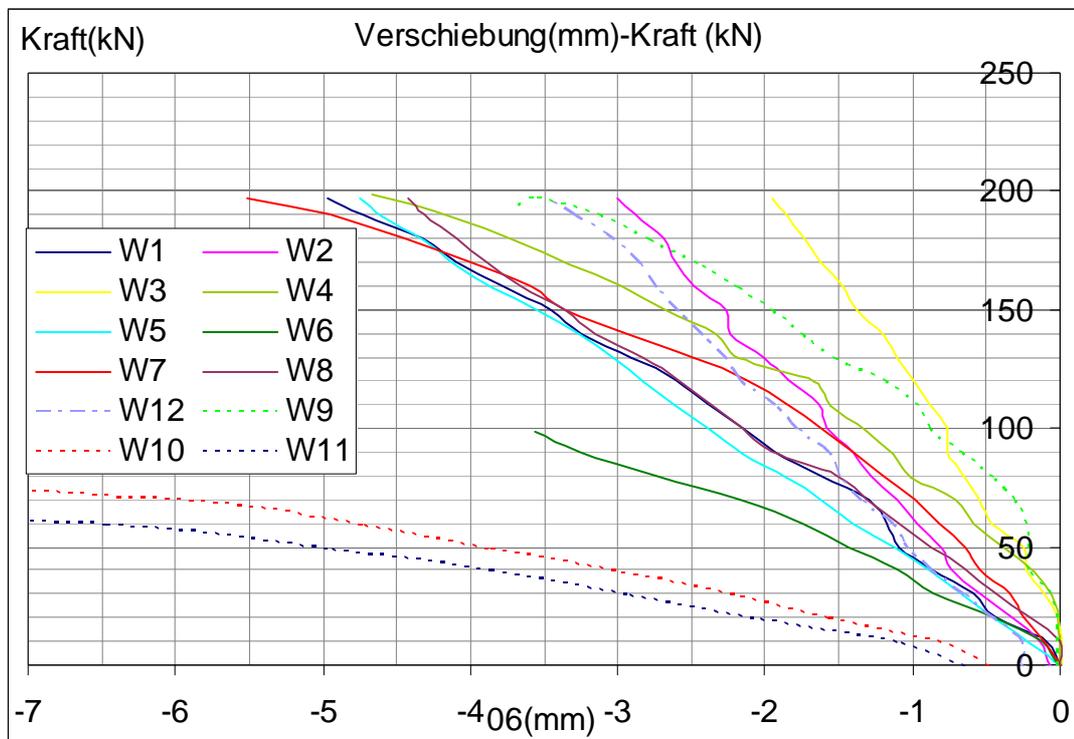


Abbildung 46: Verschiebungs-Kraft-Diagramm der Stauchung der Druckdiagonale

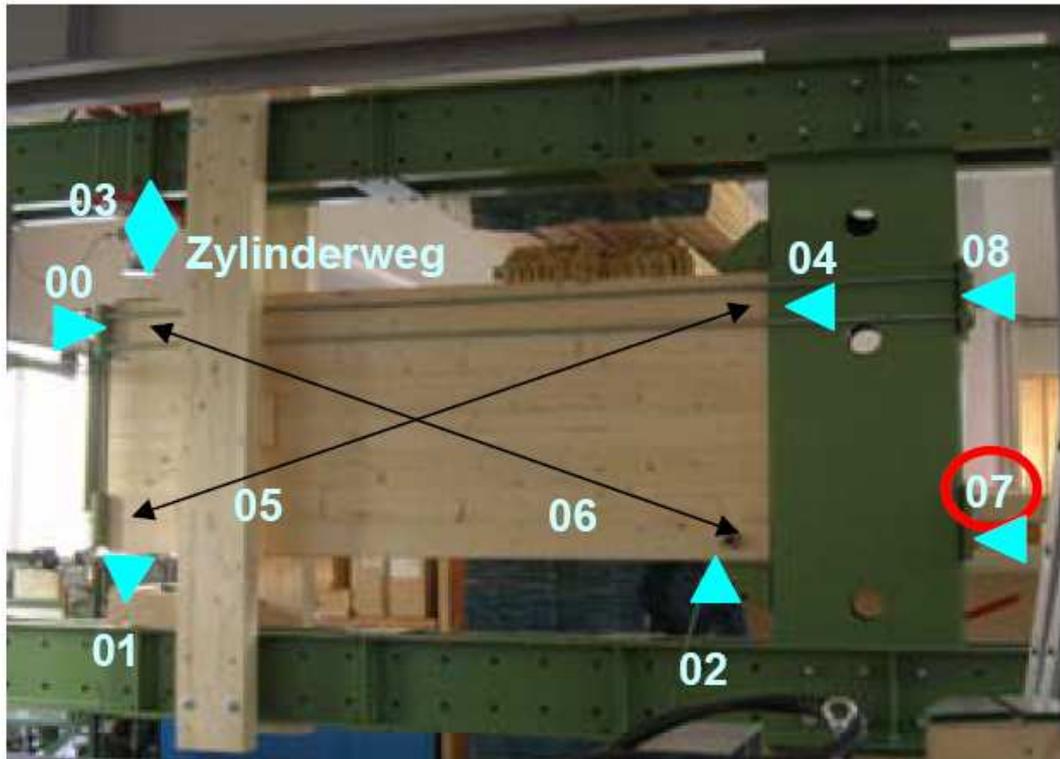


Abbildung 47: Die Messung der Rahmenverformung

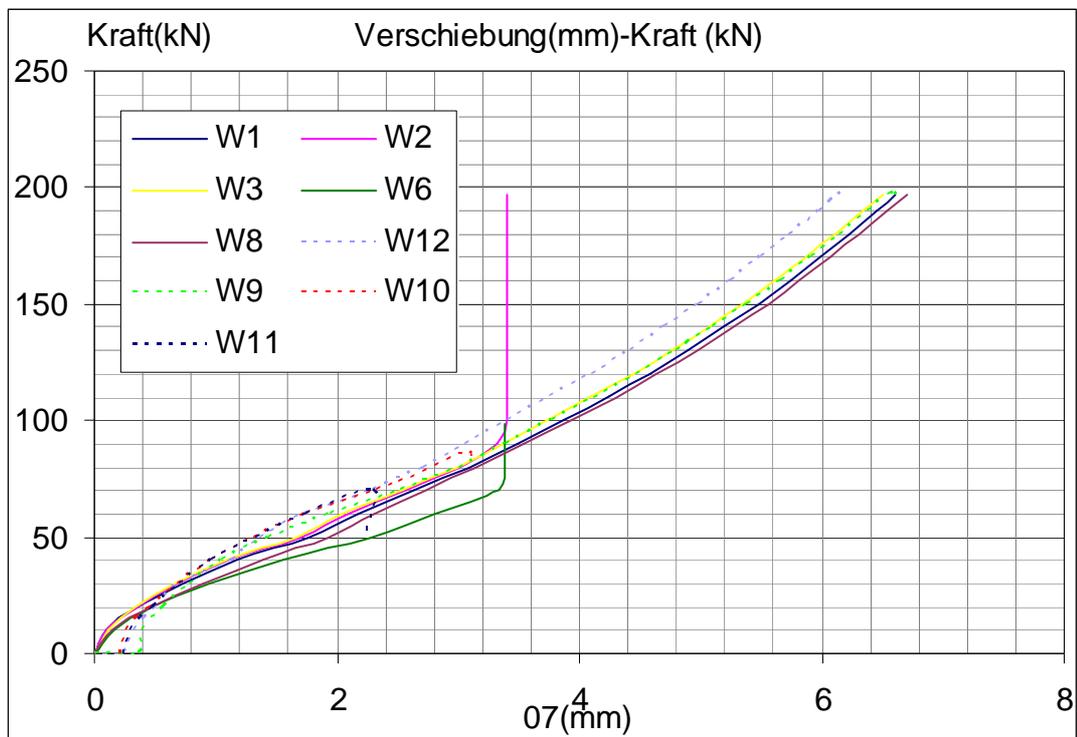


Abbildung 48: Verschiebungs-Kraft-Diagramm der Rahmenverformung

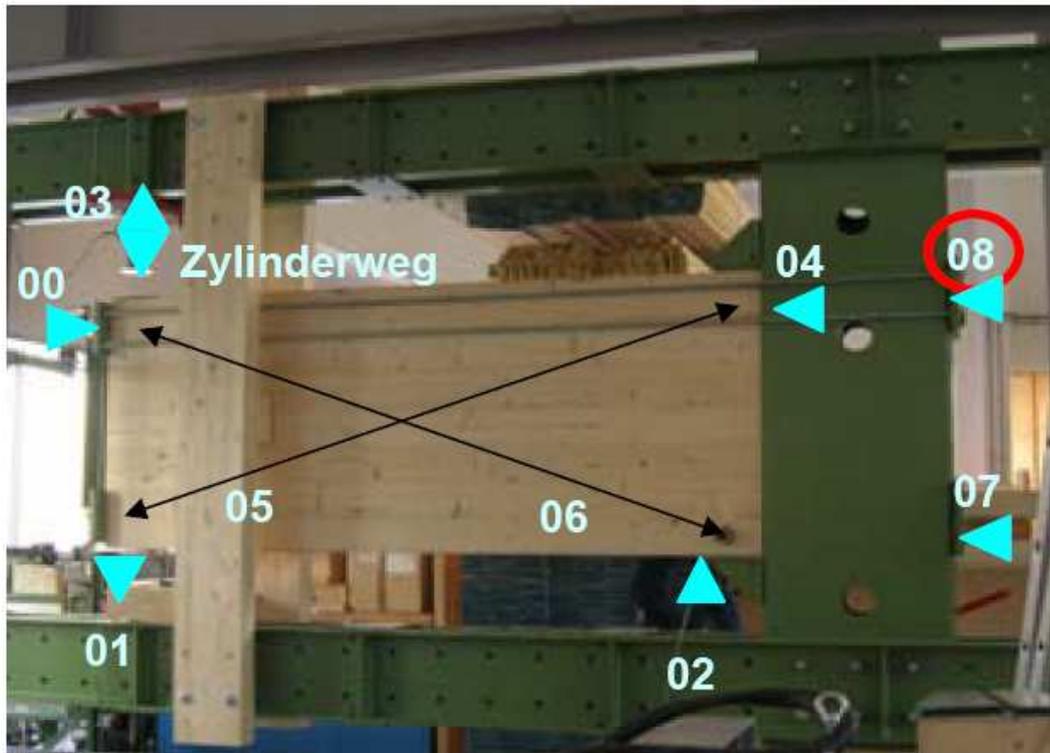


Abbildung 49: Die Messung der Rahmenverformung

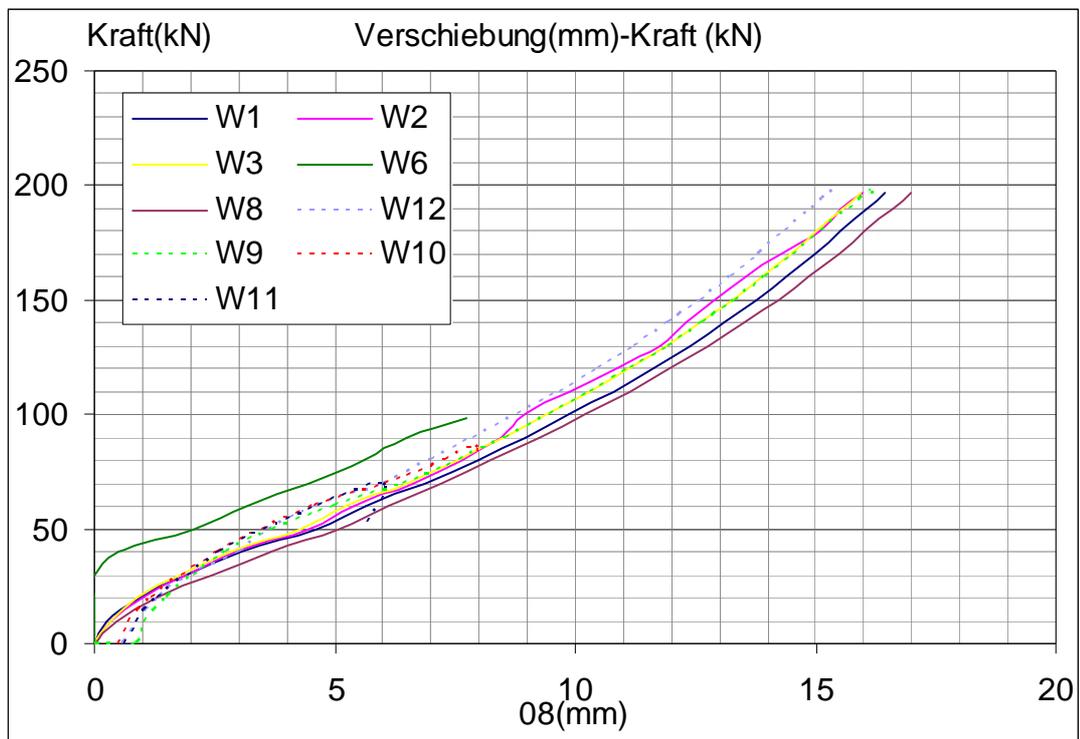


Abbildung 50: Verschiebungs-Kraft-Diagramm der Rahmenverformung

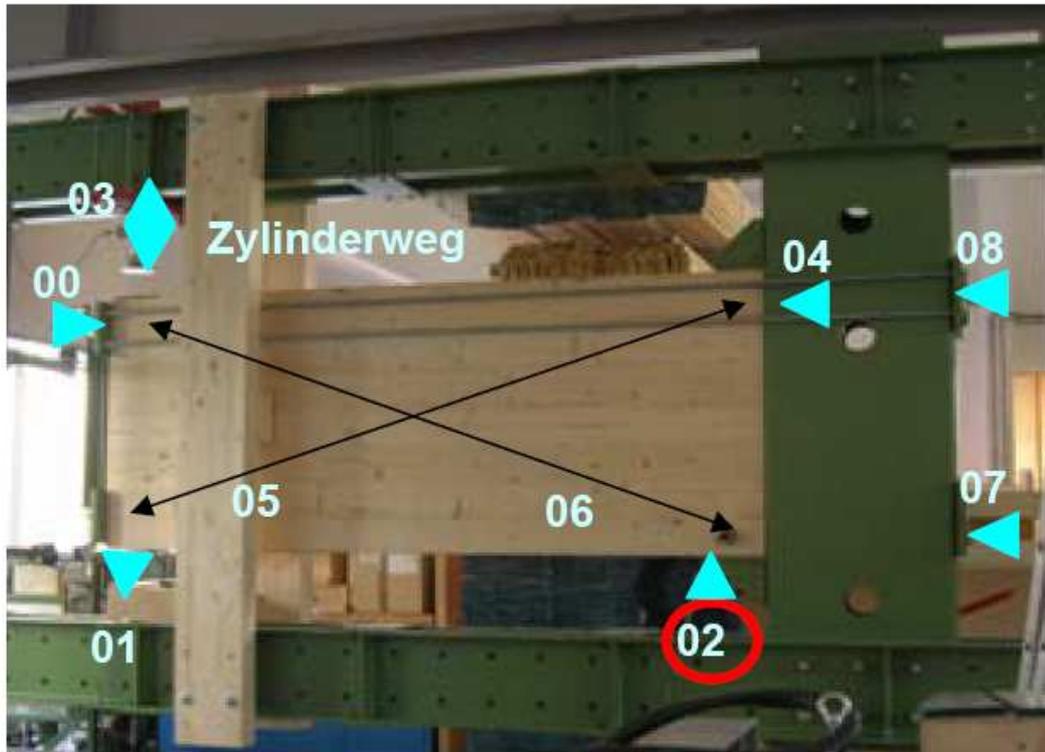


Abbildung 51: Die Messung der vertikalen Stauchung des Auflagerpunktes

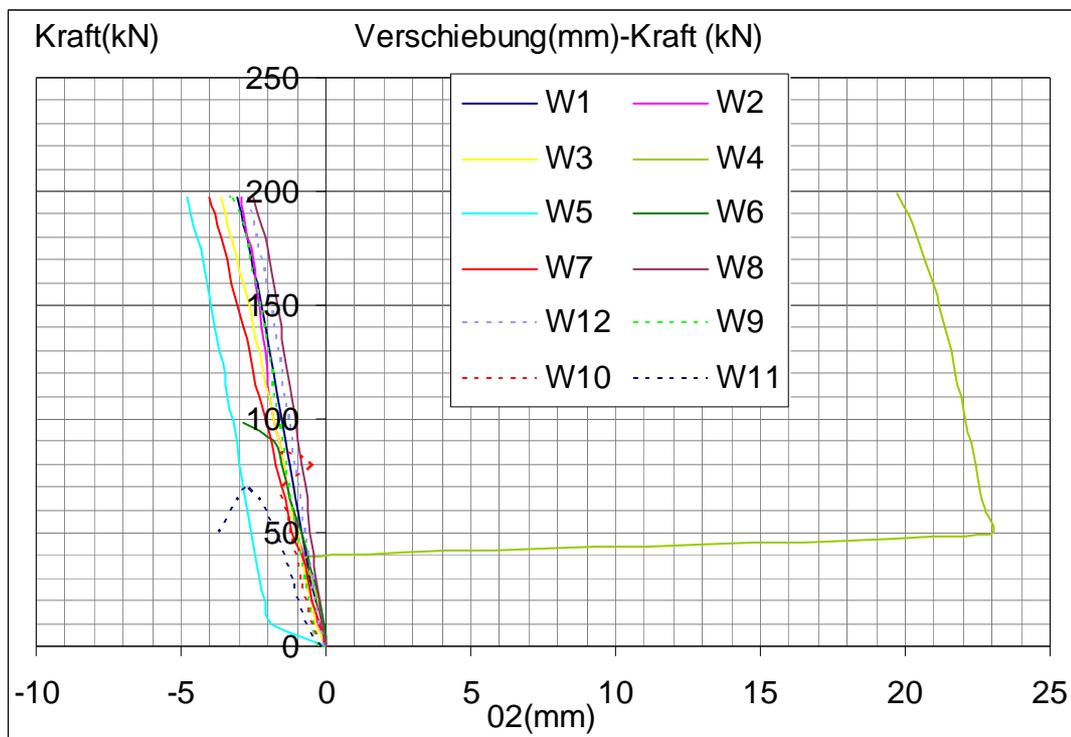


Abbildung 52: Verschiebungs-Kraft-Diagramm der vertikalen Stauchung des Auflagerpunktes:

