

## Vorhaben 50 EN - CORNET

# Optimierung mehrgeschossiger Holzbauten gegen Erdbebeneinwirkungen

Projektlaufzeit: 01.03.2011 bis 31.08.2013

Durchführung: Universität Kassel  
Institut für Konstruktion Ingenieurbau  
Fachgebiet Bauwerkserhaltung und Holzbau  
Kurt-Wolters-Straße 3, 34125 Kassel

## 1. Einleitung

Die wesentliche Zielsetzung des Projektes OPTIMBERQUAKE war die Entwicklung von Konstruktionen und Bauarten mit den zugehörigen Details für mehrgeschossige Holzgebäude in erdbebengefährdeten Gebieten. In diesem Zusammenhang sollten insbesondere Hemmnisse, die derzeit die Entwicklung eines neuen und wichtigen Marktes für mehrgeschossige Holztragwerke darstellen, beseitigt werden.

In den vergangenen zehn Jahren wurde eine Fülle neuartiger Konstruktionen und Details für den Holzbau entwickelt und optimiert. Das betrifft die bauphysikalischen Eigenschaften – im Zusammenhang mit Dämmung, Schallschutz und Brandschutz, aber auch den Lastabtrag. Der europäische Holzbau hat weltweit hinsichtlich maßgebender Qualitätskriterien eine Spitzenposition erreicht. Gleichzeitig begünstigten baurechtliche Erleichterungen das mehrgeschossige Bauen mit Holz. Holzbauten weisen zahlreiche Vorteile gegenüber anderen Konstruktionsarten auf. Dazu zählen insbesondere die vergleichsweise kurze Bauzeit vor Ort und die Qualitätssicherung, die durch die leichte Bauweise und den hohen Vorfertigungsgrad begünstigt werden.

Die Erdbebensicherheit einer Bauweise ist eine ganz wesentliche Anforderung für Gebäude in Europa. Die meisten Länder auf dem Balkan und im Mittelmeerraum sind erheblich erdbebengefährdet. Aber auch in Mitteleuropa, insbesondere im Alpenraum und nördlich davon, muss von einer mittleren Erdbebengefährdung ausgegangen werden. Die Herausforderung des erdbebensicheren Bauens in Mittel- und Westeuropa gerieten in den vergangenen Monaten stärker ins Blickfeld als bisher, da im Rahmen eines europäischen Forschungsprogrammes ([www.share-eu.org](http://www.share-eu.org)) für diese Bereiche erheblich höhere Einwirkungen aus Erdbeben prognostiziert werden.

Die folgenden Ergebnisse des Forschungsprojektes OPTIMBERQUAKE werden dazu beitragen, die Position des Holzbaus im Wettbewerb mit anderen Konstruktionsarten ganz erheblich zu stärken:

- Wirtschaftliche und preiswerte Aussteifungssysteme;
- Effektive Anschlüsse zwischen vertikalen und horizontalen Elementen des Aussteifungssystems;
- Optimierung des Zusammenwirkens unterschiedlicher Tragelemente bei einem Erdbeben;

- Gut handhabbare und robuste Berechnungsverfahren für mehrgeschossige Bauweisen, einschließlich der Verfahren zur Ermittlung der auf einzelne Tragelemente einwirkenden Kräfte;
- Konsequente Anwendung der Kapazitätsbemessung;
- Verbesserung der normativen Regelung im Vergleich mit dem derzeitigen Zustand.

Diese Ergebnisse werden dazu beitragen, Hemmnisse, die derzeit der Entwicklung des Marktes für mehrgeschossige Holztragwerke entgegenstehen, zu beseitigen. Dies gilt insbesondere für Regionen mittlerer und hoher Seismizität.

Was die ökonomischen Auswirkungen des Projektes anbelangt, ist eine Unterscheidung zwischen dem Markt innerhalb und außerhalb der EU sinnvoll. Eine Erhöhung des Anteils von Holzgebäuden in der EU wird die Qualität des Bauens verbessern und zu einer nachhaltigeren Art und Weise des Bauens führen. Darüber hinaus werden erdbebensichere Holzgebäude dazu beitragen, den Verlust an Menschenleben im Falle einer Erdbebenkatastrophe zu verringern. Blickt man auf die Gebiete außerhalb der EU, insbesondere auf die schnell wachsenden Regionen in Asien, dann ist zu erkennen, dass hier bisher nahezu ausschließlich die amerikanische Holzbauweise bekannt ist. Die entsprechenden Konstruktionen entsprechen nicht der Qualität wie wir sie im europäischen Raum kennen. Vor dem Hintergrund, dass viele Regionen Asiens eine erhebliche seismische Gefährdung aufweisen, ist es erforderlich, dass für den Export konzipierte Konstruktionen eine klare Zertifizierung hinsichtlich der Leistungsfähigkeit bei einem Erdbeben aufweisen.