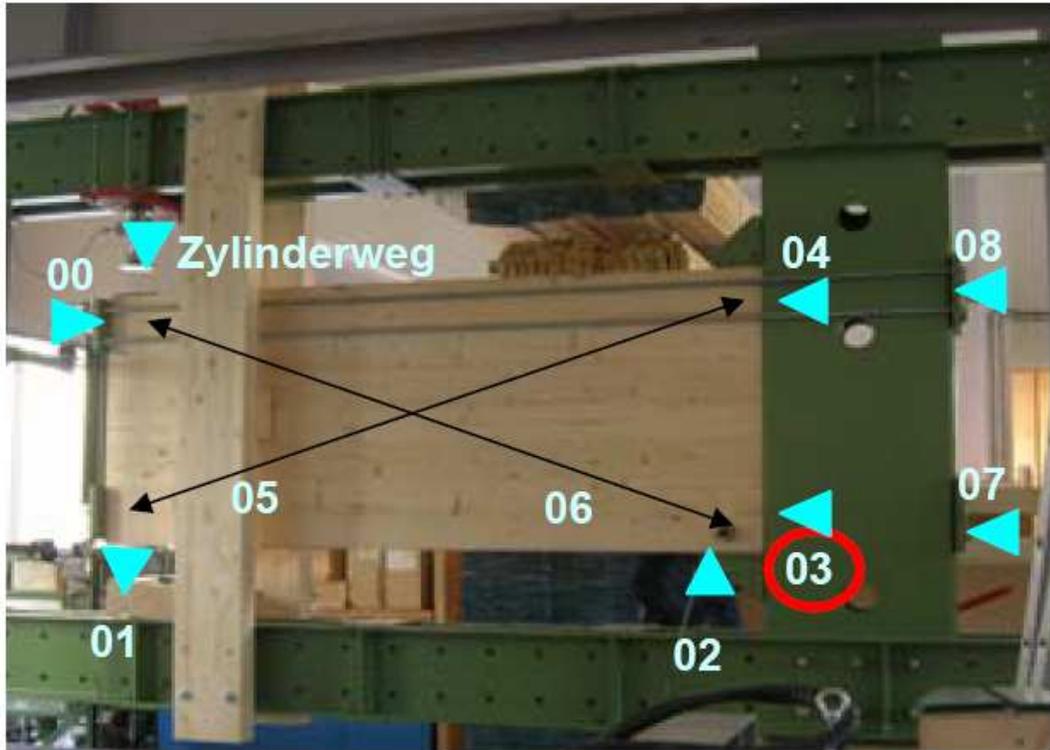


Abbildung 53: Die Messung der horizontalen Stauchung des Auflagerpunktes

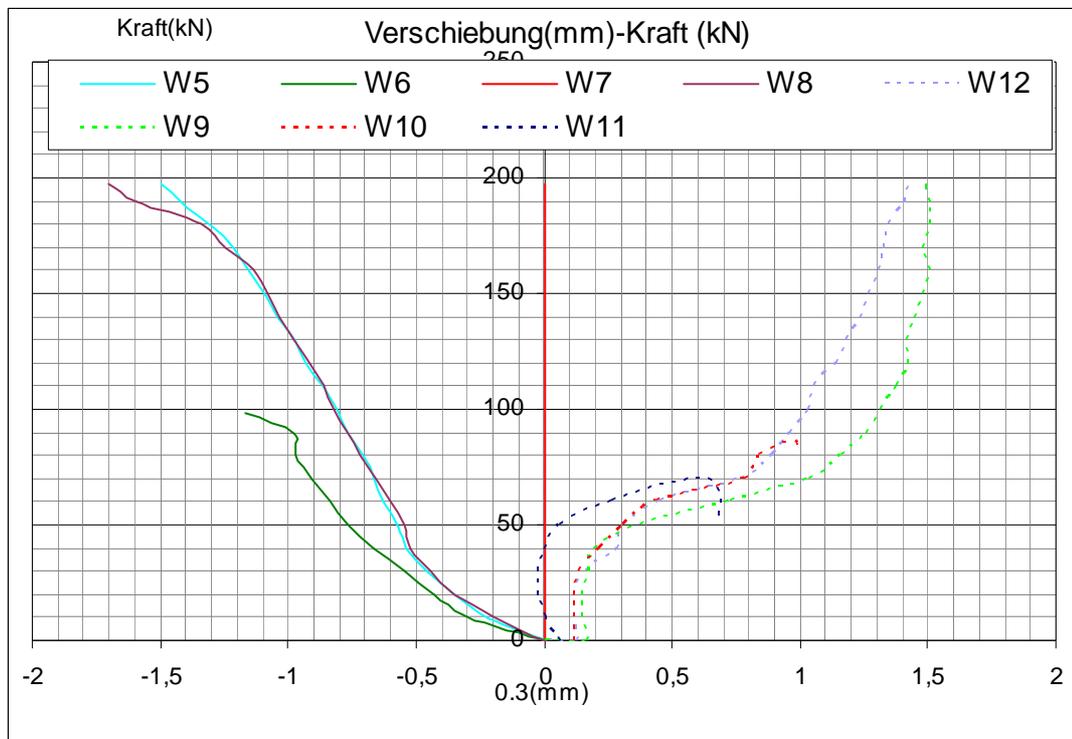


Abbildung 54: Verschiebungs-Kraft-Diagramm der horizontalen Stauchung des Auflagerpunktes:

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Holzwandscheibe auch bei sehr großen Belastungen und abgesehen von lokalen Verformungen, keine nennenswerten bleibenden Deformationen erlitten hat.

Einige lokale Brüche sind während der Versuchsdauer akustisch vernommen worden, die Lokalisierung dieser Bruchstellen war aber nicht immer möglich (Bruch innerer Lagen).

Das beste Ergebnis lieferte Wand 2, mit 2 Diagonallagen unter 66 Grad.

Diese Wand war allerdings asymmetrisch aufgebaut, und die getestete Seite war die Seite der Diagonallagen in Richtung der Druckdiagonale. Dies ließ die berechnete Vermutung zu, dass die andere Richtung der Wand um einiges schwächer ausgebildet war.

Die Schlussfolgerung aus den Versuchen war, eine Wand mit schrägen Lagen, aber mit einem symmetrischen Aufbau der Lagen in engere Wahl zu ziehen.

Außerdem waren die Produktionsvorteile einer „klassischen kreuzweise Aufbaues“ bei guten Leistungsdaten bei den Ergebnissen der Wände 1 und 8 nicht zu übersehen.

Deswegen wurden die bereits vorbelasteten Wände 1 und 12 einer zyklischen Beanspruchung nach ISO 16670 unterzogen (Prüfprotokolle siehe Anhang).

3.4.1.2 Zyklische Versuche

Die Versuche wurden weggesteuert durchgeführt, mit einer maximal zulässigen Verformung am Scheibenkopf.

Dabei wurden die Stahlstangen an beiden Seiten der Wand angebracht, (siehe Abbildung 55).

Das Ergebnis des Zylinderweges ist für beide Wände in Abbildung 57 dargestellt.

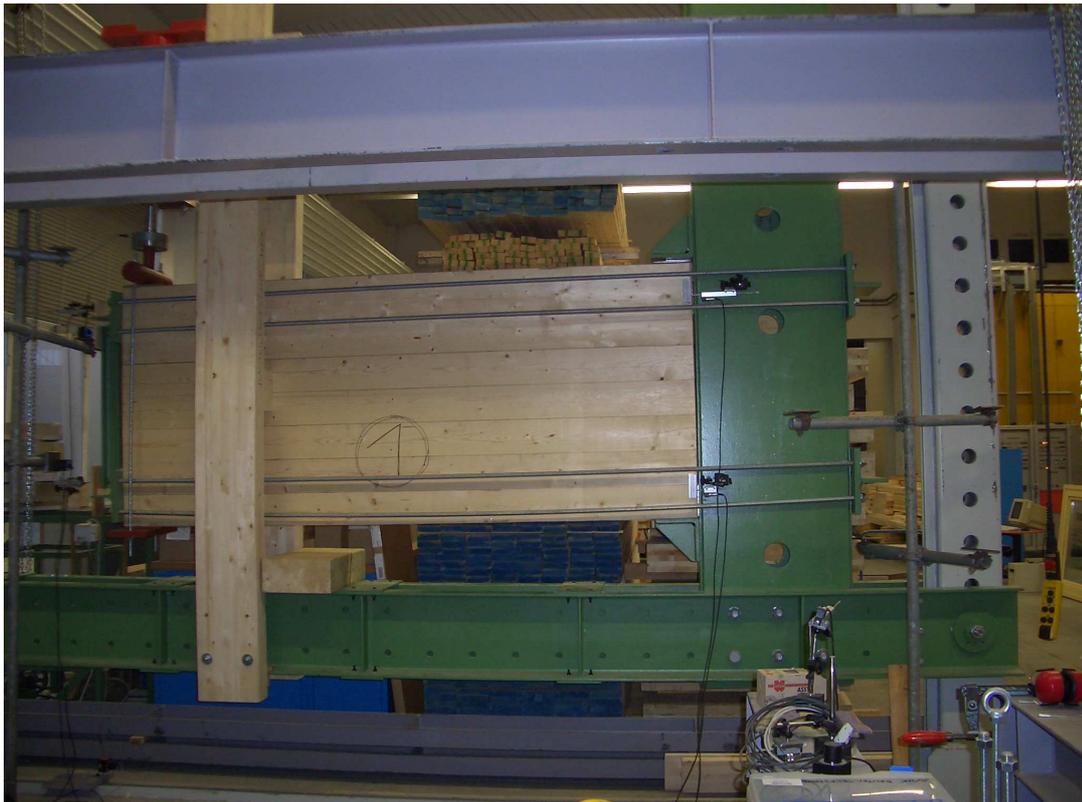


Abbildung 55: Zyklischer Test der Wand 1



Abbildung 56: Zyklischer Test der Wand 12

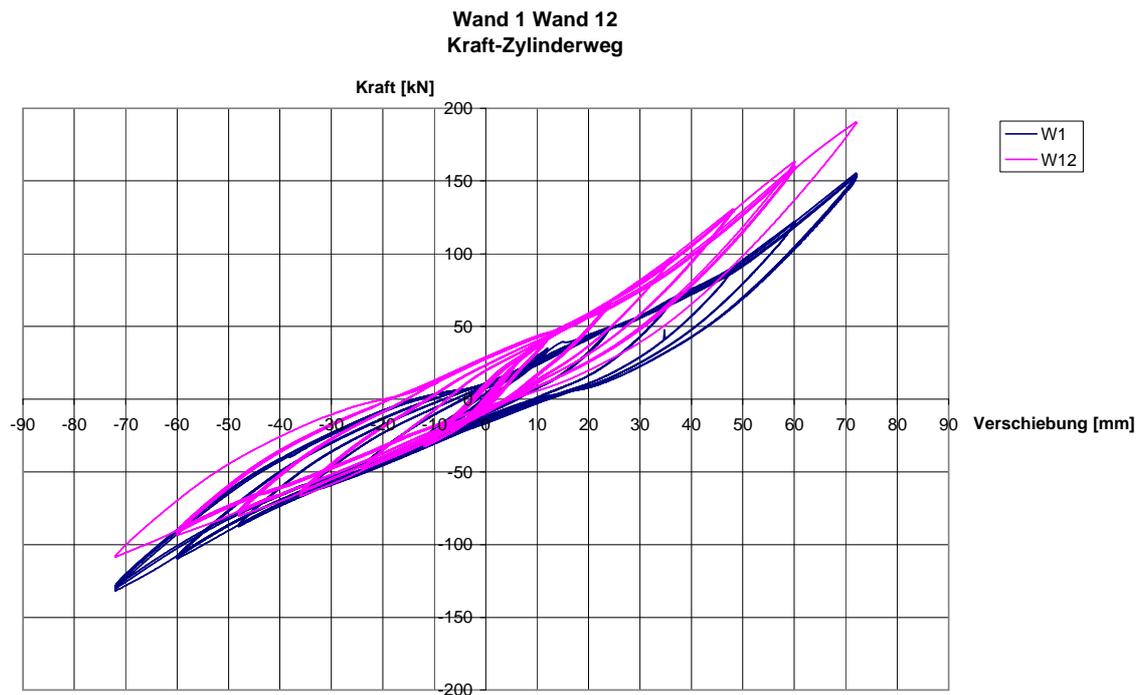


Abbildung 57: Gegenüberstellung der Versuchsergebnisse der Wände 1 & 12, zyklisch getestet

Die Messung des Zylinderweges hat eine maximale Verschiebung von 72,02 mm für die Wand 1 und von 72,03 für die Wand 12 ergeben. Die Verschiebung in die andere Richtung wurde für beide Wände mit 72,01 mm gemessen.

Die Wand 12 hat eine größere Dämpfung (von der Hystereseurve eingeschlossenen Kurve entspricht der dissipierten Energie) aufgewiesen.

3.4.2 2. Versuchsreihe: Testen der gewünschten Verbindungstechnik

Die Leistungsdaten der beiden geprüften Wände haben eine weiteren Versuchsgang mit den tatsächlich geplanten Wänden (Holzscheibe + eingebaute Stahlelemente mit Berücksichtigung der Befestigungstechnik am Fundament und zwischen den Stöcken) notwendig gemacht.

Daher wurden 3 weitere Wände, nämlich Wände 13, 14 und 15 produziert. Der Aufbau der Wand 13 war identisch mit dem Aufbau der Wand 1 (siehe Abbildung 58).



Abbildung 58: Wand 13 mit Stahlzugelementen

Der Aufbau der Wände 14 und 15 (Abbildung 59) war identisch mit dem Aufbau der Wand 12, mit dem Unterschied, dass die mittlere vertikale Lage nun 40 statt 47 mm stark war.

Damit haben wir eine Gesamtwandstärke von $32 \times 4 + 40 = 168$ mm für die Wände 14 und 15.



Abbildung 59: Wand 14, 15 mit Stahlzugelementen

Die zyklischen Tests sind in der Folge dokumentiert und die Ergebnisse abgebildet.



Abbildung 60: Wand 13

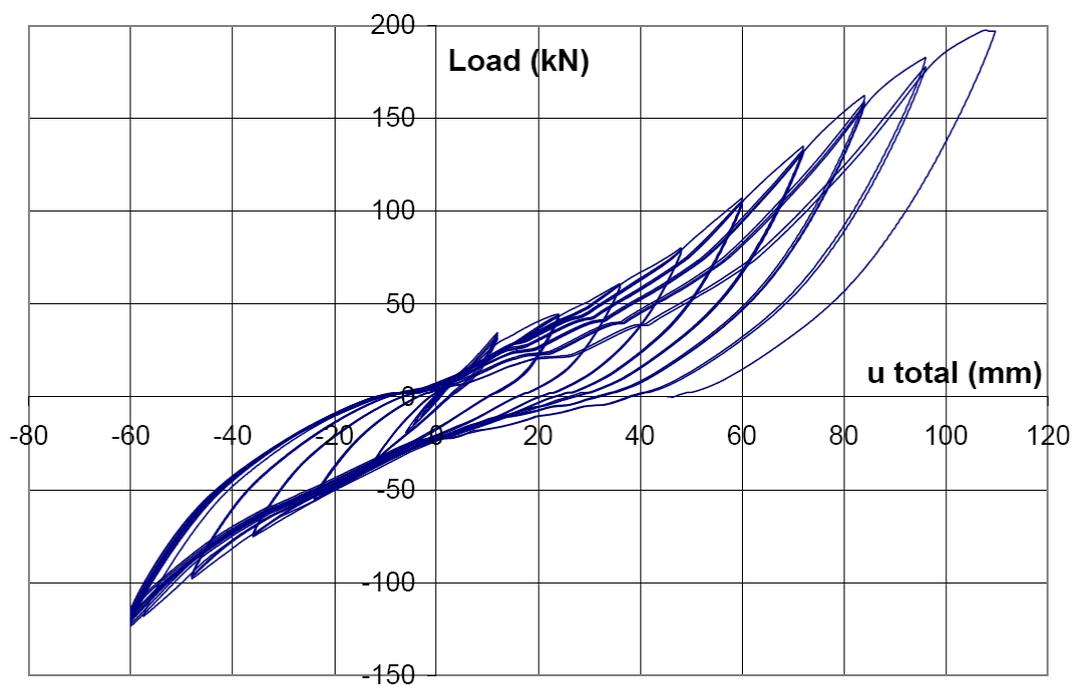


Abbildung 61: Kraft-Verschiebungsdiagramm W13

Bei den Versuchen 14 und 15 wurde die gleiche Wand unterschiedlich eingebaut:
Bei Wand 14 waren die Diagonallagen in Druckdiagonalrichtung an den Außenflächen angeordnet.

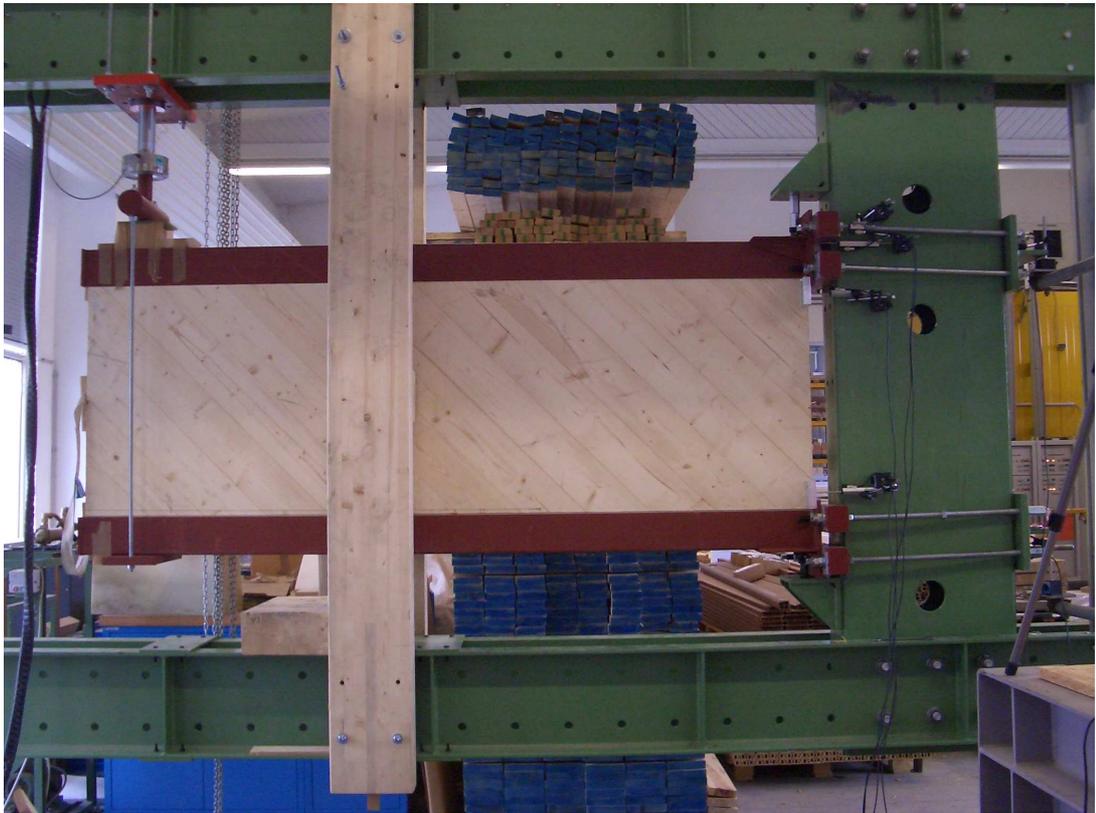


Abbildung 62: Wand 14

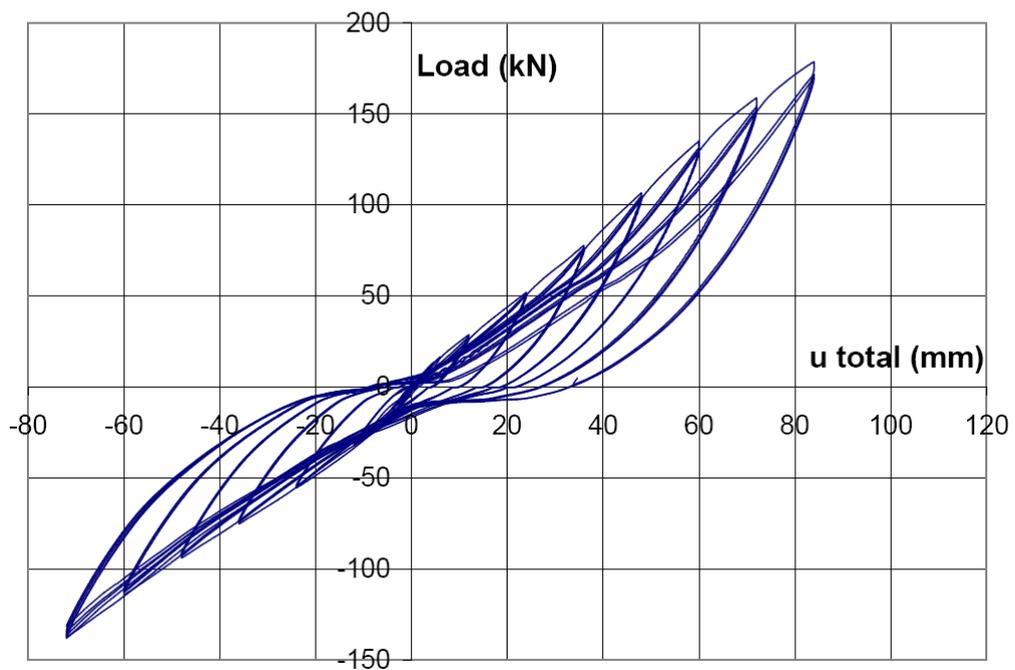


Abbildung 63: Kraft-Verschiebungsdiagramm W14

Bei Wand 15 waren die Diagonallagen in Zugdiagonalrichtung an den Außenflächen angeordnet.