Um die angestrebten Ziele des Forschungsprojekts zu erreichen, wurden im Vorfeld die folgenden Arbeitsschritte definiert:

- Identifikation effektiver Tragwerke für mehrgeschossige Holzbauten vor dem Hintergrund der Erdbebensicherheit;
- Bauteilversuche an Wand- und Deckenkonstruktionen einschließlich der zugehörigen Verankerung- und Verbindungsdetails;
- Entwicklung von Rechenverfahren und Berechnungsmodellen zur Beschreibung der wesentlichen mechanischen Eigenschaften unterschiedlicher Konstruktionsarten für Wand- und Deckenelemente einschließlich der zugehörigen Verankerung und Anschlüsse;
- Verbesserung der Prognose des Verhaltens und des Zusammenwirkens von einzelnen Elementen eines Aussteifungssystems – das sind Deckenscheiben und Wandscheiben innerhalb eines Gebäudes – bei Erdbebeneinwirkung.

Aus Gründen des Brandschutzes weisen Holzgebäude, die höher als vier Geschosse sind, in der Regel einen Stahlbetonkern im Bereich der Aufzüge und des Treppenhauses auf. Aus diesem Grund wurde im Arbeitspaket WP1 das Zusammenwirken unterschiedlicher Elemente eines Aussteifungssystems rechnerisch untersucht. Dazu wurde ein dreidimensionales Rechenmodell mit vereinfachten aber realitätsnahen linear-elastischen Modellgesetzen entwickelt. Drei unterschiedliche Grundrisse, die typisch für das mehrgeschossige Bauen sind, wurden berücksichtigt.

Aus den Berechnungsergebnissen wurden wesentliche Randbedingungen für die Bauteilversuche abgeleitet.

Unterschiedliche Konstruktionsarten für Wandelemente – dazu zählen in erster Linie Holzrahmenbauweise und die Massivbauweise mit Brettsper Holz – verhalten sich sehr unterschiedlich unter einer Erdbebeneinwirkung. Dieses Thema stand im Mittelpunkt der Arbeitspakete WP2 „Bauteilversuche“ und WP3 „Modellierung von Tragelementen“.

Die Kräfte aus einem Erdbeben nehmen mit Höhe des Gebäudes überproportional zu und sind deshalb sehr sorgfältig bei der Berechnung zu berücksichtigen. Was die Verteilung dieser Kräfte innerhalb eines Gebäudes anbelangt, spielt die Nachgiebigkeit von Deckenkonstruktionen eine wesentliche Rolle. Um einen genaueren Einblick in das Zusammenwirken von Decken- und Wandkonstruktionen zu erhalten ohne dafür außerordentlich aufwendige Versuche an mehrgeschossigen Bauwerken durchzuführen, wurde im Arbeitspaket WP3 „Strukturmodelle“ Rechenmodelle adaptiert mit denen diese Fragestellung rechnerisch untersucht werden kann. Durch Vergleiche mit den Bauteilversuchen der vorangegangenen Arbeitspakete sowie mit den Ergebnissen großmaßstäblicher Versuche aus der Literatur konnten die Rechenmodelle validiert werden. Die These, dass Holzbauten insbesondere bei mehrgeschossigen Bauwerken ein ausgezeichnetes Verhalten gegenüber einer Erdbebeneinwirkung aufweisen, konnte durch die Untersuchungen bestätigt und bekräftigt werden. Was sich ebenfalls bestätigen ließ, ist die Tatsache, dass die Art und Weise der rechnerischen Modellierung und insbesondere die Konzeption und Ausführung der Details einen ganz wesentlichen Einfluss darauf haben, ob das angestrebte Sicherheitsniveau letztendlich auch erreicht wird.

In den folgenden Abschnitten werden die wesentlichen Ergebnisse von OPTIMBERQUAKE zusammengefasst. Eine vollständige Dokumentation findet sich in den einzelnen Berichten zu den jeweiligen Arbeitspaketen:

- Deliverable 1 – Preliminary design and testing program [1]
- Deliverable 2A – Connection units – monotonic and cyclic testing [2],
- Deliverable 2B – Timber framed wall elements – monotonic and cyclic testing [3],
- Deliverable 2C – Anchoring units – monotonic and cyclic testing [4],
- Deliverable 2D – CLT-wall elements – monotonic and cyclic testing [5],
- Deliverable 2E – Moment resisting frames – monotonic and cyclic testing [6],
- Deliverable 2F – Slab-elements – monotonic and cyclic testing [7],
- Deliverable 3 – Substructure modelling [8],
- Deliverable 4 – Structure modelling [9],
- - Deliverable 6 – Guideline [10]

Der wirtschaftliche Nutzen des Projektes lässt sich stichwortartig zusammenfassen:

- Es wurde erstmals im europäischen Rahmen ein koordiniertes transnationales Forschungsprojekt zur Tragsicherheit von Holztragwerken unter Erdbebeneinwirkung durchgeführt;
- Mit den zahlreichen Bauteilversuchen wurde eine einheitliche Basis geschaffen, um zukünftig die Zulassung neuer Bauprodukte wesentlich zu vereinfachen;
- Wesentliche Festlegungen in diesem Zusammenhang beziehen sich auf die Randbedingungen der Versuchsdurchführung, dazu zählen Bauteilabmessungen und Geometrie, Art und Weise der Belastungssteuerung und die Auswertung der Versuchsergebnisse;

- Auf der Grundlage von Versuchen und Berechnungen wurde eine breite Datenbasis mit maßgeblichen Bemessungsparametern zur Verfügung gestellt, dazu zählen Steifigkeit, Tragfähigkeit, Duktilität und Energiedissipation;
- Mit den für die Fragestellung des Holzbaus angepassten numerischen Verfahren stehen leistungsfähige Werkzeuge für die Berechnung von Aussteifungskonstruktionen und deren Anschlüssen zur Verfügung;
- In einer Berechnungsrichtlinie werden mit internationalen Bezug die wesentlichen Grundfragen für eine rechnerische Erfassung der Erdbebensicherheit mehrgeschossiger Holzgebäude zur Verfügung gestellt;
- Für weiterführende numerische Berechnungen, bei denen das Tragverhalten von dreidimensionalen Strukturen realitätsnah erfasst werden kann, werden wesentliche Eingabewerte für die Modellierung der Tragwerke zur Verfügung gestellt;
- Den Vertretern des Holzbaus in Normungsausschüssen werden wichtige Argumentationshilfen zur Verfügung gestellt, um die Interessen des Holzbaus zielgerichtet zu wahren.

Projektpartner waren das ivTH Braunschweig und das Belgische Bauforschungsinstitut BBRI in Brüssel. Die technische Leitung des Forschungsprojektes oblag Prof. Dr. Werner Seim, Fachgebiet Bauwerkserhaltung und Holzbau der Universität Kassel.

OPTIMBERQUAKE war ein transnationales Projekt gefördert im Rahmen der CORNET-Initiative (siehe [www.cornet-era.net](http://www.cornet-era.net)). Das Projekt wurde nicht direkt durch die Europäische Union gefördert sondern durch die beteiligten Länder. Der deutsche Anteil wurde über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsförderung (AiF) aufgebracht. Der belgische Anteil wurde von Service Public de Wallonie, gefördert. Im Vorfeld wurde eine enge Kooperation mit Prof. Fragiaco von der University of Sassari (Italien) geplant. Von Prof. Fragiaco wurden Rechenverfahren in das Projekt eingebracht und auf die besondere Anwendung für den Holzbau adaptiert.

Auf deutscher Seite waren die folgenden Verbände am Forschungsprojekt beteiligt:

- Holzbau Deutschland / QHA, Berlin
- Deutsche Holzfertigbauverband, Stuttgart (DHV)
- Studiengemeinschaft Brettschichtholz, Wuppertal
- Verband der Holzwerkstoffindustrie, Gießen (VHI)
- Bundesverband der Gipsindustrie, Berlin.

Die Verteilung und Weitergabe der Forschungsergebnisse wurde von den belgischen Partnern betreut (siehe Abschnitt 6). Gleich zu Beginn der Forschungsaktivitäten wurde [www.optimberquake.eu](http://www.optimberquake.eu) installiert. Diese Adresse diente als Plattform für den internen Austausch und die Kooperation und wurde bzw. wird von dem Projektpartnern und der interessierten Fachöffentlichkeit genutzt, um sich über die Ergebnisse auf dem Laufenden zu halten. Wir hoffen, mit zukünftigen Forschungsprojekten diese Plattform auch über die Laufzeit von OPTIMBERQUAKE hinaus am Leben erhalten zu können.