Abbildung 64: Wand 15

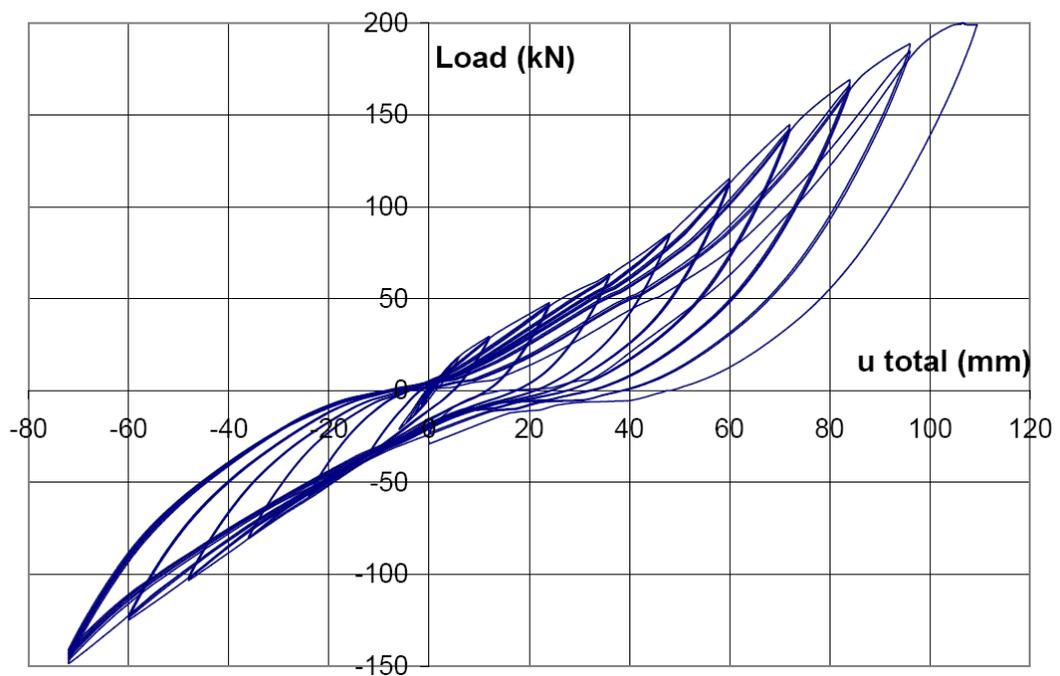


Abbildung 65: Kraft-Verschiebungsdiagramm W15

Die obere und die untere Stahlplatten haben sich bei den Versuchen plastifiziert (Abbildung 66, Abbildung 67).



Abbildung 66: Plastifizierung der unteren Stahlplatte:



Abbildung 67: Plastifizierung der oberen Stahlplatte

Die Ergebnisse der 3 Wände sind in der Abbildung 68 nochmals zusammengefasst. Der Zylinder konnte Zugkräfte bis maximal 150 kN aufbringen. Deswegen sieht das Last-Verformungsdiagramm für beide Richtungen unterschiedlich aus.

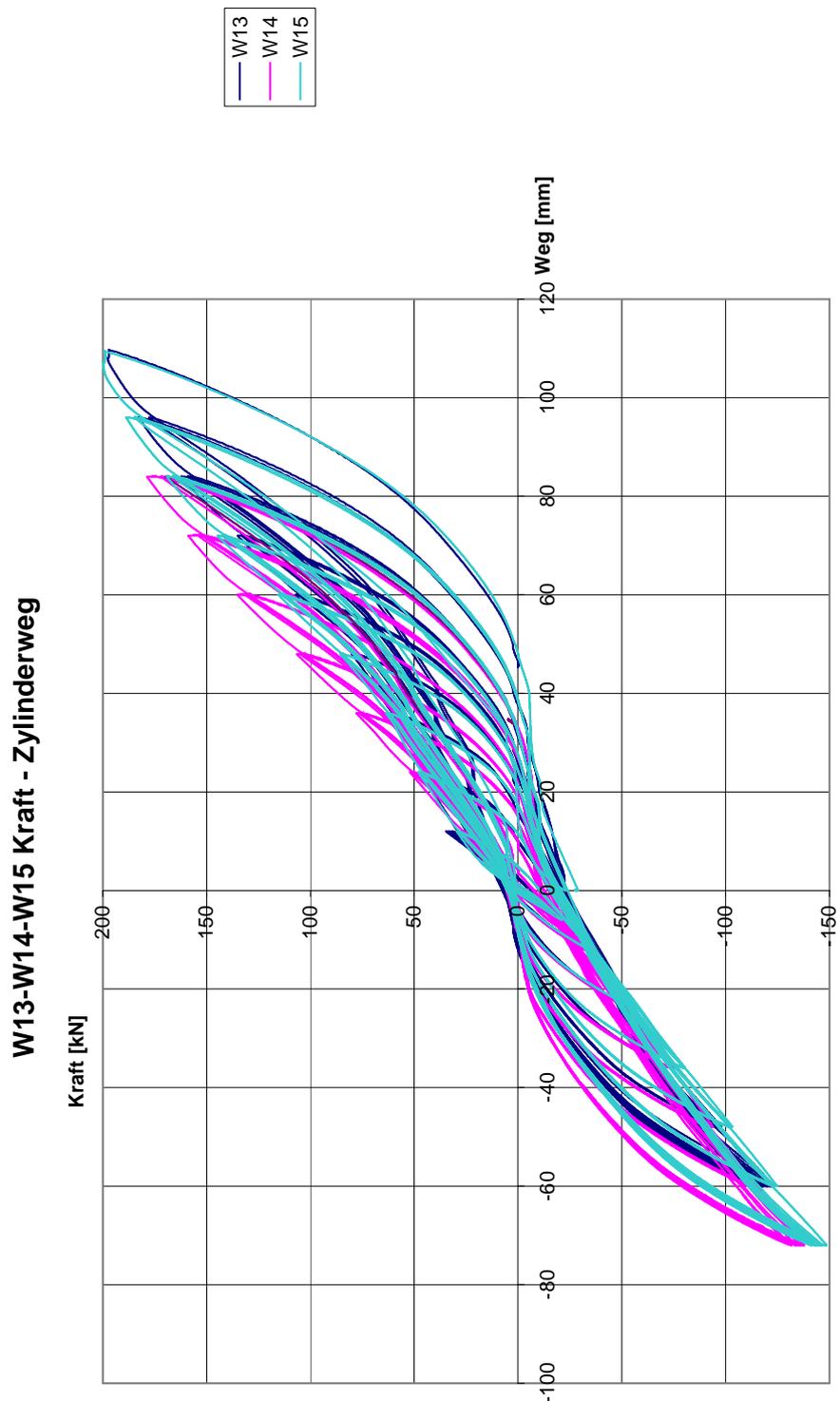


Abbildung 68: Gegenüberstellung der Versuchsergebnisse von Wand 13, Wand 14 & Wand 15 mit Stahlschuhen zyklisch getestet

Da es immer wieder Probleme mit der Lastaufbringung auf der Zugseite des Zylinders gab, wurden die Werte auf der Druckseite des Zylinders zur Ermittlung der Verschiebungen des Wandelementes herangezogen. Diese Werte sind in der Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Verformungen der Wände 13, 14 und 15

	Kraft kN	V0 mm	M01 mm	M07 mm	M08 mm	V-Rahmen mm	V-Holz+Zugelement mm	V-mittel mm
W 13	100	5,18	58,24	3,92	10,2	17,50	45,92	
	100	6,69	57,28	3,92	10,2	17,50	46,47	46,03
	100	6,9	56,29	3,92	10,2	17,50	45,69	
	150	6,04	84	5,55	14,2	24,10	65,94	
	150	5,56	81,52	5,55	14,2	24,10	62,98	63,98
	150	5,16	81,97	5,55	14,2	24,10	63,03	
	170	9,09	89,28	6,06	15,47	26,22	72,15	
	170	8,61	94,15	6,06	15,47	26,22	76,54	75,34
	170	8,36	95,17	6,06	15,47	26,22	77,31	
W 14	100	7,29	41,82	2,58	8,96	14,29	34,82	
	100	7,31	42,47	2,68	9,14	14,47	35,31	35,18
	100	7,09	42,88	2,75	9,25	14,56	35,41	
	150	7,86	64,07	4,4	15,28	24,37	47,56	
	150	8,1	67,29	4,58	15,62	24,73	50,66	50,44
	150	10	67,45	4,6	15,47	24,35	53,10	
	170	10,11	74,81	5,09	17,68	28,19	56,73	
	170	5,74	79,85	5,22	17,8	28,18	57,41	58,42
	170	8,38	80,17	5,18	17,42	27,42	61,13	
W 15	100	4,5	50,08	3,21	13,35	22,71	31,87	
	100	5,98	51,73	3,27	13,56	23,05	34,66	33,91
	100	6,2	52,15	3,27	13,6	23,14	35,21	
	150	7,81	71,61	4,22	17,55	29,86	49,56	
	150	6,62	76,3	4,23	17,54	29,81	53,11	51,63
	150	6,37	77,14	4,42	18,38	31,27	52,24	
	170	6,14	90,03	4,85	20,17	34,32	61,85	
	170	5,13	88,83	4,88	20,24	34,40	59,56	60,71
	170	-15,43	90,95	4,38	18,22	30,99	44,53	

Da die Wände 14 und 15 anders eingebaut wurden (siehe Bilder auf den letzten Seiten) und die Verformungen in Druckrichtung der Zylinderkraft ca. dieselben Werte für beide Wände ergeben haben, kann in etwa vom gleichen Widerstand des Wandelementes in beide Richtungen ausgegangen werden.

„V0“ entspricht der Anfangsverformung beim Anfahren des jeweiligen Lastzyklus.

„V-Rahmen“ hat die Verformung des Prüfstandes berücksichtigt.

„V-Holz+Zugelement“ entspricht der Verformung des Holzwandelementes mit den Stahlprofilen.

„V-Mittel“ entspricht den mittleren Verformungen bei unterschiedlichen Lastzyklen beim selben Belastungswert.

Der Verlauf der mittleren Verschiebungswerte „V-Mittel“ ist ungefähr linear von den Belastungen abhängig.

„V-Mittel“ sind bei Wänden 14 und 15 ca. identisch und sichtbar besser als die Werte der Wand 13.

Es konnte damit die Überlegenheit eines solchen Wandaufbaues bezüglich horizontaler Steifigkeit gegenüber eines konventionellen Aufbaues solcher Wände gezeigt werden.

Die Plastifizierung der Stahlplatten (auf den Fotos sichtbar) und die lokale Plastifizierung der Holzdruckbereiche haben die Dämpfung der Gesamtscheibe maßgeblich bedingt.

Eine mögliche Steigerung der Dämpfung und der Duktilität des Systems wäre durch die Reduzierung der Anzahl der angeordneten Hilti-Nägeln möglich und wünschenswert.

Da die Tragfähigkeit dieser Verbindungsart auf Abscheren bei Verbindung zwischen 2 „dicken“ Stahlblechen laut Auskunft von Hilti nie überprüft worden ist, wären Kleinversuche zur Überprüfung der Duktilität und des Plastifizierungsvermögens einer solchen Verbindung notwendig.

Bei den durchgeführten Versuchen hat sich diese Verbindung absolut steif und ohne plastische Verformungen verhalten.

Dabei wurden zyklisch ca. 63 Nägel auf etwa 470 kN auf Abscheren beansprucht. Dies entspricht einer Abscherkraft von ca. 7,5 kN pro Nagel.

Dieser Wert wurde auch für andere Verbindungen zwischen Stahlteilen mit ähnlichen Stärken zur Dimensionierung herangezogen.

3.5 Modellierung der Scheibe

Zur Ermittlung der notwendigen Eingabedaten für die weiteren RFEM Berechnungen wurden die Mittelwerte der getesteten Wände 14 und 15 herangezogen (siehe Tabelle 2).

Eine Ermittlung der Materialkennwerte (Elastizitätsmodul und Schubmodul) konnte aufgrund der Belastungsart und der Wandscheibengeometrie nicht erfolgen, da für die Ermittlung dieser Werte normativ andere Versuche notwendig sind.

Die rein iterativ ermittelten „fiktiven“ Werte sind ergebnisorientiert und haben keinerlei Aussagekraft über die tatsächlichen Kennwerte der Platte.

Es wurden auch keine Eigenfrequenzen der Wand gemessen, was die spätere Erdbebenberechnung erheblich erschwerte. Für ähnliche Konstruktionen sind auch keine Erfahrungswerte (z.B. Koeffizienten der Rayleigh-Dämpfung) bekannt.

Zur Ermittlung der „fiktiven“ Materialkennwerte der getesteten Holzwandscheibe mit Stahlzuggliedern wurde das Programm RFEM zum Einsatz gebracht.

Die Berechnung nach RFEM erfolgte durch Analogie der Verformungen:

Für 3 Belastungsstufen

bei 100 kN: durchschnittlich 34,5 mm Verschiebung (Abbildung 70),

bei 150 kN: durchschnittlich 51,0 mm Verschiebung (Abbildung 71) und

bei 170 kN: durchschnittlich 59,6 mm Verschiebung (Abbildung 72)

wurden die statisch errechneten Verformungen durch Variation der E- und G-Werten den gemessenen Werten angenähert.

Folgende Werte konnten für eine eingeschossige Wandscheibe ermittelt werden:

E-Modul = 230 kN/cm²

G-Modul = 4 kN/cm²

Die Vorgangsweise ist vereinfacht in Abbildung 69 dargestellt:

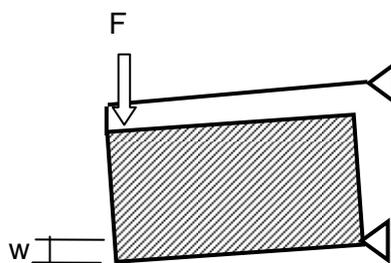


Abbildung 69: Versuche: Zufolge F ergibt sich w

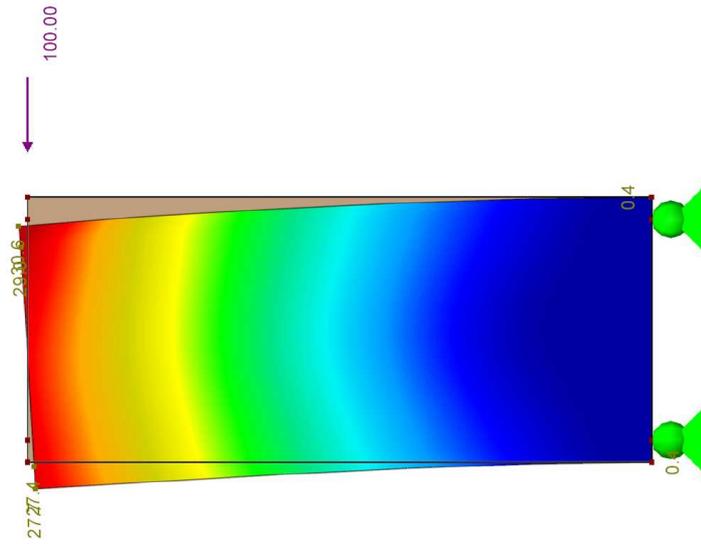


Abbildung 70: Verformung bei 100 kN

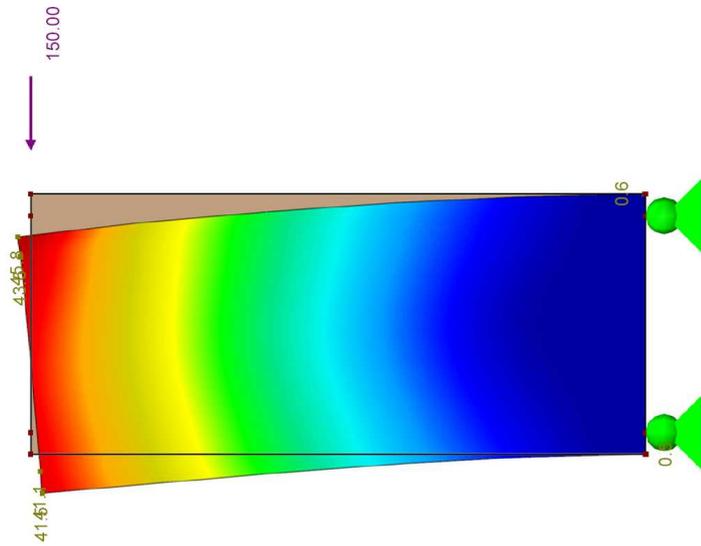


Abbildung 71: Verformung bei 150 kN

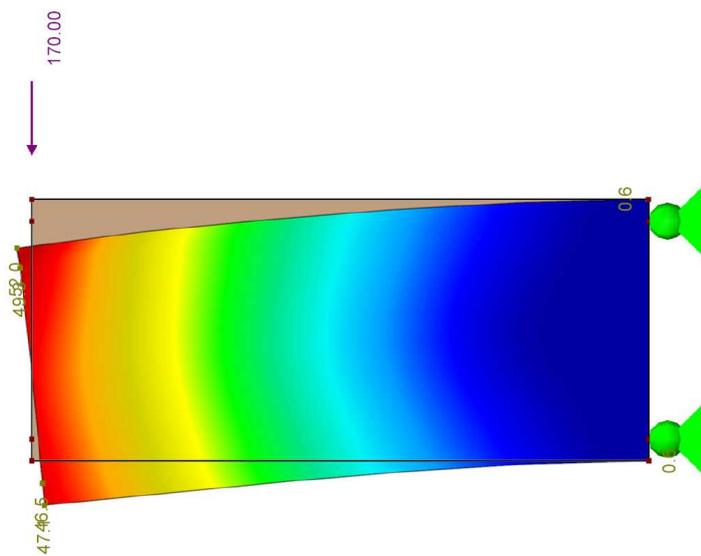


Abbildung 72: Verformung bei 170 kN

4. Fallstudie: 16 Stockwerke unter Erdbeben- und Windbelastung

Um das Verhalten eines sogenannten „Vogelkäfigs“ zufolge Horizontalbelastung grob abschätzen zu können wurde eine Fallstudie in RFEM simuliert.

Dafür wurden folgende vereinfachte Annahmen getroffen:

Die an den Versuchen kalibrierten Werte für den E-Modul und den G-Modul wurden für Schlankheiten von b/h (Wandbreite zu Wandhöhe) von $1/3$ bis $1/2$ eingesetzt.

Die Verbindungen in der Fassadenaussteifung wurden biegesteif angenommen.

4.1 Konstruktion

Das simulierte Gebäude hat einen Grundriss von 27 x 27 Metern und eine Höhe von 52 Metern. Die Stockwerkshöhe beträgt 3,25 Meter.

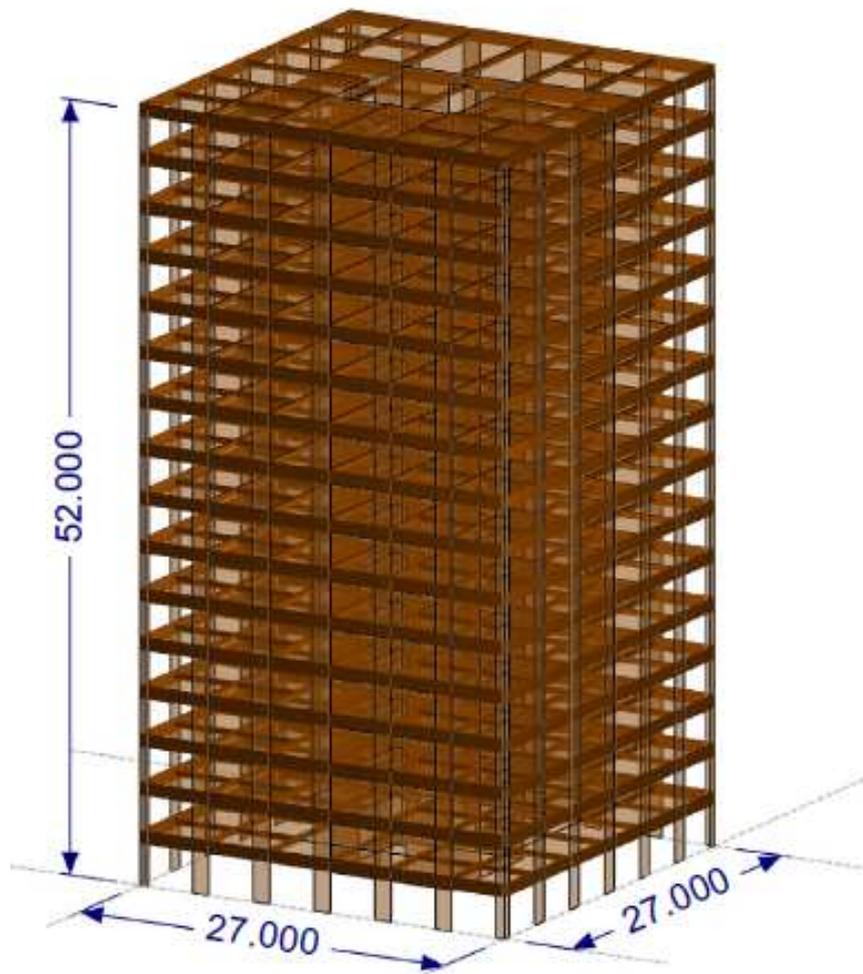


Abbildung 73: Fallstudie: 3D-Modell

Die Aussteifung erfolgt ausschließlich durch biegesteife Verbindungen in der Fassade.