## **2. Entwurf und Bemessung von Referenzbauwerken - WP1**

Das wesentliche Ziel des ersten Arbeitspaketes war es, typische Grundrisse für das mehrgeschossige Bauen und die zugehörigen Tragwerkslösungen zu identifizieren. Die Frage, welche Konstruktionsarten und welche Grundrisse am Markt nachgefragt werden, wurde intensiv mit dem projektbegleitenden Ausschuss diskutiert. In diesem Zusammenhang spielen auch die Randbedingungen, die sich aus

bauphysikalischen Anforderungen und aus den Regelungen des Brandschutzes ergeben, eine wesentliche Rolle. Unterschiedliche Nutzungsarten – Wohnen und Büronutzung – wurden ebenfalls berücksichtigt. Die Höhe der Gebäude wurde mit vier, sechs und acht Geschossen definiert. Die entsprechenden Tragelemente sollten für zwei unterschiedliche Zonen hinsichtlich der Erdbebengefährdung ausgelegt werden.

Die Berechnungsergebnisse zeigen anschaulich den Einfluss der Steifigkeit bei den fünf unterschiedlichen Varianten auf die erste Schwingungsperiode und die Gesamthorizontalkraft. Entsprechend der ersten Eigenperiode verändert sich auch die aus dem Antwortspektrum ablesbare Maximalbeschleunigung und damit die Gesamterdbebenkraft, die als Horizontalbelastung anzusetzen ist. Ausgehend von der Variante V-1 (steife Verbindung) mit einer sehr geringen Eigenschwingzeit und einer entsprechend hohen Gesamthorizontalkraft hin zu Variante V-5 reduzieren sich die Gesamterdbebenkräfte um das 3,5-fache bei gleichzeitig erhöhter Maximalverformung, welche das 2,5-fache des Ausgangswertes beträgt.

Das Antwortspektrum liefert eine schlüssige Erklärung für die Reduktion der Gesamterdbebenkraft. Mit abnehmender Steifigkeit ergeben sich Beschleunigungswerte im absteigenden Ast des Spektrums.

Um das Tragverhalten einer Wandkonstruktion im Erdbebenfall realitätsnah untersuchen zu können, ist es erforderlich, im Versuch eine Einwirkungskombination aufzubringen, die der Situation einer Wand in einem realen Gebäude möglichst gut entspricht. Dies betrifft insbesondere die Interaktion vertikaler und horizontaler Lasten.

Für den Fall einer Wand im Erdgeschoss oder im 1. OG eines mehrgeschossigen Gebäudes bedeutet dies, dass der Angriffspunkt der vertikalen Beanspruchung mit zunehmender

Horizontallast vom Schwerpunkt der Wand zum Wandrand wandern muss. Dies wurde in einigen Versuchen konsequent bei zyklischer Belastung umgesetzt.

### **3. Experimentelle Untersuchungen von Tragelementen und Verbindungsmitteln – WP 2**

#### ***Holzrahmenelemente***

Um das Tragverhalten von Wandelementen in Holzrahmenbauweise unter Erdbebeneinwirkung umfassend zu bewerten, wurde ein Versuchsprogramm entwickelt, welches drei unterschiedliche Skalen berücksichtigt: An 58 Versuchskörpern wurde das Zusammenwirken von Unterkonstruktion und Verbindungsmittel unter monotonen und zyklischen Lasten untersucht. 18 Versuchskörper wurden hergestellt, um den Verankerungsbereich eines Wandelementes genauer in den Blick zu nehmen. Auf der Grundlage dieser beiden Serien wurde ein Versuchsprogramm mit 20 Wandelementen konzipiert.

Ein qualitativer Vergleich der Versuchsergebnisse zeigt, dass die Dämpfung der Versuchskörper mit Gipsfaserplatten in einer ähnlichen Größenordnung der Werte liegt, die mit OSB-Platten erreicht werden. Erwartungsgemäß liegt die Dämpfung mit dickeren OSB-Platten höher als diejenige als der Versuchskörper mit dünneren OSB-Platten (z. Bsp. na2,8-o18 – na2,8-o10 und st1,53-o18 – st1,53-o10). Allerdings stellt sich dieser Effekt bei den Gipsfaserplatten nicht ein. Im Gegensatz zu den vergleichsweise einheitlichen Werten der äquivalenten viskosen Dämpfung sind die Duktilitäten, die sich

aus der Versuchsauswertung ergeben, sehr unterschiedlich. Aus diesem Grund erachten wir es als fragwürdig, die Duktilität als einzigen Parameter zur Interpretation der Energiedissipation von Verbindungsmitteln anzuwenden.

Die Versuche an Verankerungselementen waren Teil des Arbeitspaketes 2.1. Ein wesentlicher Schwerpunkt bei den 17 Versuchskörpern lag beim Vergleich des Einflusses einer direkten bzw. indirekten Befestigung des Stahlblechformteils auf den Randrippen der Unterkonstruktion. Darüber hinaus wurde eine Optimierung der Verankerung hinsichtlich der Tragfähigkeit und der Verformungsfähigkeit durchgeführt, bei der zusätzlich zu den Nägeln als Verbindungsmittel bzw. anstatt der Nägel selbstbohrende Holzschrauben verwendet wurden.

Vergleicht man die Versuchsergebnisse miteinander, so stellt man fest, dass eine direkte Verankerung auf der Unterkonstruktion oder eine Verankerung durch eine Zwischenschicht zu vergleichsweise ähnlichen Resultaten führen. Einerseits war die Tragfähigkeit geringfügig geringer, wenn die Verankerung durch eine Zwischenschicht ausgeführt worden war. Andererseits ergaben sich in diesem Fall höhere Werte bei der Duktilität und bei der äquivalenten Dämpfung. Die geringere Tragfähigkeit kann vergleichsweise einfach ausgeglichen werden, indem zwei oder drei zusätzliche Verbindungsmittel vorgesehen werden.

Durch die Versuche konnte ein wesentlicher Effekt, der die Tragfähigkeit einer Verankerung beeinflusst, klar herausgearbeitet werden: Aufgrund der einseitigen asymmetrischen Verankerung ergeben sich im Stiel Zugspannungen senkrecht zur Faser, die sich mit vergleichsweise hohen Schubspannungen überlagern. Dadurch kann in vielen Fällen ein vorzeitiges sprödes Versagen eintreten. Dieses vorzeitige Versagen kann auf vergleichsweise einfache Art und Weise ausgeschlossen werden, indem von Gegenseite selbstbohrende Holzschrauben eingedreht werden, oder indem – noch einfacher – an Stelle von Rillennägeln selbstbohrende Holzschrauben mit ausreichender Länge verwendet werden.

Die 20 Bauteilversuche mit Wandelementen in Holzrahmenbauweise waren Teil des Arbeitspaketes 2.1. Mit diesen Bauteilversuchen sollte insbesondere das Verhalten von Wandelementen mit unterschiedlichem Beplankungsmaterial (OSB und Gipsfaserplatten) Beplankungen unterschiedlicher Dicke (10 mm und 18 mm) sowie symmetrische und asymmetrische Verankerungen bzw. Beplankungen untersucht werden. Darüber hinaus sollte der Einfluss unterschiedlicher Belastungsprotokolle auf die Ergebnisse der Bauteilversuche erfasst werden.

Wenn man die Ergebnisse der einzelnen Versuche vergleicht, so wird deutlich, dass das Dämpfungsverhalten der mit Gipsfaserplatten beplankten Wände vergleichbar ist mit dem der mit OSB-Platten beplankten Wandelemente. Bei symmetrisch beplankten Wänden ergeben sich für Gipsfaserplatten vergleichsweise bessere Werte. Bei einseitig beplankten Wandelementen zeigt eine OSB-Beplankung günstigeres Verhalten. Bei Wänden mit einer praxisnahen asymmetrischen Verankerung ergeben sich sehr ähnliche Werte bei beiden Beplankungsmaterialien. Bei dickeren Gipsfaserplatten werden erheblich höhere Werte erreicht als bei dünneren Gipsfaserplatten. Interessanterweise zeigen einseitig mit OSB-Platten beplankte Wände günstigere Werte als Wände, die beidseitig mit OSB-Platten beplankt sind.