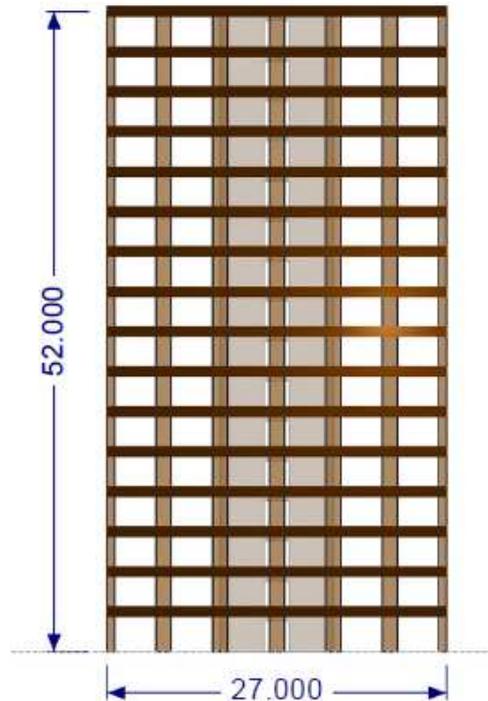


Abbildung 74: Fallstudie: Ansicht

Ein Erschließungskern dient ausschließlich der Vertikallastabtragung und wirkt nicht aussteifend. Die aussteifenden Fassadenwände sind 16 cm BSP-Elemente mit Stahlzuggliedern (siehe Modellierung der Scheibe). Die aussteifenden Fassadenträger sind schlanke Brettschichtholzträger mit einem Querschnitt von 10/90 cm.

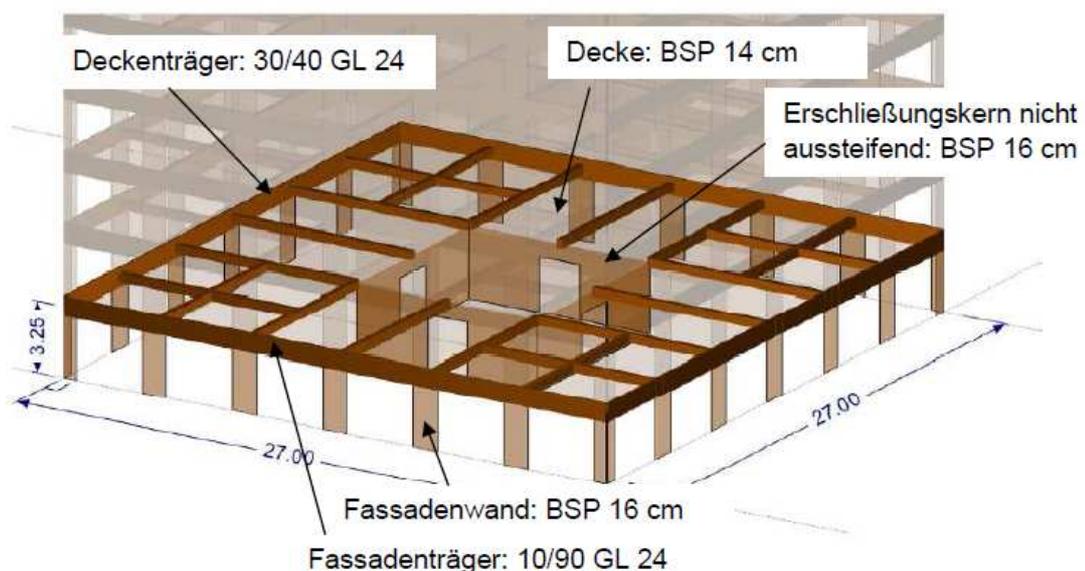


Abbildung 75: Fallstudie: 1 stock

4.2 Lastannahmen

4.2.1 Vertikallasten

Bezüglich der Lasten wurden folgende Annahmen für die Vertikallasten getroffen (EN 1991):

- Nutzlast: 3 kN/m²
- Nutzlast Stiege: 5 kN/m²
- Decke (inkl. BSP - Platte): 2,5 kN/m²
- Zwischenwandzuschlag: 0,5 kN/m²

4.2.2 Erdbebenlasten

Für die Erdbebenberechnung nach EC 8 wurden folgende konstante Eingabedaten gewählt:

- Baugrundklasse "D"
- Dämpfung von 5%
- Typ 1 Spektrum (für Österreich)

Für die Erdbebenberechnung nach EC 8 wurden folgende variable Eingabedaten gewählt:

- Bodenbeschleunigung "ag" von 1 m/s² (in Wien beträgt ag = 0,87 m/s²) und 3 m/s²
- Verhaltensbeiwert "q" von 2 und 4

4.2.3 Windlasten

Für die Windberechnung nach ÖNORM EN 1991-1-4 wurden folgende Annahmen getroffen:

- Lage: Wien 22 somit v₁₀ = 135 km/h
- Geländekategorie IV

4.3 Dynamische Analyse in RFEM

Das Gebäude wurde sowohl für den Lastfall Erdbeben als auch für den Lastfall Wind untersucht. Folgende Lastkombinationen wurden dabei berücksichtigt:

- Tragsicherheit:
 - 1 G + 1,5 W
 - 1 G + 1 E + 0,3 P
- Gebrauchstauglichkeit:
 - 1 G + 1 W + 0,5 P
 - 1 G + 1 E + 0,3 P

Mit G... Eigengewicht

P... Nutzlast

W... Windlast

E... Erdbebenlast

4.3.1 Lastfall Erdbeben

Die Eingabedaten in RFEM für den Lastfall Erdbeben (mit $q=2$ und $a_g=1$) sind in Abbildung 76 dargestellt.

1.9 Ersatzlasten

Norm: Ersatzlasten generieren nach Norm: EUROCODE 8: 2004-11

Lastfall-Nummerierung: Nummer des ersten generierten Lastfalls: 6

Norm-Parameter:

Spektrum-Art: Bemessungsspektrum für lineare Berechnung
 Elastisches Antwortspektrum

Baugrundklasse: D

S: 1.350 [-]

Spektrum-Typ: 1

β : 0.200 [-]

T_{B-H} : 0.200 [s] T_{B-V} : 0.050 [s] q : 2.000 [-]

T_{C-H} : 0.900 [s] T_{C-V} : 0.150 [s] a_g : 1.000 [m/s²]

T_{D-H} : 2.000 [s] T_{D-V} : 1.000 [s] a_{vg} : 0.900 [m/s²]

Zuordnung des Bemessungsspektrums

A	B	C	D	E	F	G
Zu generieren	Eigenform Nr.	Generieren in Lastfall	Ordinate des Bemessungsspektrums Auto	S_{dH} [m/s ²]	S_{dV} [m/s ²]	Kommentar
<input checked="" type="checkbox"/>	1 - 0.22 Hz	6	<input checked="" type="checkbox"/>			
<input checked="" type="checkbox"/>	2 - 0.22 Hz	7	<input checked="" type="checkbox"/>			
<input checked="" type="checkbox"/>	3 - 0.38 Hz	8	<input checked="" type="checkbox"/>			
<input checked="" type="checkbox"/>	4 - 0.82 Hz	9	<input checked="" type="checkbox"/>			
<input checked="" type="checkbox"/>	5 - 0.83 Hz	10	<input checked="" type="checkbox"/>			

Abbildung 76: Eingabedaten in RFEM für den Lastfall Erdbeben

In den folgenden Abbildungen sind die Eigenperioden des Gebäudes für den Lastfall Erdbeben dargestellt.

Die 1. Und 2. Eigenperiode stellen die Translationsschwingungen in X- und Y-Richtung dar.

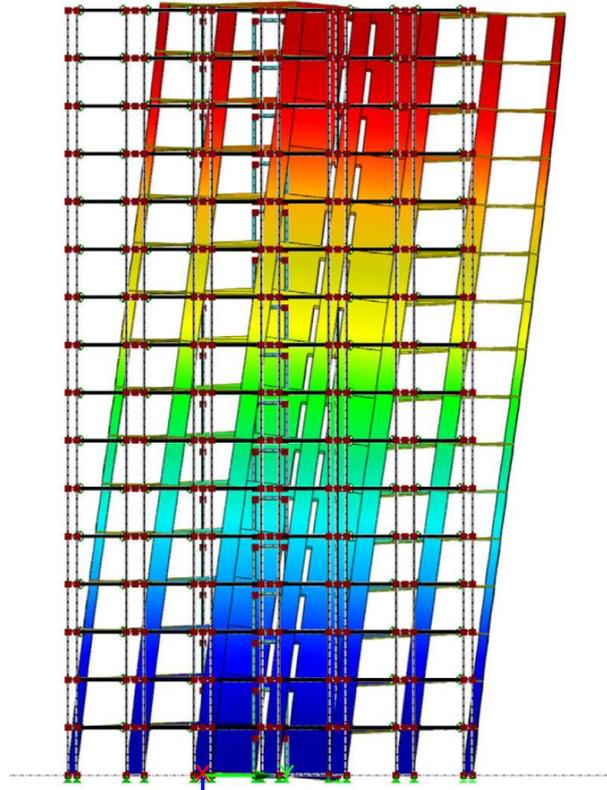


Abbildung 77: 1. und 2. Eigenperiode $T_1 = T_2 = 4,58$ s

Die 3. Eigenperiode stellt die Torsionsschwingung dar.

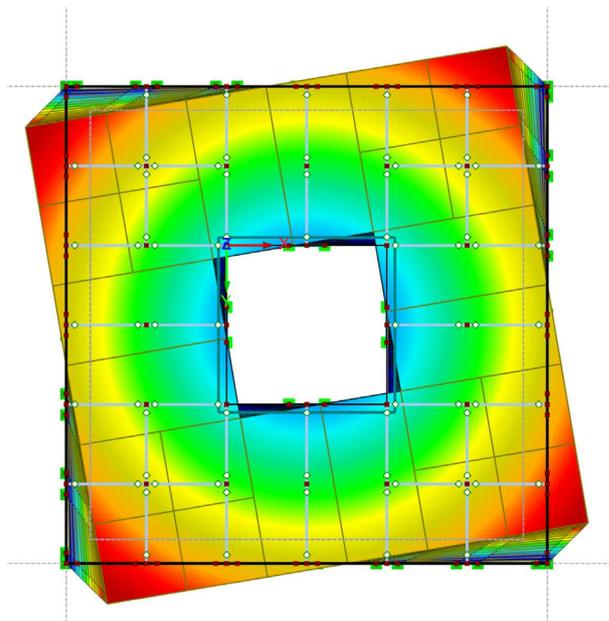


Abbildung 78: 3. Eigenperiode $T_3 = 2,6$ s

Die 4. und 5. Eigenperiode stellen eine weitere Form von Translationsschwingungen in X- und Y-Richtung dar.

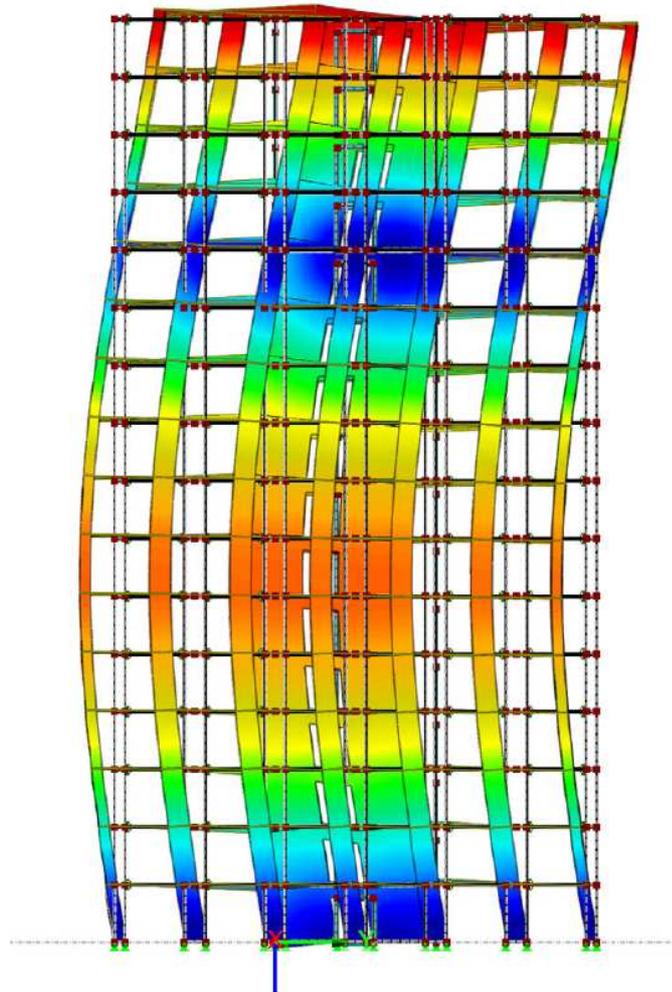


Abbildung 79: 4. und 5. Eigenperiode: $T_4 = T_5 = 1,21$ s

Die berechneten Eigenperioden können nun im Antwortspektrum Diagramm eingetragen werden, um eine erste allgemeine Erkenntnis über die resultierenden Kräfte zufolge Erdbebenbelastung zu erlangen (Abbildung 80).

Die fünf Eigenperioden (4. und 5. Eigenperiode $T_4=T_5=1,21$ sec.; 3. Eigenperiode: $T_3=2,6$ sec.; 1. und 2. Eigenperiode: $T_1=T_2=4,58$ sec.) sind am Antwortspektrum Verlauf durch rote Punkte gekennzeichnet.

Es lässt sich daraus schließen, dass die resultierenden Erdbebenkräfte nicht maximal werden, da sich die Eigenperioden nicht im Bereich des Plateaus befinden. Der Schnittpunkt der 1. Und 2. Eigenperiode mit dem Antwortspektrum lässt auf ein sehr weiches Gebäude schließen, da er sich fast am niedrigsten Punkt ($0,25715\text{m/s}^2$) befindet.

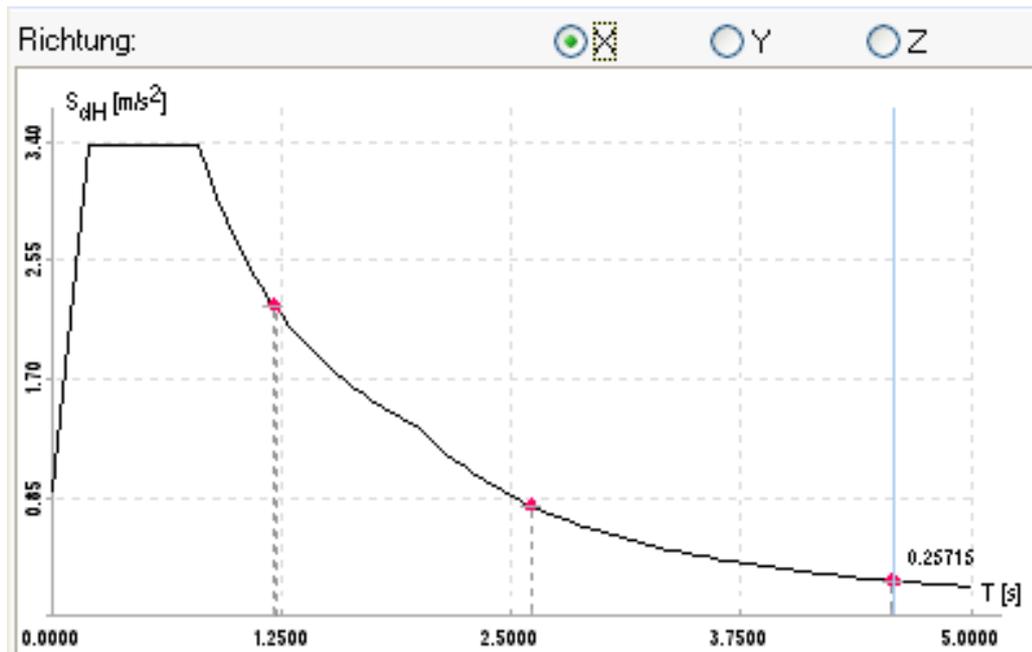


Abbildung 80: Antwortspektrum

4.3.2 Lastfall Wind

Für den Lastfall Wind wurden folgende höhenbezogene Flächenlasten als Eingabedaten für RFEM ermittelt:

- Tragsicherheitsnachweis mit der Lastfallkombination 1G + 1,5W:
 - $H < 27\text{m}$: $w = 1,838 \text{ kN/m}^2$
 - $27\text{m} < H < 32,5\text{m}$: $w = 1,973 \text{ kN/m}^2$
 - $32,5\text{m} < H < 38\text{m}$: $w = 2,093 \text{ kN/m}^2$
 - $H > 38\text{m}$: $w = 2,358 \text{ kN/m}^2$
- Gebrauchstauglichkeitsnachweis mit der Lastfallkombination 1G + 1W + 0,5P:
 - $H < 27\text{m}$: $w = 1,906 \text{ kN/m}^2$
 - $27\text{m} < H < 32,5\text{m}$: $w = 2,046 \text{ kN/m}^2$
 - $32,5\text{m} < H < 38\text{m}$: $w = 2,171 \text{ kN/m}^2$
 - $H > 38\text{m}$: $w = 2,446 \text{ kN/m}^2$

Diese Windlasten wurden für die jeweilige Lastfallkombination am zu simulierenden Gebäude angesetzt (Abbildung 81).

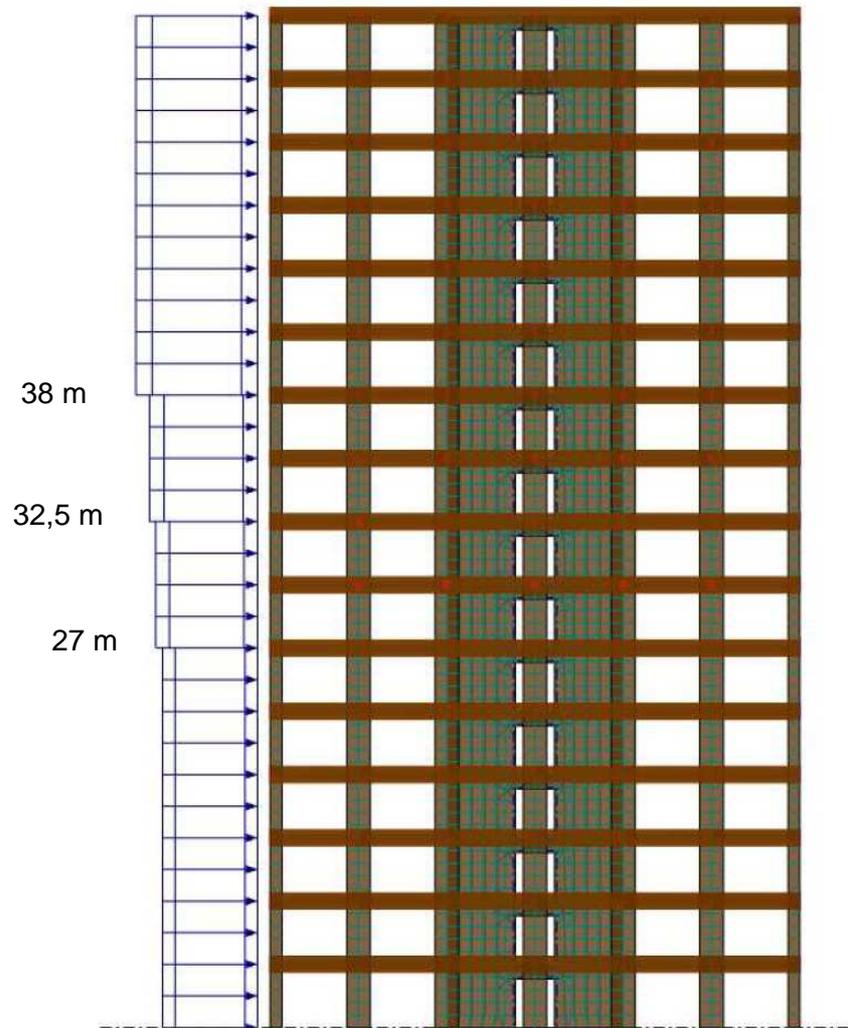


Abbildung 81: Windbelastung in RFEM

4.4 Ergebnisse und Schlussfolgerung

In Tabelle 3 werden die wichtigsten Resultate der RFEM Berechnungen aus den unterschiedlichen Lastfallkombinationen zufolge Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit für die gewählten Eingangsparameter dargestellt. Die maximale Auflagerkraft resultiert aus der statischen Lastfallkombination $1,35G + 1,5P$. Die maximalen Verschiebungen zufolge Erdbeben und Wind sind unterschiedlich zu deuten, da der Lastfall Erdbeben einen außergewöhnlichen Lastfall darstellt.