Beim Vergleich der Duktilität  $\mu$  ergibt sich eine andere Einschätzung: Hier sind die Werte der OSB-Beplankung und der Gipsfaser-Beplankung nahezu die gleichen für den Fall der beidseitigen Beplankung mit den dickeren Platten. Eine Beplankung mit dünneren OSB-Platten führt zu einer höheren

Duktilität im Vergleich zu einer Beplankung mit dickeren OSB-Platten. Dies gilt sinngemäß auch für eine Beplankung mit Gipsfaserplatten. Der Unterschied zwischen einer einseitigen oder beidseitigen Beplankung ist nur sehr gering.

Bei allen Konfigurationen zeigte sich, dass Tragfähigkeit, Duktilität, Verformungsfähigkeit und äquivalente viskose Dämpfung erheblich höher sind, wenn anstelle des ISO 21581-Protokolls das CUREE-Protokoll verwendet wird.

### ***Wandelemente und Verankerungsdetails mit Brettsperholz***

Die experimentellen Untersuchungen an Brettsperholzwandelementen und den zugehörigen Verankerungsdetails waren Teil des Arbeitspaketes 2.2. Als Grundlage für das Arbeitspaket WP 3, die Modellierung von Wandkonstruktionen und zur Vorbereitung der Versuche an Wandelementen wurden in einem ersten Schritt Versuche an Verankerungsdetails durchgeführt. Insgesamt 18 Prüfkörper wurden als typische Verbindungen von Brettsperholzelementen mit der Unterkonstruktion konzipiert.

Zur Vorbereitung der Versuche an den Wandelementen wurden zwei Stahlverbinder ausgewählt, die üblicherweise in der Baupraxis eingesetzt werden, um vertikale Zug- und horizontal Schubkräfte zu übertragen. Stellvertretend für die am Markt verfügbaren Produkte wurde ein Zuganker HTT 22 und ein Winkelverbinder AE 116 des Fabrikates SIMPSON StrongTie ausgewählt. Um zumindest eine schwache statistische Absicherung der Versuchsergebnisse zu erreichen, wurden die ersten 16 Versuche in vier Gruppen eingeteilt, wobei für jede Gruppe unter gleichen Randbedingungen ein monotoner und drei zyklische Versuche durchgeführt wurden. In diesen 16 Versuchen wurden die Verbindungsmittel in der Beanspruchungsrichtung getestet, in der sie rechnerisch im Bauwerk eingesetzt werden, d.h. der Winkelverbinder wird auf Schub und der Zuganker auf Zug beansprucht. Zur Abrundung der Ergebnisse wurden zwei ergänzende Versuche durchgeführt, um das unplanmäßige Tragverhalten eines Zugverbinders auf Schub bzw. eines Winkelverbinders auf Zug zu untersuchen.

Insgesamt 15 Wandelemente (Abmessungen 2,50 m × 2,50 m) wurden unter unterschiedlichen Randbedingungen experimentell untersucht. Parameter waren das Niveau der vertikalen Last, die Auflagerbedingungen sowie das Belastungsprotokoll. In der Regel wurden zur Verankerung zwei Zuganker und drei Winkelverbinder auf einer Seite der Wand angeordnet. In einem Versuch wurden die Winkelverbinder weggelassen, bei zwei Versuchen war in der Fuge zwischen Wand-, Fuß- und Deckenelement eine elastische Zwischenschicht (Sylodyn) bzw. eine doppelte PE-Folie vorhanden. Dies entspricht einer Situation, die in der Praxis häufig vorzufinden ist, um den Anforderungen des Schallschutzes bzw. der Luftdichtigkeit eines Gebäudes zu genügen.

Die Versuche W-CLT-1.1 bis W-CLT-2.3 zeigen anschaulich, dass mit zunehmender vertikaler Beanspruchung die Duktilität steigt. Sowohl die Zwischenschicht als auch die Auflagerbedingungen haben einen wesentlichen Einfluss auf die Duktilität. Bei einer nachgiebigen Auflagerung wie im Bereich einer Holzdecke gegeben ist, erhöht sich die Duktilität gegenüber einer starren Auflagerung ganz erheblich. Der Fall der starren Auflagerung ist z.B. bei einer Erdgeschosswand, die auf einer Stahlbeton-Unterkonstruktion

Die Gründe für den vergleichsweise geringen Wert der äquivalenten Viskosedämpfung der Versuche W-CLT-3.2 bis W-CLT-3.4 liegen in den unterschiedlichen Versagensformen der Winkelverbinder. Aufgrund des Herausziehens der Nägel sinkt hier das Energiedissipationsvermögen des Verbinders ganz erheblich. Überraschenderweise zeigt die Konfiguration W-CLT-3.6, die ohne Winkelverbinder hergestellt worden war, eine vergleichsweise Viskosedämpfung. Hier wird die Energie vor allem durch Reibung im Auflagerbereich dissipiert. Insgesamt führen die Versuchsergebnisse zu dem Schluss, dass der überwiegende Verformungsanteil – entweder Gleiten oder Kippen – einen grundsätzlichen Einfluss auf das Dämpfungsverhalten und die Energiedissipation hat. Darüber hinaus bestätigt sich die Erkenntnis, dass das Lastprotokoll (CUREE im Vergleich zu ISO) die Ergebnisse beeinflusst. Bei der Verwendung des CUREE-Protokolls liegt die äquivalente Dämpfung höher.

Sehr deutlich zeigt sich, dass der Einfluss einer exzentrischen Vertikallast bei der Ermittlung der viskosen Dämpfung eine wesentliche Rolle spielt. Es zeigte sich, dass sich die Werte bei einer realitätsnahen Belastung nahezu halbieren. Beim Versuch W-CLT-3.3 war eine konstante vertikale Last von 50 kN/m vorhanden, beim Versuch W-CLT-4.2 wurde die entsprechend resultierende mit der horizontalen Beanspruchung zyklisch aus dem Schwerpunkt hin zum belasteten Rand der Wand verschoben.

### ***Aussteifungselemente von Skelettbauten***

Für die Untersuchungen an Aussteifungselementen wurden zwei, für den Skelettbau typische Konstruktionen gewählt. Zum einen eingespannte Stützen, welche in den Fundamenten oder in einer Stahlbeton-Bodenplatte eingespannt sind, zum anderen Diagonalen wie sie z.B. in Wandverbänden vorkommen.

In beiden Fällen wird die Energiedissipationsfähigkeit als gering erachtet, was sich im EC 8 durch einen  $q$ -Wert von 1,5 widerspiegelt. Zur Optimierung der Aussteifungskonstruktionen wurden zwei Schwerpunkte definiert. Ersten sollte die Duktilität und die Energiedissipation in den Anschlüssen erhöht werden, zum anderen sollte eine Möglichkeit zur einfachen und kostengünstigen Reparatur und Wiederherstellung der Tragfähigkeit von Skelettbauten nach einem Erdbeben entwickelt werden. In diesem Zusammenhang wurden shear-links – wie sie in Stahlbauten in Erdbebengebieten verwendet werden – als sinnvolle Möglichkeit erachtet.

Als Grundlage für die Dimensionierung der Bauteilversuche wurden Vorversuche an den shear-links durchgeführt, dabei wurde der Querschnitt der shear-links bzw. die Wandstärke variiert, zusätzlich wurde untersucht, welchen Einfluss Steifen auf das Verhalten der shear-links haben.

Zur Untersuchung und Optimierung des Verhaltens von eingespannten Stützen und Wandverbänden unter zyklischer Belastung, wurde ein Versuchsprogramm entwickelt, welches drei unterschiedliche Konfigurationen enthält. Zuerst wurde das Verhalten von eingespannten Stützen mit und ohne shear-links unter monotoner und zyklischer Beanspruchung untersucht. Der dritte Versuchsaufbau bestand aus einem Wandverband an dessen Diagonalen shear-links angeordnet wurden.

Das Ziel der Versuche an eingespannten Stützen war die Analyse des Last-Verformungsverhalten unter monotoner und zyklischer Beanspruchung. Die Versuche waren Teil des Arbeitspaketes 2.3. Der Schwerpunkt lag bei den Versuchen an eingespannten Stützen auf dem Vergleich des Verhaltens von Stützen mit und ohne shear-links. Die Einspannung der Stütze erfolgte über ein innen liegendes Stahlblech und Stabdübeln mit einem Durchmesser von 12 mm.



Es wurden zwei Testreihen an eingespannten Stützen und eine an einem Wandverband durchgeführt. In der Testreihe M-1 wurden Informationen über das duktile Verhalten von eingespannten Stützen mit shear-links gewonnen. Die Testreihe M-2 wurde an Stützen mit einer starren Einspannung durchgeführt. Die Einspannung der Stützen in Testreihe M-3 erfolgte mit weniger Stabdübeln als in Testreihe M-2. Der Wandverband mit shear-links wurde in Testreihe W-BS-1 untersucht.