Tabelle 3: Ergebnisse

Lastfallkombination		Tragsicherheit				Gebrauchstauglichkeit			
		1,35G+1,5P	1G+1,5W	1G+1E+0,3P		1G+1W+0,5P			
Bodenbeschleunigung [m/s ²]	ag			1	3	1	3		
Verhaltensbeiwert	q			2	4	1	1		
Periode[s]	1 (x-Richtung)		3,96	4,58				4,95	
	2 (y-Richtung)								
	3 (Verdrehung)		2,6						
	4 (x-Richtung)		1,21						
	5 (y-Richtung)								
Auflagerkräfte[kN]	Druck	1237	952	685	893				
	Zug			0	88				
Verschiebung[cm]	Gesamt					~28,5	~85	49	
	Stockwerk					~1,8	~5,8		
Grenzwert [cm]	d _n ≤ 0,01h					0,9 ≤ 3,25	2,9 ≤ 3,25		

Die maximale Druckkraft (Lastfall: 1,35 G + 1,5 P) auf eine Fassadenwand beträgt $2 \cdot 1237 = 2474$ kN.

Nur 50 % dieser Last kann von der Wand aufgenommen werden, es sind somit Verstärkungsmaßnahmen erforderlich.

Die Berechnungen haben ergeben, dass das gewählte System sehr weich ist. Dies ist bei Erdbebeneinwirkung meistens von Vorteil, bei Windeinwirkung jedoch nachteilig.

Die Grenzwerte der gegenseitigen Stockwerksverschiebung im Erdbebenfall können sowohl bei einem ag von 1 m/s² als auch bei 3 m/s² eingehalten werden.

Die maximale Verformung zufolge Windeinwirkung beträgt 49 cm, was eine Verschiebung von etwa H/100 bedeutet. Dieser Wert dürfte für das menschliche Empfinden zu hoch sein.

5. Ausblick

Die Forschung bezüglich Holz-Stahl-Mischkonstruktionen wird an der Abteilung für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau am Institut für Architekturwissenschaften eifrig weiterbetrieben. So ist ein weiterer Forschungsantrag im Jahr 2011 geplant. Im Folgenden werden weitere Überlegungen zur Optimierung solcher Tragkonstruktionen dargestellt.

Um dem Gebäude zusätzliche Steifigkeit zu verleihen, kann der Einsatz von Holz-Stahl-Trägern und –Stützen als Rahmenausführung angedacht werden.

Auch eine erhöhte Schubsteifigkeit der Deckenelemente wird in die Überlegungen mit einbezogen. Eine Möglichkeit ist die Ausführung als Holz-Leichtbeton-Verbunddecke, ein ebenfalls eigener Forschungsbereich am ITI. Eine andere Möglichkeit stellt die Verstärkung der Deckenelemente durch Stahlelemente dar.

In den folgenden Abbildungen sind verschiedene Holz-Stahlträgervarianten dargestellt.

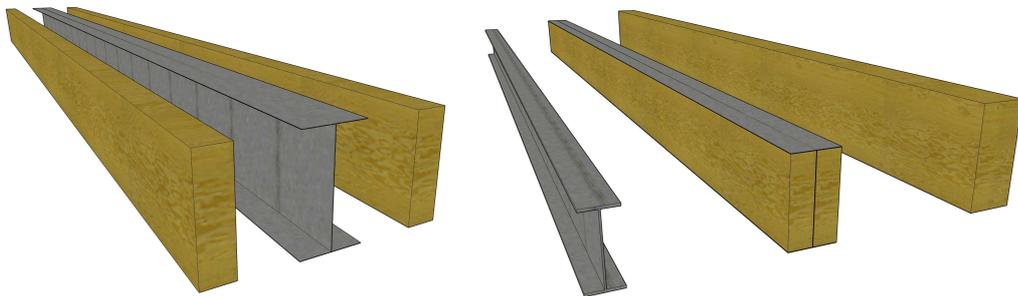


Abbildung 82: Holz-Stahl-Träger-Variante

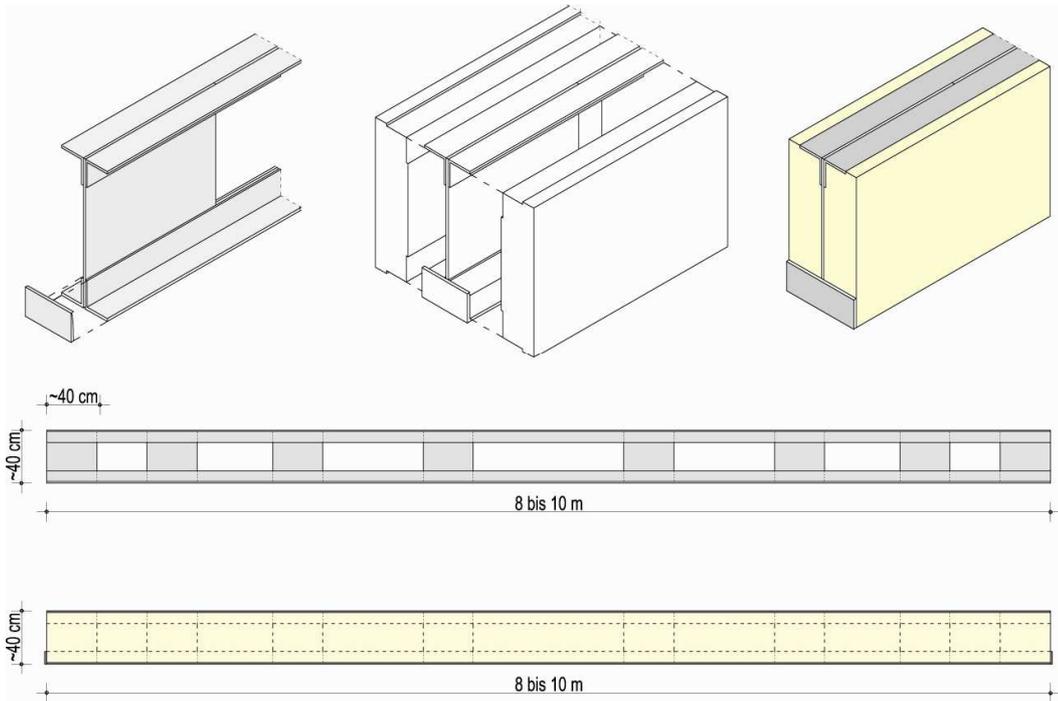


Abbildung 83: weitere Holz-Stahl-Träger-Variante

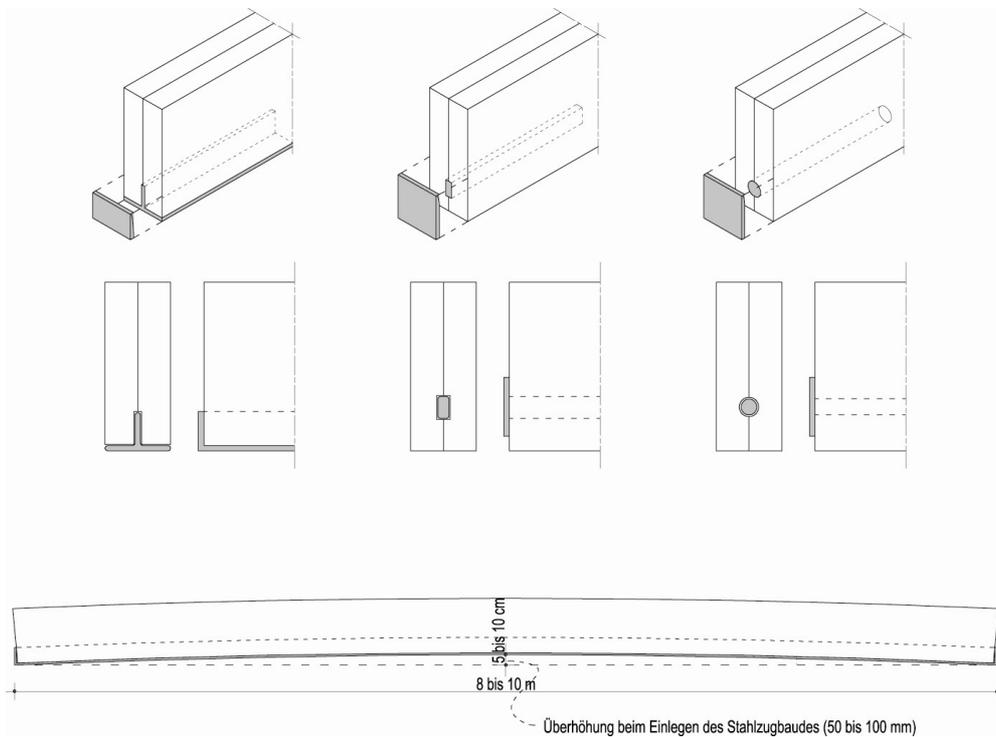


Abbildung 84: Eingelegtes Stahlzugband in Holzträger

Ein möglicher biegesteifer Anschluss der Träger und Stützen kann durch eine Stahl-Schussnagel-Verbindung (Abbildung 85) hergestellt werden.

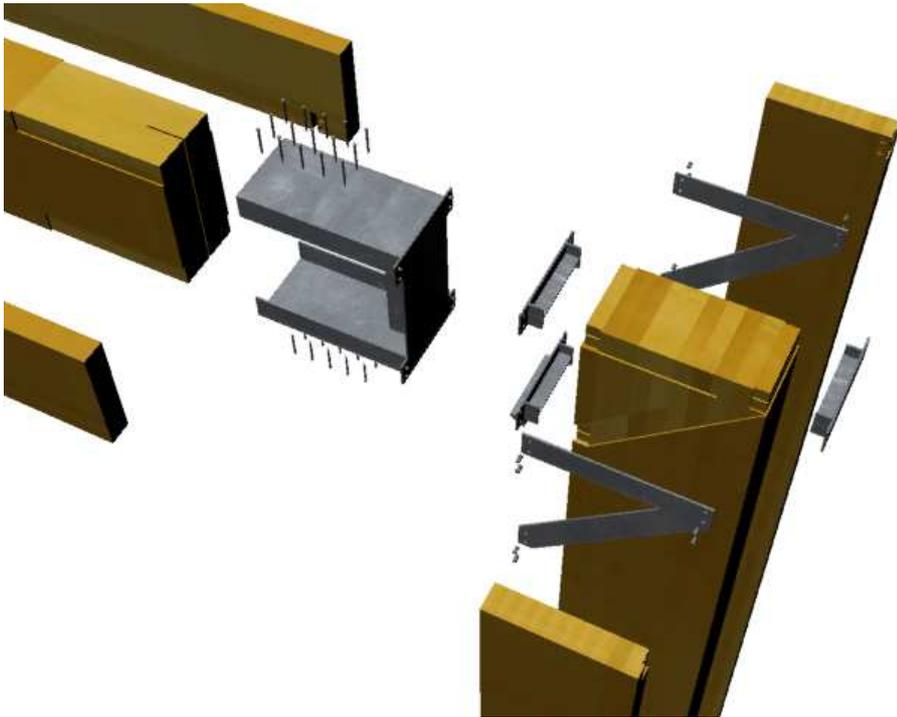


Abbildung 85: Variante Anschluß für Rahmensystem

Eine weitere Studie betrifft ein Verbindungssystem mit durchlaufenden Seitenwinkeln (Abbildung 86).

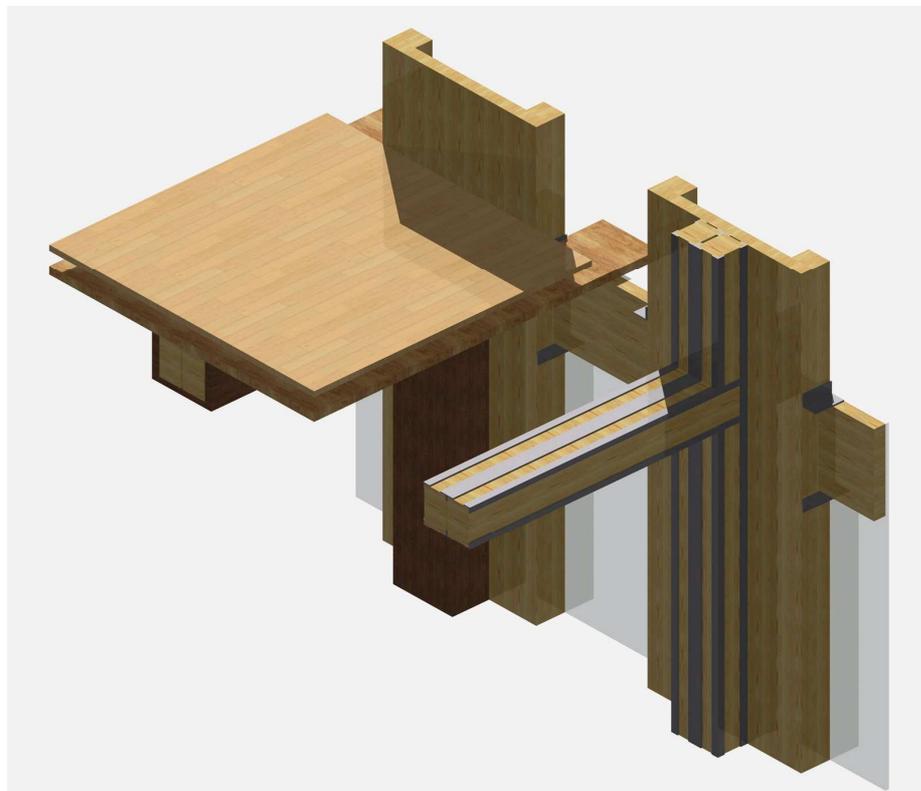


Abbildung 86: weitere Variante für ein Rahmensystem

Umfassende Stahlelemente in Deckensystemen ermöglichen einfache Anschlüsse mit hoher Kraftübertragung (Abbildung 87).

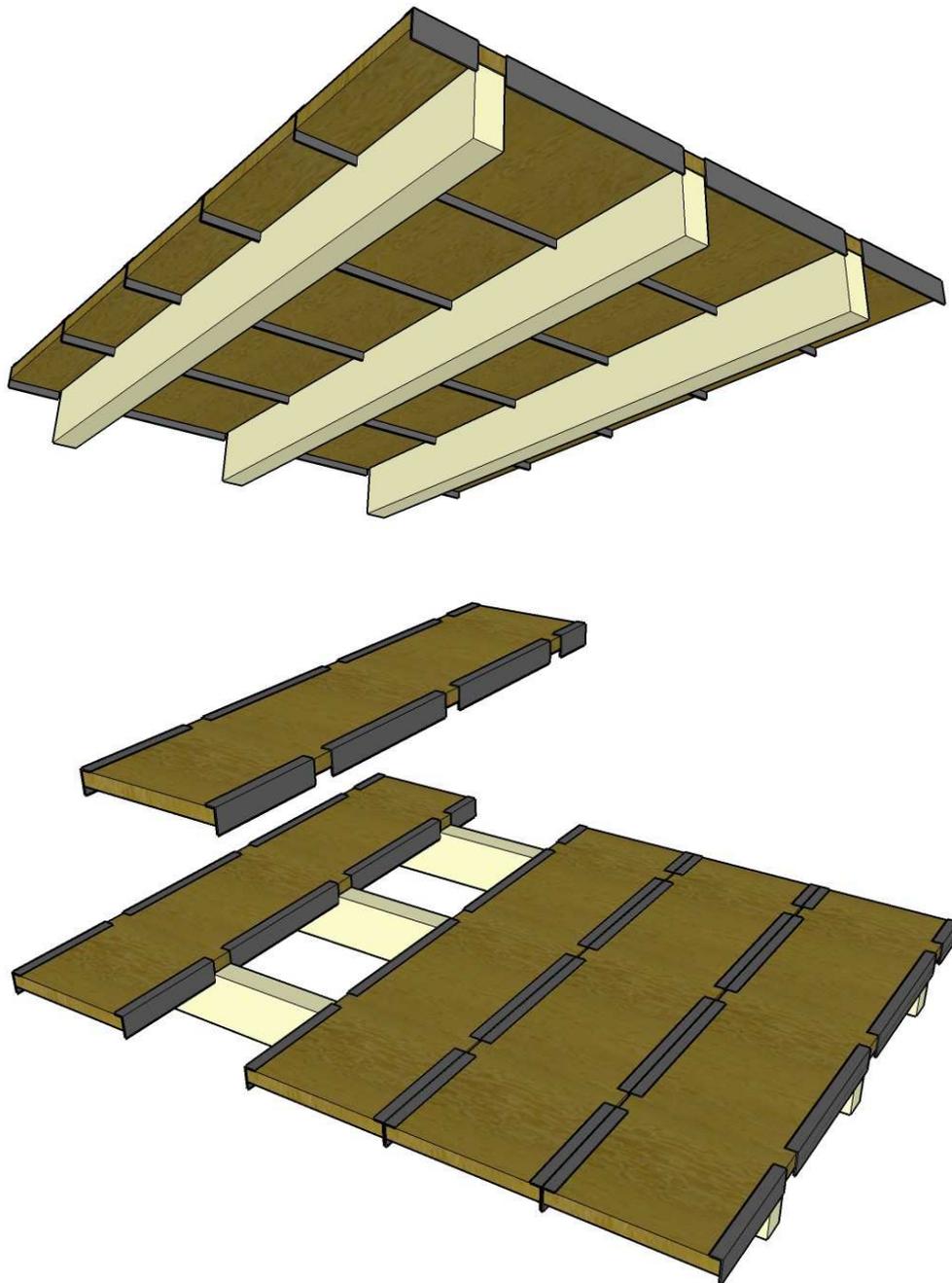


Abbildung 87: Holzdeckenelemente in Stahlprofile eingefasst

Weitere Ideen, Lösungsansätze und Erkenntnisse werden absolut notwendig sein, um die Politik, die Wirtschaft und die Bauherren zu überzeugen den Weg der Holzmischkonstruktionen zu beschreiten.

Die Ergebnisse weiterer Studien und Forschungsprojekte zum Thema Holz-Stahl-Mischkonstruktionen werden im Rahmen einer Dissertation ausgearbeitet.

6. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: geschätzter Marktanteil von Holz bei Tragkonstruktionen des Hochbaus	5
Abbildung 2: geschätzter Marktanteil von Stahl und Stahlbeton bei Tragkonstruktionen des Hochbaus	6
Abbildung 3: Die wichtigsten Holzeigenschaften und die daraus für den Holzbau folgenden Vor- und Nachteile	7
Abbildung 4: Arbeitslinie von Holz parallel zur Faser	7
Abbildung 5: Idealisierte Arbeitslinie von S 235	8
Abbildung 6: Kanazawa M Bldg.	9
Abbildung 7: Holzquerschnitte mit Stahleinlagen	10
Abbildung 8: Zusammenwirken von Holz und Stahlelementen.....	10
Abbildung 9: 6-stöckiger Holzmischbau	11
Abbildung 10: Grundriss	12
Abbildung 11: Hölzernes Hochhaus mit 20 Stockwerken? Technisch ist so ein Projekt möglich. Nun muss die Politik mitspielen. (Visualisierung: Rhomberg).....	13
Abbildung 12: 3D-Ansicht American Type im RSTAB-Modell.....	15
Abbildung 13: Einzelnes Geschoß American type.....	16
Abbildung 14: Steifigkeitsstudie Holzkern vs Holz-Stahlrahmen.....	17
Abbildung 15: Diagonalaussteifung.....	18
Abbildung 16: Verformung bei Diagonalaussteifung.....	19
Abbildung 17: Aussteifung durch biegesteife Verbindung	19
Abbildung 18: Verformung bei Aussteifung durch biegesteife Verbindung	19
Abbildung 19: schmale stehende Aussteifungsscheibe.....	20
Abbildung 20: Vakuumpresse	21
Abbildung 21: Variante HSK: eingeschlitzte Lochbleche	22
Abbildung 22: Variante: kontinuierliche Zugelemente und Einleitung über Kontakt ..	23
Abbildung 23: Details Variante: kontinuierliche Zugelemente und Einleitung über Kontakt	24
Abbildung 24: Positionen: Variante: kontinuierliche Zugelemente und Einleitung über Kontakt	25
Abbildung 25: Detail Stahlschuh	26
Abbildung 26: Hilti - Schussnägel	26
Abbildung 27: Befestigung der Stahlschuhe auf den „Verbundprüfkörper“ für zyklische Versuche mittels Hilti-nägeln.	27
Abbildung 28: Bestehende Prüfeinrichtung bei HFA	28
Abbildung 29: Ergänzung des bestehenden Prüfrahmens	29
Abbildung 30: Wandaufbauten.....	31
Abbildung 31: Versuchsrahmen.....	32
Abbildung 32: Anteile der gemessenen Vertikalverschiebung.....	33
Abbildung 33: Verformung zufolge Stahldehnung	34
Abbildung 34: Verformung zufolge Rahmenverformung.....	34
Abbildung 35: Der Zylinderweg	35
Abbildung 36: Verschiebungs-Kraft-Diagramm des Zylinderweges.....	35
Abbildung 37: Die Messung der vertikalen Verschiebung am unteren Scheibenkopf	36
Abbildung 38: Verschiebungs-Kraft-Diagramm der vertikalen Verschiebung am unteren Scheibenkopf.....	36
Abbildung 39: Die Messung der horizontalen Abhebung des Fußpunktes	37
Abbildung 40: Verschiebungs-Kraft-Diagramm der horizontalen Abhebung des Fußpunktes.....	37

Abbildung 41: Die Messung der horizontalen Verschiebung am unteren Scheibenkopf.....	38
Abbildung 42: Verschiebungs-Kraft-Diagramm der horizontalen Verschiebung am unteren Scheibenkopf.....	38
Abbildung 43: Die Messung der Dehnung der Zugdiagonale.....	39
Abbildung 44: Verschiebungs-Kraft-Diagramm der Dehnung der Zugdiagonale.....	39
Abbildung 45: Die Messung der Stauchung der Druckdiagonale.....	40
Abbildung 46: Verschiebungs-Kraft-Diagramm der Stauchung der Druckdiagonale.....	40
Abbildung 47: Die Messung der Rahmenverformung.....	41
Abbildung 48: Verschiebungs-Kraft-Diagramm der Rahmenverformung.....	41
Abbildung 49: Die Messung der Rahmenverformung.....	42
Abbildung 50: Verschiebungs-Kraft-Diagramm der Rahmenverformung.....	42
Abbildung 51: Die Messung der vertikalen Stauchung des Auflagerpunktes.....	43
Abbildung 52: Verschiebungs-Kraft-Diagramm der vertikalen Stauchung des Auflagerpunktes:.....	43
Abbildung 53: Die Messung der horizontalen Stauchung des Auflagerpunktes.....	44
Abbildung 54: Verschiebungs-Kraft-Diagramm der horizontalen Stauchung des Auflagerpunktes:.....	44
Abbildung 55: Zyklischer Test der Wand 1.....	46
Abbildung 56: Zyklischer Test der Wand 12.....	46
Abbildung 57: Gegenüberstellung der Versuchsergebnisse der Wände 1 & 12, zyklisch getestet.....	47
Abbildung 58: Wand 13 mit Stahlzugelementen.....	48
Abbildung 59: Wand 14, 15 mit Stahlzugelementen.....	48
Abbildung 60: Wand 13.....	49
Abbildung 61: Kraft-Verschiebungsdigramm W13.....	49
Abbildung 62: Wand 14.....	50
Abbildung 63: Kraft-Verschiebungsdigramm W14.....	50
Abbildung 64: Wand 15.....	51
Abbildung 65: Kraft-Verschiebungsdigramm W15.....	51
Abbildung 66: Plastifizierung der unteren Stahlplatte:.....	52
Abbildung 67: Plastifizierung der oberen Stahlplatte.....	52
Abbildung 68: Gegenüberstellung der Versuchsergebnisse von Wand 13, Wand 14 & Wand 15 mit Stahlschuhen zyklisch getestet.....	53
Abbildung 69: Versuche: Zufolge F ergibt sich w.....	56
Abbildung 70: Verformung bei 100 kN.....	57
Abbildung 71: Verformung bei 150 kN.....	57
Abbildung 72: Verformung bei 170 kN.....	57
Abbildung 73: Fallstudie: 3D-Modell.....	58
Abbildung 74: Fallstudie: Ansicht.....	59
Abbildung 75: Fallstudie: 1 stock.....	59
Abbildung 76: Eingabedaten in RFEM für den Lastfall Erdbeben.....	61
Abbildung 77: 1. und 2. Eigenperiode $T_1 = T_2 = 4,58$ s.....	62
Abbildung 78: 3. Eigenperiode $T_3 = 2,6$ s.....	62
Abbildung 79: 4. und 5. Eigenperiode: $T_4 = T_5 = 1,21$ s.....	63
Abbildung 80: Antwortspektrum.....	64
Abbildung 81: Windbelastung in RFEM.....	65
Abbildung 82: Holz-Stahl-Träger-Variante.....	67
Abbildung 83: weitere Holz-Stahl-Träger-Variante.....	68
Abbildung 84: Eingelegtes Stahlzugband in Holzträger.....	68
Abbildung 85: Variante Anschluß für Rahmensystem.....	69
Abbildung 86: weitere Variante für ein Rahmensystem.....	69
Abbildung 87: Holzdeckenelemente in Stahlprofile eigefasst.....	70

7. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anordnung der Schichten:.....	30
Tabelle 2: Verformungen der Wände 13, 14 und 15.....	54
Tabelle 3: Ergebnisse	66

8. Quellenverzeichnis

Quelle 1: Prof. DDI Wolfgang Winter, Institut für Architekturwissenschaften, Abteilung für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau	5
Quelle 2: Prof. DDI Wolfgang Winter, Institut für Architekturwissenschaften, Abteilung für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau	6
Quelle 3: http://web281.jupiter.ibone.ch/pdf/BerichtHOLZSTAHL.pdf	6
Quelle 4: Vom BAUM zum WERKSTOFF, Skelettskriptum zur Vorlesung Holzbau I für Bauingenieure, TU Wien Lehrstuhl für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau	7
Quelle 5: Tragwerkselemente; Egger, Beck und Mandl; B.G. Teubner Verlag; 1996	7
Quelle 6: Tragwerkselemente; Egger, Beck und Mandl; B.G. Teubner Verlag; 1996	8
Quelle 7: THE DESIGN AND INSTALLATION OF A FIVE-STORY NEW TIMBER BUILDING IN JAPAN, KOSHIHARA, Mikio, IIS, the University of Tokyo.....	9
Quelle 8: http://www.erne.net/modultech/referenzdokus/referenzen_loesbuero_Lonza_Visp.pdf , www.erne.net/aktuelles/ERNE_Newsletter_Juni08.pdf	11
Quelle 9: HTTP://DERSTANDARD.AT/1277337017197/BREGENZ-HOELZERNER-LEUCHTTURM-MIT-90-METER-HOEHE	13
Quelle 10: http://www.hausderzukunft.at/results.html/id5482	14
Quelle 11: HTTP://WWW.KLH.AT/STATIK6.HTML?L=0	16

9. Anhang A

Verwendete Software:

RSTAB 7: Stabberechnungsprogramm für lineare dynamische Analyse
 RFEM 4.0: Finite Elemente Programm für lineare quasistatische Analyse

Materialkennwerte:

Verwendete Holzmaterialien: Siehe Prüfprotokolle
 Verwendete Stahlgüte: S 355

Anschlusschnik:

siehe Auszug Befestigungstechnik der Firma Hilti:
 Der verwendete Nagel X-EDS 27 P10 ist hier nicht im Katalog enthalten.

DX 76-F15 Bolzensetzgerät^o

Das automatische Kraftpaket

Einsatz:
 Zugelassene Profiblechbefestigung auf Stahl- und Betonuntergründen. Die Zulassung beinhaltet die abgestimmten Systemkomponenten Kartusche 6,8/18 M, X-ENP-Profiblechnagel und das Bolzensetzgerät DX 76.



- Vorteile:**
- Gute Zugänglichkeit durch Einzelbolzenführung.
 - Ausgezeichnete Ergonomie:
 - Komfortables Auslösen mit 1-Finger-Trigger
 - Sehr gute Griffpolsterung
 - Gute Gerätebalance
 - Einfache Wartung und Reinigung
 - Leistungsregulierung
 - Massiver Kolbenstopper mit hoher Lebensdauer

DX 76-F15 Bolzensetzgerät^o

Bestell- Bezeichnung	Artikel-Nr.	Verpackt zu Stk.	Artikel- Gruppe	Preis- Einheit	€/ Einheit
DX 76-F15	285784	1	B124	1	909,00

Ausgerüstet mit Bolzenführung X-76-F-15, in Gerätekoﬀer aus schlag- und bruchfestem Kunststoff, Reinigungsset, Gehörschutz, Schutzbrille, Hilti Spray.

Technische Daten:

Gewicht:	3,83 kg
Gerätelänge:	452 mm
Nagelprogramm:	X-ENP-19 L15, ENP2K-20 L15
Kartuschen:	6,8/18M – blau, rot, schwarz

Dachmontage

X-EDS-Nagel für Stahl

(DX 76 und X-76-F-10, X-76-P-GR und X-76-PS)



Schaft- länge (mm)	Stahldicke (SD) min.–max. (mm)	Schaft- Ø (mm)	Bestell- Bezeichnung	Artikel-Nr.	Verpackt zu Stück	Artikel- Gruppe	Preis- Einheit	€/ Einheit
19	6-Vollstahl	4,5	X-EDS 19 P10	046554	100	B573	100	27,00
22	6-Vollstahl	4,5	X-EDS 22 P10	046556	100	B573	100	27,90

Auszug aus dem Handbuch für Befestigungstechnik C3^o:
 Stahl: empfohlene Lasten (kN)

Befestigungshöhe l_{bx} (mm)	Zuglast	Querlast
0,75	1,1	1,5
1,00	1,3	2,3
1,25	1,7	3,2
2,00	2,4	4,0

Untergrundstärke: min. 4 mm bis Vollstahl
 Einzelbefestigung möglich

2.9 X-EDNI, ENK, EDS Elemente für Stahlanwendungen

<p>Anwendungsgrenzen</p> <p> ① X-EDNI & DX 460, DX-A Geräte ② X-EDNI & DX 462 ③ EDS & DX 750 I, DX 600N Geräte • Anwendungsgrenzenlinien gelten für Stahl, $t_{ix} \leq 3$ mm • Bei Stahl $t_{ix} > 3$ mm (ohne Vorböhren), h auf $h + t_{ix}$ korrigieren. </p>	<p>Randabstände bzgl. Grundmaterial</p> <p>Gewälzte Profile</p> <p>Kaltgeformte Profile</p> <p>Randabstand und Befestigungsabstand</p>
---	--

<p>Befestigen von dicken Stahlblechen</p>	
<p>$t_{ix} \leq 3$ mm</p> <p>Nicht vorgebohrte Stahlplatten bis zu einer Dicke von 3 mm können im allgemeinen ohne Spalt zwischen Anbauteil und dem Grundmaterial befestigt werden.</p> <p>Im Zweifelsfall sind Probebefestigungen zu empfehlen.</p>	<p>$t_{ix} > 3$</p> <p>Ohne Vorböhren: Ist das Anbauteil dicker als etwa 3 mm, wird dieser Teil bei einer Verformung des Grundmaterials nicht deformiert, sodass zwischen dem Anbauteil und dem Grundmaterial ein Spalt auftritt.</p> <p>Um eine Momentenbefastigung auf den Nagelschaft zu vermeiden, sollten 3 Nägel als eine Gruppenbefestigung angeordnet werden.</p> <p>Mit Vorböhren: Zur Vermeidung eines Spaltes zwischen Anbauteil und Grundmaterial muss das zu befestigende Bauteil vorgebohrt werden.</p> <p>d_{Bo} $\varnothing 12$ 120°</p>

Zwängungskräfte

Bei der Befestigung von größeren Stahlteilen muss die Einwirkung von Zwängungskräften berücksichtigt werden. Überschreitung von $V_{w,k}$ (bezogen auf den Elementeschiff) ist zu vermeiden!

Durchbiegung aus der Primärbelastung

Temperatur

10. Anhang B

Prüfprotokolle der Holzwandscheibe Fa. Ökohaus an der Holzforschung

Austria:

Lfd. Nummer des Prüfkörpers : 1

(Prüfung gemäß Norm EN 594:1995)

Firma: Ökohaus Prüfdatum: 22.09.2006

Auftragsnummer: F979/2006 Prüfer: DI Georg Neubauer

Unterschrift:

<u>Prüfmittel</u>	Gerät	Inventarnummer
Bauteilprüfstand (PZ100 und PZ 200)		
Almemo Datenlogger 2890/9		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 25 mm Weg (No. 1)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 25 mm Weg (No. 2)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 25 mm Weg (No. 3)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 150 mm Weg (No. 4)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 5)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 6)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 7)		
Seilzugpotentiometer Fa. micro epsilon 300 mm Weg (No. 8)		
Seilzugpotentiometer Fa. micro epsilon 300 mm Weg (No. 9)		

Kurzbeschreibung des Prüfkörpers : siehe Herstellungsprotokoll Fa. Ökohaus

Verfahren der Probenahme :

Die Prüfkörper sind Prototypen und wurden speziell für die Prüfung hergestellt.

Spezifikation der Herstellung : siehe Herstellungsprotokoll Fa. Ökohaus

Abmessungen der Wandscheibe VOR der Verformung (Höhe x Breite x Dicke, Diagonalen [m]):

2,79 m x 1,19 m x 0,16 m, Diag 1. (Zug): 302,7 cm; Diag 2 (Druck): 303,2 cm

Abmessungen der Wandscheibe NACH der Verformung (Diagonalen [m]) :

Diag 1 (Zug): 302,6 cm, Diag 2 (Druck) 303,1 cm

Klimatisierung des Prüfkörpers [Dauer / °C / rF %] : Lagerung in der Prüfhalle der Holzforschung Austria

Holzfeuchte der obersten Holzlage [%] : Mittel 11,0 %

Klima im Prüfraum [°C / %rF] : 26 °C / 52 % RF

Beschreibung der Befestigung der Wand an der Prüfeinrichtung : siehe Fotodokumentation

Beschreibung des Verfahrens der Wandbelastung und der Messung der Tafelverformungen:

Die Wandscheibe wird mit 1 hydraulischen Zylinder belastet. Die Überwachung der aufgetragenen Kräfte und Wege am Zylinder erfolgt durch Kraftmessdose und Wegaufnehmer mittels computerunterstützter EDC. Verformungen der Wandscheibe werden durch externe Leitplastikpotentiometer sowie Messseilpotentiometer mit kontinuierlicher Messwerterfassung aufgezeichnet.

Angenommene horizontale Maximalkraft $F_{\max,est}$ [kN] : 100 kN

Aufgebrachte vertikale Maximalkraft F_v [kN] : 0 kN

Versagenskriterium (Art und Ort) : kein Versagen

Max . Verschiebung bei C (gem. EN 594, Anhang A) [mm] : siehe Auswertung TU Wien

Max . Verformung v (gem. EN 594, 6.4.1) [mm] : siehe Auswertung TU Wien

Gemessene Kraft- / Verformungswerte : siehe Datenauswertung

Abweichungen von der Prüfnorm :

- Wandscheibe nicht in Tafelbauart sondern Massivholzwand aus Brettsperrholz
- Abmessungen entsprechen nicht der Prüfnorm

Lfd. Nummer des Prüfkörpers : 2

(Prüfung gemäß Norm EN 594:1995)

Firma: Ökohaus Prüfdatum: 26.9.2006

Auftragsnummer: F979/2006 Prüfer: DI Georg Neubauer

Unterschrift:

<u>Prüfmittel</u>	Gerät	Inventarnummer
Bauteilprüfstand (PZ100 und PZ 200)		
Almemo Datenlogger 2890/9		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 25 mm Weg (No. 1)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 25 mm Weg (No. 2)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 25 mm Weg (No. 3)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 150 mm Weg (No. 4)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 5)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 6)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 7)		
Seilzugpotentiometer Fa. micro epsilon 300 mm Weg (No. 8)		
Seilzugpotentiometer Fa. micro epsilon 300 mm Weg (No. 9)		

Kurzbeschreibung des Prüfkörpers : siehe Herstellungsprotokoll Fa. Ökohaus

Verfahren der Probenahme :

Die Prüfkörper sind Prototypen und wurden speziell für die Prüfung hergestellt.

Spezifikation der Herstellung : siehe Herstellungsprotokoll Fa. Ökohaus

Abmessungen der Wandscheibe VOR der Verformung (Höhe x Breite x Dicke, Diagonalen [m]):

279 x 119 x 16 cm, Diag. 1 (Druck): 303,8 cm, Diag 2 (Zug): 302,7

Abmessungen der Wandscheibe NACH der Verformung (Diagonalen [m]) :

Diag 1 (Druck) 304,0 cm, Diag 2 (Zug) 302,0 cm

Klimatisierung des Prüfkörpers [Dauer / °C / rF %] : Lagerung in der Prüfhalle der Holzforschung Austria

Holzfeuchte der obersten Holzlage [%] : Mittel 11,2 %

Klima im Prüfraum [°C / %rF] : 24 °C / 52 % rF

Beschreibung der Befestigung der Wand an der Prüfeinrichtung : siehe Fotodokumentation

Beschreibung des Verfahrens der Wandbelastung und der Messung der Tafelverformungen:

Die Wandscheibe wird mit 1 hydraulischen Zylinder belastet. Die Überwachung der aufgebrachten Kräfte und Wege am Zylinder erfolgt durch Kraftmessdose und Wegaufnehmer mittels computerunterstützter EDC. Verformungen der Wandscheibe werden durch externe Leitplastikpotentiometer sowie Messeilpotentiometer mit kontinuierlicher Messwerterfassung aufgezeichnet.

Angenommene horizontale Maximalkraft $F_{\max,est}$ [kN] : 100 kN

Aufgebrachte vertikale Maximalkraft F_v [kN] : 0 kN

Versagenskriterium (Art und Ort) : kein Versagen

Max . Verschiebung bei C (gem. EN 594, Anhang A) [mm] : siehe Auswertung TU Wien

Max . Verformung v (gem. EN 594, 6.4.1) [mm] : siehe Auswertung TU Wien

Gemessene Kraft- / Verformungswerte : siehe Datenauswertung

Abweichungen von der Prüfnorm :

- Wandscheibe nicht in Tafelbauart sondern Massivholzwand aus Brettsperrholz
- Abmessungen entsprechen nicht der Prüfnorm

Lfd. Nummer des Prüfkörpers : 3

(Prüfung gemäß Norm EN 594:1995)

Firma: Ökohaus Prüfdatum: 27.9.2006

Auftragsnummer: F979/2006 Prüfer: DI Georg Neubauer

Unterschrift:

<u>Prüfmittel</u>	Gerät	Inventarnummer
Bauteilprüfstand (PZ100 und PZ 200)		
Almemo Datenlogger 2890/9		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 25 mm Weg (No. 1)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 25 mm Weg (No. 2)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 25 mm Weg (No. 3)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 150 mm Weg (No. 4)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 5)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 6)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 7)		
Seilzugpotentiometer Fa. micro epsilon 300 mm Weg (No. 8)		
Seilzugpotentiometer Fa. micro epsilon 300 mm Weg (No. 9)		

Kurzbeschreibung des Prüfkörpers : siehe Herstellungsprotokoll Fa. Ökohaus

Verfahren der Probenahme :

Die Prüfkörper sind Prototypen und wurden speziell für die Prüfung hergestellt.

Spezifikation der Herstellung : siehe Herstellungsprotokoll Fa. Ökohaus

Abmessungen der Wandscheibe VOR der Verformung (Höhe x Breite x

Dicke,Diagonalen [m]):

279,2 x 119 x 16 cm, Diag 1 (Druck) 302,8, Diag 2 (Zug) 302,6 cm

Klimatisierung des Prüfkörpers [Dauer / °C / rF %] : Lagerung in der Prüfhalle der Holzforschung Austria

Holzfeuchte der obersten Holzlage [%] : Mittel 11,0 %

Klima im Prüfraum [°C / %rF] : 23 °C / 55 % rF

Beschreibung der Befestigung der Wand an der Prüfeinrichtung : siehe Fotodokumentation

Beschreibung des Verfahrens der Wandbelastung und der Messung der Tafelverformungen:

Die Wandscheibe wird mit 1 hydraulischen Zylinder belastet. Die Überwachung der aufgetragenen Kräfte und Wege am Zylinder erfolgt durch Kraftmessdose und Wegaufnehmer mittels computerunterstützter EDC. Verformungen der Wandscheibe werden durch externe Leitplastikpotentiometer sowie Messseilpotentiometer mit kontinuierlicher Messwerterfassung aufgezeichnet.

Angenommene horizontale Maximalkraft $F_{\max,est}$ [kN] : 100 kN

Aufgebrachte vertikale Maximalkraft F_v [kN] : 0 kN

Versagenskriterium (Art und Ort) : kein Versagen

Max . Verschiebung bei C (gem. EN 594, Anhang A) [mm] : siehe Auswertung TU Wien

Max . Verformung v (gem. EN 594, 6.4.1) [mm] : siehe Auswertung TU Wien

Gemessene Kraft- / Verformungswerte : siehe Datenauswertung

Abweichungen von der Prüfnorm :

- Wandscheibe nicht in Tafelbauart sondern Massivholzwand aus Brettsperrholz
- Abmessungen entsprechen nicht der Prüfnorm

Lfd. Nummer des Prüfkörpers : 4

(Prüfung gemäß Norm EN 594:1995)

Firma: Ökohaus Prüfdatum: 07.09.2006

Auftragsnummer: F979/2006 Prüfer: DI Georg Neubauer

Unterschrift:

<u>Prüfmittel</u>	Gerät	Inventarnummer
Bauteilprüfstand (PZ100 und PZ 200)		
Almemo Datenlogger 2890/9		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 25 mm Weg (No. 1)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 5)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 6)		
Seilzugpotentiometer Fa. micro epsilon 300 mm Weg (No. 8)		
Seilzugpotentiometer Fa. micro epsilon 300 mm Weg (No. 9)		

Kurzbeschreibung des Prüfkörpers : siehe Herstellungsprotokoll Fa. Ökohaus

Verfahren der Probenahme :

Die Prüfkörper sind Prototypen und wurden speziell für die Prüfung hergestellt.

Spezifikation der Herstellung : siehe Herstellungsprotokoll Fa. Ökohaus

Abmessungen der Wandscheibe VOR der Verformung (Höhe x Breite x

Dicke, Diagonalen [m]):

2,80 x 1,19 x 0,16 m, Diagonalen nicht erfasst

Abmessungen der Wandscheibe NACH der Verformung (Diagonalen [m]) :

Diag 1: 3,025, Diag 2: 3,035 m

Klimatisierung des Prüfkörpers [Dauer / °C / rF %] : Lagerung in der Prüfhalle der Holzforschung Austria

Holzfeuchte der obersten Holzlage [%] : Mittel 14,4 %

Klima im Prüfraum [°C / %rF] : 26,7 °C / 47,1 % RF

Beschreibung der Befestigung der Wand an der Prüfeinrichtung : siehe Fotodokumentation

Beschreibung des Verfahrens der Wandbelastung und der Messung der Tafelverformungen:

Die Wandscheibe wird mit 1 hydraulischen Zylinder belastet. Die Überwachung der aufgebrachten Kräfte und Wege am Zylinder erfolgt durch Kraftmessdose und Wegaufnehmer mittels computerunterstützter EDC. Verformungen der Wandscheibe werden durch externe Leitplastikpotentiometer sowie Messseilpotentiometer mit

kontinuierlicher Messwerverfassung aufgezeichnet. Das Abheben der Auflager wird manuell mittels Messuhr erfasst.

Angenommene horizontale Maximalkraft $F_{\max,est}$ [kN] : 100 kN

Aufgebrachte vertikale Maximalkraft F_v [kN] : 0 kN

Versagenskriterium (Art und Ort) : kein Versagen, lokale Eindrückung im Druckauflagerbereich der Wandscheibe

Max . Verschiebung bei C (gem. EN 594, Anhang A) [mm] : siehe Auswertung TU Wien

Max . Verformung v (gem. EN 594, 6.4.1) [mm] : siehe Auswertung TU Wien

Gemessene Kraft- / Verformungswerte : siehe Datenauswertung

Abweichungen von der Prüfnorm :

- Wandscheibe nicht in Tafelbauart sondern Massivholzwand aus Brettsperrholz
- Abmessungen entsprechen nicht der Prüfnorm

Lfd. Nummer des Prüfkörpers : 5

(Prüfung gemäß Norm EN 594:1995)

Firma: Ökohaus Prüfdatum: 11.9.2006

Auftragsnummer: F979/2006 Prüfer: DI Georg Neubauer

Unterschrift:

<u>Prüfmittel</u>	Gerät	Inventarnummer
Bauteilprüfstand (PZ100 und PZ 200)		
Almemo Datenlogger 2890/9		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 25 mm Weg (No. 1)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 25 mm Weg (No. 2)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 150 mm Weg (No. 4)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 5)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 6)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 7)		
Seilzugpotentiometer Fa. micro epsilon 300 mm Weg (No. 8)		
Seilzugpotentiometer Fa. micro epsilon 300 mm Weg (No. 9)		

Kurzbeschreibung des Prüfkörpers : siehe Herstellungsprotokoll Fa. Ökohaus

Verfahren der Probenahme :

Die Prüfkörper sind Prototypen und wurden speziell für die Prüfung hergestellt.

Spezifikation der Herstellung : siehe Herstellungsprotokoll Fa. Ökohaus

Abmessungen der Wandscheibe VOR der Verformung (Höhe x Breite x

Dicke,Diagonalen [m]):

2,795 x 1,198 x 0,16 m, Diag. 1: 3,032 m, Diag. 2: 3,031 m

Abmessungen der Wandscheibe NACH der Verformung (Diagonalen [m]) :

Diag 1: 3,029, Diag 2: 3,032 m

Klimatisierung des Prüfkörpers [Dauer / °C / rF %] : Lagerung in der Prüfhalle der Holzforschung Austria

Holzfeuchte der obersten Holzlage [%] : Mittel 12,5 %

Klima im Prüfraum [°C / %rF] : 25 °C / 48 % RF

Beschreibung der Befestigung der Wand an der Prüfeinrichtung : siehe Fotodokumentation

Beschreibung des Verfahrens der Wandbelastung und der Messung der Tafelverformungen:

Die Wandscheibe wird mit 1 hydraulischen Zylinder belastet. Die Überwachung der aufgetragenen Kräfte und Wege am Zylinder erfolgt durch Kraftmessdose und Wegaufnehmer mittels computerunterstützter EDC. Verformungen der Wandscheibe werden durch externe Leitplastikpotentiometer sowie Messseilpotentiometer mit kontinuierlicher Messwerterfassung aufgezeichnet.

Angenommene horizontale Maximalkraft $F_{\max,est}$ [kN] : 100 kN

Aufgebrachte vertikale Maximalkraft F_v [kN] : 0 kN

Versagenskriterium (Art und Ort) : kein Versagen

Max . Verschiebung bei C (gem. EN 594, Anhang A) [mm] : siehe Auswertung TU Wien

Max . Verformung v (gem. EN 594, 6.4.1) [mm] : siehe Auswertung TU Wien

Gemessene Kraft- / Verformungswerte : siehe Datenauswertung

Abweichungen von der Prüfnorm :

- Wandscheibe nicht in Tafelbauart sondern Massivholzwand aus Brettsperrholz
- Abmessungen entsprechen nicht der Prüfnorm

Lfd. Nummer des Prüfkörpers : 6

(Prüfung gemäß Norm EN 594:1995)

Firma: Ökohaus Prüfdatum: 13.9.2006

Auftragsnummer: F979/2006 Prüfer: DI Georg Neubauer

Unterschrift:

<u>Prüfmittel</u>	Gerät	Inventarnummer
Bauteilprüfstand (PZ100 und PZ 200)		
Almemo Datenlogger 2890/9		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 25 mm Weg (No. 1)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 25 mm Weg (No. 2)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 25 mm Weg (No. 3)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 150 mm Weg (No. 4)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 5)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 6)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 7)		
Seilzugpotentiometer Fa. micro epsilon 300 mm Weg (No. 8)		
Seilzugpotentiometer Fa. micro epsilon 300 mm Weg (No. 9)		

Kurzbeschreibung des Prüfkörpers : siehe Herstellungsprotokoll Fa. Ökohaus

Verfahren der Probenahme :

Die Prüfkörper sind Prototypen und wurden speziell für die Prüfung hergestellt.

Spezifikation der Herstellung : siehe Herstellungsprotokoll Fa. Ökohaus

Abmessungen der Wandscheibe VOR der Verformung (Höhe x Breite x

Dicke,Diagonalen [m]):

2,80 x 1,20 x 0,145 m, Diag 1: 3,043 m Diag 2: 3,044 m

Abmessungen der Wandscheibe NACH der Verformung (Diagonalen [m]) :

Diag 1: 3,04 m Diag 2: 3,04 m

Klimatisierung des Prüfkörpers [Dauer / °C / rF %] : Lagerung in der Prüfhalle der Holzforschung Austria

Holzfeuchte des Holzrahmens [%] : Mittel 11,8 %

Klima im Prüfraum [°C / %rF] : 23 °C / 47 % RF

Beschreibung der Befestigung der Wand an der Prüfeinrichtung : siehe Fotodokumentation

Beschreibung des Verfahrens der Wandbelastung und der Messung der Tafelverformungen:

Die Wandscheibe wird mit 1 hydraulischen Zylinder belastet. Die Überwachung der aufgetragenen Kräfte und Wege am Zylinder erfolgt durch Kraftmessdose und Wegaufnehmer mittels computerunterstützter EDC. Verformungen der Wandscheibe werden durch externe Leitplastikpotentiometer sowie Messseilpotentiometer mit kontinuierlicher Messwerterfassung aufgezeichnet.

Angenommene horizontale Maximalkraft $F_{\max,est}$ [kN] : 100 kN

F_{\max} [kN] : 98,58 kN

Versagenskriterium (Art und Ort) : Lokales Druckversagen der Wandscheibe im Bereich des Druckauflagers sowie im Druckbereich der Kopfplatte, Aufreißen des OSB-Plattenwerkstoffs, kein Versagen der Verklebung

Max . Verschiebung bei C (gem. EN 594, Anhang A) [mm] : siehe Auswertung TU Wien

Max . Verformung v (gem. EN 594, 6.4.1) [mm] : siehe Auswertung TU Wien

Gemessene Kraft- / Verformungswerte : siehe Datenauswertung

Abweichungen von der Prüfnorm :

- Abmessungen entsprechen nicht der Prüfnorm

Lfd. Nummer des Prüfkörpers : 7

(Prüfung gemäß Norm EN 594:1995)

Firma: Ökohaus Prüfdatum: 11.9.2006

Auftragsnummer: Prüfer: DI Georg Neubauer

Unterschrift:

<u>Prüfmittel</u>	Gerät	Inventarnummer
Bauteilprüfstand (PZ100 und PZ 200)		
Almemo Datenlogger 2890/9		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 25 mm Weg (No. 1)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 25 mm Weg (No. 2)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 150 mm Weg (No. 4)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 5)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 6)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 7)		
Seilzugpotentiometer Fa. micro epsilon 300 mm Weg (No. 8)		
Seilzugpotentiometer Fa. micro epsilon 300 mm Weg (No. 9)		

Kurzbeschreibung des Prüfkörpers : siehe Herstellungsprotokoll Fa. Ökohaus

Verfahren der Probenahme :

Die Prüfkörper sind Prototypen und wurden speziell für die Prüfung hergestellt.

Spezifikation der Herstellung : siehe Herstellungsprotokoll Fa. Ökohaus

Abmessungen der Wandscheibe VOR der Verformung (Höhe x Breite x

Dicke,Diagonalen [m]):

2,80 x 1,19 x 0,16 m, Diag. 1: 3,04 m, Diag. 2: 3,04 m

Abmessungen der Wandscheibe NACH der Verformung (Diagonalen [m]) :

Diag. 1: 3,04 m, Diag. 2: 3,04 m

Klimatisierung des Prüfkörpers [Dauer / °C / rF %] : Lagerung in der Prüfhalle der Holzforschung Austria

Holzfeuchte der obersten Holzlage [%] : Mittel 11,2 %

Klima im Prüfraum [°C / %rF] : 22 °C / 50 % RF

Beschreibung der Befestigung der Wand an der Prüfeinrichtung : siehe Fotodokumentation

Beschreibung des Verfahrens der Wandbelastung und der Messung der Tafelverformungen:

Die Wandscheibe wird mit 1 hydraulischen Zylinder belastet. Die Überwachung der aufgetragenen Kräfte und Wege am Zylinder erfolgt durch Kraftmessdose und Wegaufnehmer mittels computerunterstützter EDC. Verformungen der Wandscheibe werden durch externe Leitplastikpotentiometer sowie Messseilpotentiometer mit kontinuierlicher Messwerterfassung aufgezeichnet.

Angenommene horizontale Maximalkraft $F_{\max,est}$ [kN] : 100 kN

Aufgebrachte vertikale Maximalkraft F_v [kN] : 0 kN

Versagenskriterium (Art und Ort) : kein Versagen

Max . Verschiebung bei C (gem. EN 594, Anhang A) [mm] : siehe Auswertung TU Wien

Max . Verformung v (gem. EN 594, 6.4.1) [mm] : siehe Auswertung TU Wien

Gemessene Kraft- / Verformungswerte : siehe Datenauswertung

Abweichungen von der Prüfnorm :

- Wandscheibe nicht in Tafelbauart sondern Massivholzwand aus Brettsperrholz
- Abmessungen entsprechen nicht der Prüfnorm

Lfd. Nummer des Prüfkörpers : 8

(Prüfung gemäß Norm EN 594:1995)

Firma: Ökohaus Prüfdatum: 13.9.2006

Auftragsnummer: F979/2006 Prüfer: DI Georg Neubauer

Unterschrift:

<u>Prüfmittel</u>	Gerät	Inventarnummer
Bauteilprüfstand (PZ100 und PZ 200)		
Almemo Datenlogger 2890/9		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 25 mm Weg (No. 1)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 25 mm Weg (No. 2)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 25 mm Weg (No. 3)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 150 mm Weg (No. 4)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 5)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 6)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 7)		
Seilzugpotentiometer Fa. micro epsilon 300 mm Weg (No. 8)		
Seilzugpotentiometer Fa. micro epsilon 300 mm Weg (No. 9)		

Kurzbeschreibung des Prüfkörpers : Serienprodukt Brettsperholz der Fa. KLH

Verfahren der Probenahme :

Serienprodukt der Fa. KLH.

Spezifikation der Herstellung : unbekannt

Abmessungen der Wandscheibe VOR der Verformung (Höhe x Breite x

Dicke,Diagonalen [m]):

2,80 x 1,20 x 0,16 m , Diag 1: 3,036 m, Diag 2: 3,042 m

Klimatisierung des Prüfkörpers [Dauer / °C / rF %] : Lagerung in der Prüfhalle

der Holzforschung Austria

Holzfeuchte der obersten Holzlage [%] : Mittel 9,0 %

Klima im Prüfraum [°C / %rF] : 25 °C / 42 % RF

Beschreibung der Befestigung der Wand an der Prüfeinrichtung : siehe

Fotodokumentation

Beschreibung des Verfahrens der Wandbelastung und der Messung der

Tafelverformungen:

Die Wandscheibe wird mit 1 hydraulischen Zylinder belastet. Die Überwachung der aufgebrachtten Kräfte und Wege am Zylinder erfolgt durch Kraftmessdose und

Wegaufnehmer mittels computerunterstützter EDC. Verformungen der Wandscheibe werden durch externe Leitplastikpotentiometer sowie Messseilpotentiometer mit kontinuierlicher Messwerterfassung aufgezeichnet.

Angenommene horizontale Maximalkraft $F_{\max,est}$ [kN] : 100 kN

Aufgebrachte vertikale Maximalkraft F_v [kN] : 0 kN

Versagenskriterium (Art und Ort) : kein Versagen

Max . Verschiebung bei C (gem. EN 594, Anhang A) [mm] : siehe Auswertung TU Wien

Max . Verformung v (gem. EN 594, 6.4.1) [mm] : siehe Auswertung TU Wien

Gemessene Kraft- / Verformungswerte : siehe Datenauswertung

Abweichungen von der Prüfnorm :

- Wandscheibe nicht in Tafelbauart sondern Massivholzwand aus Brettsperholz
- Abmessungen entsprechen nicht der Prüfnorm

Lfd. Nummer des Prüfkörpers : 9

(Prüfung gemäß Norm EN 594:1995)

Firma: Ökohaus Prüfdatum: 14.12.2006

Auftragsnummer: F979/2006 Prüfer: DI Georg Neubauer

Unterschrift:

<u>Prüfmittel</u>	Gerät	Inventarnummer
Bauteilprüfstand (PZ100 und PZ 200)		
Almemo Datenlogger 2890/9		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 25 mm Weg (No. 1)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 25 mm Weg (No. 2)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 25 mm Weg (No. 3)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 150 mm Weg (No. 4)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 5)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 6)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 7)		
Seilzugpotentiometer Fa. micro epsilon 300 mm Weg (No. 8)		
Seilzugpotentiometer Fa. micro epsilon 300 mm Weg (No. 9)		

Kurzbeschreibung des Prüfkörpers : siehe Herstellungsprotokoll Fa. Ökohaus
Brettsperrholzwand, äußeren 4 Lagen Diagonal mit 60 °; Dicke 33 mm
Innere Lage vertikal, Dicke 40 mm

Verfahren der Probenahme :

Die Prüfkörper sind Prototypen und wurden speziell für die Prüfung hergestellt.

Spezifikation der Herstellung : siehe Herstellungsprotokoll Fa. Ökohaus

Abmessungen der Wandscheibe VOR der Verformung (Höhe x Breite x

Dicke, Diagonalen [m]):

279,2 x 119,5 x 17,5

Anlieferdatum des Prüfkörpers : 12.12.2006, bei Regen

Klimatisierung des Prüfkörpers [Dauer / °C / rF %] : Lagerung in der Prüfhalle
der Holzforschung Austria

Holzfeuchte der obersten Holzlage [%] : Mittel 15,0 %

Klima im Prüfraum [°C / %rF] : 20 °C / 50 % RF

Beschreibung der Befestigung der Wand an der Prüfeinrichtung : siehe
Fotodokumentation

Beschreibung des Verfahrens der Wandbelastung und der Messung der Tafelverformungen:

Die Wandscheibe wird mit 1 hydraulischen Zylinder belastet. Die Überwachung der aufgebrachten Kräfte und Wege am Zylinder erfolgt durch Kraftmessdose und Wegaufnehmer mittels computerunterstützter EDC. Verformungen der Wandscheibe werden durch externe Leitplastikpotentiometer sowie Messseilpotentiometer mit kontinuierlicher Messwerterfassung aufgezeichnet.

Angenommene horizontale Maximalkraft $F_{\max,est}$ [kN] : 100 kN

Aufgebrachte vertikale Maximalkraft F_v [kN] : 0 kN

Versagenskriterium (Art und Ort) : kein Versagen

Max . Verschiebung bei C (gem. EN 594, Anhang A) [mm] : siehe Datenauswertung TU Wien

Max . Verformung v (gem. EN 594, 6.4.1) [mm] : siehe Datenauswertung TU Wien

Gemessene Kraft- / Verformungswerte : siehe Datenauswertung TU Wien

Abweichungen von der Prüfnorm :

- Wandscheibe nicht in Tafelbauart sondern Massivholzwand aus Brettsperrholz
- Abmessungen entsprechen nicht der Prüfnorm

Lfd. Nummer des Prüfkörpers : 10

(Prüfung gemäß Norm EN 594:1995)

Firma: Ökohaus Prüfdatum: 15.12.2006

Auftragsnummer: F979/2006 Prüfer: DI Georg Neubauer

Unterschrift:

<u>Prüfmittel</u>	Gerät	Inventarnummer
Bauteilprüfstand (PZ100 und PZ 200)		
Almemo Datenlogger 2890/9		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 25 mm Weg (No. 1)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 25 mm Weg (No. 2)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 25 mm Weg (No. 3)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 150 mm Weg (No. 4)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 5)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 6)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 7)		
Seilzugpotentiometer Fa. micro epsilon 300 mm Weg (No. 8)		
Seilzugpotentiometer Fa. micro epsilon 300 mm Weg (No. 9)		

Kurzbeschreibung des Prüfkörpers : siehe Herstellungsprotokoll Fa. Ökohaus
Brettsperrholzwand, äußeren 2 Lagen Diagonal mit 45 °, Dicke 33 mm
Innere Lage diagonal, Dicke 67 mm

Verfahren der Probenahme :

Die Prüfkörper sind Prototypen und wurden speziell für die Prüfung hergestellt.

Spezifikation der Herstellung : siehe Herstellungsprotokoll Fa. Ökohaus

Abmessungen der Wandscheibe VOR der Verformung (Höhe x Breite x

Dicke, Diagonalen [m]):

279,8 x 119,3 cm x 13,3 cm

Anlieferdatum des Prüfkörpers : 12.12.2006, bei Regen

Klimatisierung des Prüfkörpers [Dauer / °C / rF %] : Lagerung in der Prüfhalle
der Holzforschung Austria

Holzfeuchte der obersten Holzlage [%] : Mittel 15,5 %

Klima im Prüfraum [°C / %rF] : 19 °C / 55 % RF

Beschreibung der Befestigung der Wand an der Prüfeinrichtung : siehe
Fotodokumentation

Beschreibung des Verfahrens der Wandbelastung und der Messung der Tafelverformungen:

Die Wandscheibe wird mit 1 hydraulischen Zylinder belastet. Die Überwachung der aufgetragenen Kräfte und Wege am Zylinder erfolgt durch Kraftmessdose und Wegaufnehmer mittels computerunterstützter EDC. Verformungen der Wandscheibe werden durch externe Leitplastikpotentiometer sowie Messseilpotentiometer mit kontinuierlicher Messwerterfassung aufgezeichnet.

Angenommene horizontale Maximalkraft $F_{\max,est}$ [kN] : 100 kN

Aufgebrachte vertikale Maximalkraft F_v [kN] : 0 kN

F_{\max} [kN] : 71,54 kN

Versagenskriterium (Art und Ort) : Lokales Versagen im Druckauflager durch Querkzugbelastung der schräg gestellten Lamellen

Max . Verschiebung bei C (gem. EN 594, Anhang A) [mm] : siehe Datenauswertung TU Wien

Max . Verformung v (gem. EN 594, 6.4.1) [mm] : siehe Datenauswertung TU Wien

Gemessene Kraft- / Verformungswerte : siehe Datenauswertung TU Wien

Abweichungen von der Prüfnorm :

- Wandscheibe nicht in Tafelbauart sondern Massivholzwand aus Brettsperholz
- Abmessungen entsprechen nicht der Prüfnorm

12:05:15-12:05:20 Sensor 4 neu justiert

12:35:00-12:37:00 Sensor 4 neu justiert

Sensor 4 gegen Ende ausgefallen

Lfd. Nummer des Prüfkörpers : 11

(Prüfung gemäß Norm EN 594:1995)

Firma: Ökohaus Prüfdatum: 19.12.2006

Auftragsnummer: F979/2006 Prüfer: DI Georg Neubauer

Unterschrift:

<u>Prüfmittel</u>	Gerät	Inventarnummer
Bauteilprüfstand (PZ100 und PZ 200)		
Almemo Datenlogger 2890/9		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 25 mm Weg (No. 1)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 25 mm Weg (No. 2)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 25 mm Weg (No. 3)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 150 mm Weg (No. 4)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 5)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 6)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 7)		
Seilzugpotentiometer Fa. micro epsilon 300 mm Weg (No. 8)		
Seilzugpotentiometer Fa. micro epsilon 300 mm Weg (No. 9)		

Kurzbeschreibung des Prüfkörpers : siehe Herstellungsprotokoll Fa. Ökohaus
Brettsperrholzwand, äußeren 2 Lagen Diagonal mit 45 °, Dicke 33 mm
Innere Lage diagonal, Dicke 80 mm

Verfahren der Probenahme :

Die Prüfkörper sind Prototypen und wurden speziell für die Prüfung hergestellt.

Spezifikation der Herstellung : siehe Herstellungsprotokoll Fa. Ökohaus

Abmessungen der Wandscheibe VOR der Verformung (Höhe x Breite x

Dicke, Diagonalen [m]):

279,0 x 119,9 cm x 14,5 cm

Anlieferdatum des Prüfkörpers : 12.12.2006, bei Regen

Klimatisierung des Prüfkörpers [Dauer / °C / rF %] : Lagerung in der Prüfhalle
der Holzforschung Austria

Holzfeuchte der obersten Holzlage [%] : Mittel 14,2 %

Klima im Prüfraum [°C / %rF] : 20 °C / 45 % RF

Beschreibung der Befestigung der Wand an der Prüfeinrichtung : siehe
Fotodokumentation

Beschreibung des Verfahrens der Wandbelastung und der Messung der Tafelverformungen:

Die Wandscheibe wird mit 1 hydraulischen Zylinder belastet. Die Überwachung der aufgebrachten Kräfte und Wege am Zylinder erfolgt durch Kraftmessdose und Wegaufnehmer mittels computerunterstützter EDC. Verformungen der Wandscheibe werden durch externe Leitplastikpotentiometer sowie Messseilpotentiometer mit kontinuierlicher Messwerterfassung aufgezeichnet.

Angenommene horizontale Maximalkraft $F_{\max,est}$ [kN] : 100 kN

Aufgebrachte vertikale Maximalkraft F_v [kN] : 0 kN

F_{\max} [kN] : 70,28 kN

Versagenskriterium (Art und Ort) : Lokales Versagen im Druckauflager durch Querkzugbelastung der schräg gestellten Lamellen

Max . Verschiebung bei C (gem. EN 594, Anhang A) [mm] : siehe Datenauswertung TU Wien

Max . Verformung v (gem. EN 594, 6.4.1) [mm] : siehe Datenauswertung TU Wien

Gemessene Kraft- / Verformungswerte : siehe Datenauswertung TU Wien

Abweichungen von der Prüfnorm :

- Wandscheibe nicht in Tafelbauart sondern Massivholzwand aus Brettsperholz
- Abmessungen entsprechen nicht der Prüfnorm

Lfd. Nummer des Prüfkörpers : 12

(Prüfung gemäß Norm EN 594:1995)

Firma: Ökohaus Prüfdatum: 12:03:11

Auftragsnummer: F979/2006 Prüfer: DI Georg Neubauer

Unterschrift:

<u>Prüfmittel</u>	Gerät	Inventarnummer
Bauteilprüfstand (PZ100 und PZ 200)		
Almemo Datenlogger 2890/9		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 25 mm Weg (No. 1)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 25 mm Weg (No. 2)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 25 mm Weg (No. 3)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 150 mm Weg (No. 4)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 5)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 6)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 7)		
Seilzugpotentiometer Fa. micro epsilon 300 mm Weg (No. 8)		
Seilzugpotentiometer Fa. micro epsilon 300 mm Weg (No. 9)		

Kurzbeschreibung des Prüfkörpers : siehe Herstellungsprotokoll Fa. Ökohaus
Brettsperrholzwand, äußeren 4 Lagen Diagonal mit 45 °; Dicke 32 mm
Innere Lage vertikal, Dicke 48 mm

Verfahren der Probenahme :

Die Prüfkörper sind Prototypen und wurden speziell für die Prüfung hergestellt.

Spezifikation der Herstellung : siehe Herstellungsprotokoll Fa. Ökohaus

Abmessungen der Wandscheibe VOR der Verformung (Höhe x Breite x

Dicke, Diagonalen [m]):

277,9 x 119,6 cm x 18 cm

Anlieferdatum des Prüfkörpers : 12.12.2006, bei Regen

Klimatisierung des Prüfkörpers [Dauer / °C / rF %] : Lagerung in der Prüfhalle
der Holzforschung Austria

Holzfeuchte der obersten Holzlage [%] : 15,1 %

Klima im Prüfraum [°C / %rF] : 20 °C / 45 % RF

Beschreibung der Befestigung der Wand an der Prüfeinrichtung : siehe
Fotodokumentation

Beschreibung des Verfahrens der Wandbelastung und der Messung der Tafelverformungen:

Die Wandscheibe wird mit 1 hydraulischen Zylinder belastet. Die Überwachung der aufgebrachten Kräfte und Wege am Zylinder erfolgt durch Kraftmessdose und Wegaufnehmer mittels computerunterstützter EDC. Verformungen der Wandscheibe werden durch externe Leitplastikpotentiometer sowie Messseilpotentiometer mit kontinuierlicher Messwerterfassung aufgezeichnet.

Angenommene horizontale Maximalkraft $F_{\max,est}$ [kN] : 100 kN

Aufgebrachte vertikale Maximalkraft F_v [kN] : 0 kN

Versagenskriterium (Art und Ort) : kein Versagen

Max . Verschiebung bei C (gem. EN 594, Anhang A) [mm] : siehe Datenauswertung TU Wien

Max . Verformung v (gem. EN 594, 6.4.1) [mm] : siehe Datenauswertung TU Wien

Gemessene Kraft- / Verformungswerte : siehe Datenauswertung TU Wien

Abweichungen von der Prüfnorm :

- Wandscheibe nicht in Tafelbauart sondern Massivholzwand aus Brettsperrholz
- Abmessungen entsprechen nicht der Prüfnorm

Lfd. Nummer des Prüfkörpers : 13

(Prüfung gemäß Norm ISO 16670:2003)

Firma: Ökohaus Prüfdatum: 08.02.2007

Auftragsnummer: F979 / 06 Prüfer: DI Georg Neubauer

Unterschrift:

<u>Prüfmittel</u>	Gerät	Inventarnummer	
Bauteilprüfstand (PZ100 und PZ 200)			
Almemo Datenlogger 2890/9			
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 150 mm Weg (No. 4)			
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 5)			
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 6)			
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 7)			
Seilzugpotentiometer Fa. micro epsilon 300 mm Weg (No. 8)			

Kurzbeschreibung des Prüfkörpers : siehe Herstellungsprotokoll Fa. Ökohaus
Brettsperrholzwand, Aufbau siehe Herstellungsprotokoll

Verfahren der Probenahme :

Die Prüfkörper sind Prototypen und wurden speziell für die Prüfung hergestellt.

Spezifikation der Herstellung : siehe Herstellungsprotokoll Fa. Ökohaus

Anlieferdatum des Prüfkörpers : 3.4.2007

Abmessungen der Wandscheibe VOR der Verformung (Höhe x Breite x Dicke [m]):

279 x 119,6 cm x ? cm

Klimatisierung des Prüfkörpers [Dauer / °C / rF %] : Lagerung in der Prüfhalle der Holzforschung Austria

Klima im Prüfraum [°C / %rF] : 20 °C / 44 % RF

Beschreibung der Befestigung der Wand an der Prüfeinrichtung : siehe Fotodokumentation

Beschreibung des Verfahrens der Wandbelastung und der Messung der Tafelverformungen:

Die Wandscheibe wird mit 1 hydraulischen Zylinder belastet. Die Überwachung der aufgebrachten Kräfte und Wege am Zylinder erfolgt durch Kraftmessdose und Wegaufnehmer mittels computerunterstützter EDC. Verformungen der Wandscheibe

werden durch externe Leitplastikpotentiometer sowie Messeilpotentiometer mit kontinuierlicher Messwerterfassung aufgezeichnet.

Angenommene Maximalverschiebung v (mm): 60 mm

Aufgebrachte vertikale Maximalkraft F_V [kN] : 0 kN

Belastungsgeschwindigkeit (mm/min): 60 mm / min

F_{\max} (pos, Druck) [kN] : 190,48 kN

F_{\max} (neg, Zug) [kN] : -108,54 kN

Duktilität : siehe Datenauswertung TU Wien

Gemessene Kraft- / Verformungswerte : siehe Datenauswertung TU Wien

Abweichungen von der Prüfnorm :

- Es wurden folgende Zyklen gefahren

Zyklen	mm	mm
1	0,75	-0,75
1	1,5	-1,5
1	3	-3
1	4,5	-4,5
1	6	-6
3	12	-12
3	24	-24
3	36	-36
3	48	-48
3	60	-60
3	72	-60
3	84	-60
2	96	-60
1	197 kN	0

- Die rot markieren Werte weichen von der Prüfnorm ab. Der Weg in Zugrichtung wurde durch die Prüfanordnung auf 60 mm begrenzt. Das letzte Lastniveau wurde nicht weggesteuert sondern kraftgesteuert auf 197 kN in Druckrichtung angefahren.

Lfd. Nummer des Prüfkörpers : 14

(Prüfung gemäß Norm ISO 16670:2003)

Firma: Ökohaus Prüfdatum: 04.04.2007

Auftragsnummer: F979 / 06 Prüfer: DI Georg Neubauer

Unterschrift:

<u>Prüfmittel</u>	Gerät	Inventarnummer	
Bauteilprüfstand (PZ100 und PZ 200)			
Almemo Datenlogger 2890/9			
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 150 mm Weg (No. 4)			
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 5)			
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 6)			
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 7)			
Seilzugpotentiometer Fa. micro epsilon 300 mm Weg (No. 8)			

Kurzbeschreibung des Prüfkörpers : siehe Herstellungsprotokoll Fa. Ökohaus

Brettsperrholzwand, Aufbau:	32 mm diagonal, 45°
	32 mm diagonal -45 °
	40 mm vertikal
	32 mm diagonal, -45°
	32 mm diagonal, 45°

Verfahren der Probenahme :

Die Prüfkörper sind Prototypen und wurden speziell für die Prüfung hergestellt.

Spezifikation der Herstellung : siehe Herstellungsprotokoll Fa. Ökohaus

Anlieferdatum des Prüfkörpers : 3.4.2007

Klimatisierung des Prüfkörpers [Dauer / °C / rF %] : Lagerung in der Prüfhalle der Holzforschung Austria

Klima im Prüfraum [°C / %rF] : 20 °C / 42 % RF

Beschreibung der Befestigung der Wand an der Prüfeinrichtung : siehe Fotodokumentation

Beschreibung des Verfahrens der Wandbelastung und der Messung der Tafelverformungen:

Die Wandscheibe wird mit 1 hydraulischen Zylinder belastet. Die Überwachung der aufgebrachten Kräfte und Wege am Zylinder erfolgt durch Kraftmessdose und Wegaufnehmer mittels computerunterstützter EDC. Verformungen der Wandscheibe

werden durch externe Leitplastikpotentiometer sowie Messeilpotentiometer mit kontinuierlicher Messwerterfassung aufgezeichnet.

Angenommene Maximalverschiebung v (mm): 60 mm

Aufgebrachte vertikale Maximalkraft F_V [kN] : 0 kN

Belastungsgeschwindigkeit (mm/min): 60 mm / min

F_{\max} (pos, Druck) [kN] : siehe Datenauswertung TU Wien

F_{\max} (neg, Zug) [kN] : siehe Datenauswertung TU Wien

Duktilität : siehe Datenauswertung TU Wien

Gemessene Kraft- / Verformungswerte : siehe Datenauswertung TU Wien

Abweichungen von der Prüfnorm :

- Es wurden folgende Zyklen gefahren

Zyklen	mm	mm
1	0,75	-0,75
1	1,5	-1,5
1	3	-3
1	4,5	-4,5
1	6	-6
3	12	-12
3	24	-24
3	36	-36
3	48	-48
3	60	-60
3	72	-60
3	84	-60
2	96	-60
1	197 kN	0

- Die rot markieren Werte weichen von der Prüfnorm ab. Der Weg in Zugrichtung wurde durch die Prüfanordnung auf 60 mm begrenzt. Das letzte Lastniveau wurde nicht weggesteuert sondern kraftgesteuert auf 197 kN in Druckrichtung angefahren.

Lfd. Nummer des Prüfkörpers : 15

(Prüfung gemäß Norm ISO 16670:2003)

Firma: Ökohaus Prüfdatum: 06.04.2007

Auftragsnummer: F979 / 06 Prüfer: DI Georg Neubauer

Unterschrift:

<u>Prüfmittel</u>	Gerät	Inventarnummer
Bauteilprüfstand (PZ100 und PZ 200)		
Almemo Datenlogger 2890/9		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 150 mm Weg (No. 4)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 5)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 6)		
Leitplastikpotentiometer Fa. Novotechnik 100 mm Weg (No. 7)		
Seilzugpotentiometer Fa. micro epsilon 300 mm Weg (No. 8)		

Kurzbeschreibung des Prüfkörpers : siehe Herstellungsprotokoll Fa. Ökohaus
Brettsperrholzwand, Aufbau: siehe Herstellungsprotokoll

Verfahren der Probenahme :

Die Prüfkörper sind Prototypen und wurden speziell für die Prüfung hergestellt.

Spezifikation der Herstellung : siehe Herstellungsprotokoll Fa. Ökohaus

Anlieferdatum des Prüfkörpers : 3.4.2007

Klimatisierung des Prüfkörpers [Dauer / °C / rF %] : Lagerung in der Prüfhalle
der Holzforschung Austria

Klima im Prüfraum [°C / %rF] : 20 °C / 45 % RF

Beschreibung der Befestigung der Wand an der Prüfeinrichtung : siehe
Fotodokumentation

**Beschreibung des Verfahrens der Wandbelastung und der Messung der
Tafelverformungen:**

Die Wandscheibe wird mit 1 hydraulischen Zylinder belastet. Die Überwachung der
aufgebrachten Kräfte und Wege am Zylinder erfolgt durch Kraftmessdose und
Wegaufnehmer mittels computerunterstützter EDC. Verformungen der Wandscheibe
werden durch externe Leitplastikpotentiometer sowie Messseilpotentiometer mit
kontinuierlicher Messwerterfassung aufgezeichnet.

Angenommene Maximalverschiebung v (mm): 60 mm

Aufgebrachte vertikale Maximalkraft F_V [kN] : 0 kN

Belastungsgeschwindigkeit (mm/min): 60 mm / min

F_{max} (pos, Druck) [kN] : siehe Datenauswertung TU Wien

F_{max} (neg, Zug) [kN] : siehe Datenauswertung TU Wien

Gemessene Kraft- / Verformungswerte : siehe Datenauswertung TU Wien

Abweichungen von der Prüfnorm :

- Es wurden folgende Zyklen gefahren

Zyklen	mm	mm
1	0,75	-0,75
1	1,5	-1,5
1	3	-3
1	4,5	-4,5
1	6	-6
3	12	-12
3	24	-24
3	36	-36
3	48	-48
3	60	-60
3	72	-72
3	84	-72
2	96	-72
1	197 kN	0

- Die rot markieren Werte weichen von der Prüfnorm ab. Der Weg in Zugrichtung wurde durch die Prüfanordnung auf 72 mm begrenzt. Das letzte Lastniveau wurde nicht weggesteuert sondern kraftgesteuert auf 197 kN in Druckrichtung angefahren.