Der Vergleich der Versuchsergebnisse zeigt, dass die Dämpfung der eingespannten Stützen mit shear-links höher ist, als die Dämpfung der Stützen mit voller Einspannung. Die Duktilität ist mit beiden Auswertverfahren ebenso höher, wenn shear-links verwendet werden.

MR-1.3 ist der reparierte Versuchsaufbau des Versuchs M-1.3. Nach der ersten Versuchsdurchführung wurden die shear-links erneuert und der Versuchsaufbau nochmals mit dem zyklischen Lastprotokoll getestet. Der Vergleich der beiden Versuche zeigt ähnliche Maximallasten und maximale Verformungen. der Duktilitätsfaktor  $m$  ist hier etwas geringer.

### **Slab elements**

*Dieses Arbeitspaket wurde am belgischen Bauforschungsinstitut BBRI bearbeitet. Der zugehörige Bericht liegt nur in einer englischen Fassung vor.*

## **4. Modellierung - WP3 und WP4**

Für eine erste Stufe der Modellierung wurden vorhandene numerische Algorithmen für die dynamische (seismische) Berechnung von Wandelementen in Holzbauweise adaptiert. Ziel war es, das Rechenmodell auf Tragwerke mit Brettsperrholzelementen und auf Tragwerke mit Holzrahmenelementen anzuwenden. Brettsperrholzelemente werden in diesem Zusammenhang realitätsnah mit einem linear-elastischen Materialgesetz und mit Schalenelementen abgebildet, bei denen die Orthotropie im geometrischen Aufbau berücksichtigt wird. Das hysteretische Verhalten wird den Stahlverbindern zugewiesen. Für diese werden nicht-lineare Federelemente verwendet. Dabei wird berücksichtigt, dass die Energiedissipation bei Brettsperrholzkonstruktionen im Erdbebenfall nahezu ausschließlich von den Verbindungen der Elemente untereinander bzw. mit der Gründung übernommen wird. Bei den Holzrahmenelementen wird das hysteretische Verhalten zwei diagonalen, nicht-linearen Federn zugewiesen. Die übrigen Teile des Tragwerks werden als elastisch betrachtet. Der Vorteil dieser Methode ergibt sich aus dem eindeutigen Zusammenhang zwischen experimentell ermittelten Tragverhalten und Modellierung. Das heißt, es ist möglich, den jeweilig als maßgebend erachteten Element – dem Verankerungselement beim Brettsperrholz bzw. dem Federelement bei der Holzrahmenbauweise – das hysteretische Verhalten zuzuweisen, welches für die entsprechende Konstruktion im Versuch ermittelt wurde. Auf dieser Grundlage sollen später dreidimensionale Gebäudestrukturen auf gut nachvollziehbarer Grundlage modelliert werden. Für die multi-lineare Vereinfachung der hysteretischen Last-Verformungs-Kurve wurde ein neuartiges Näherungsverfahren eingesetzt, welches dem Nutzer Schritt für Schritt erlaubt, die vereinfachten abschnittsweise linearen Formulierungen den Versuchsergebnissen anzupassen. Die wesentlichen Parameter in diesem Zusammenhang sind die Steifigkeit bei Belastung und Entlastung sowie die Festigkeitsreduktion bei Folgezyklen einer Beanspruchungsstufe. Darüber hinaus können Reibungseffekte und eine Versagenseinhüllende berücksichtigt werden.

ABAQUS [29] eingesetzt. Für die Holzrippen wurden Balkenelemente, für das Beplankungsmaterial Schalenelemente und für die Verbindung zwischen Beplankung und Unterkonstruktion und die Verankerung wurden Federelemente verwendet. Das Modell für ein Wandelement benötigt 214 Federn Die Rippen untereinander waren gelenkig verbunden. Jede Feder hat zwei Komponenten, eine axiale und eine Schubkomponente. Für das Beplankungsmaterial wurde ein Maschenweite von 75 mm x 75 mm gewählt. Die Dicke der Schalenelemente entspricht der doppelten Dicke der Beplankung, das sind 36 mm. Die Nägel werden mit einem kombinierten nicht-linearen Verformungsansatz abgebildet. Eine Feder entspricht zwei Nägeln. Die Generierung der abschnittsweise linearen-zyklischen Last-Verformungskurve eines Nagels folgt dem Ansatz der Energieäquivalenz, welche durch iterative abschnittsweise Annäherung erreicht wird. Es zeigt sich, dass die Tragfähigkeit vom Rechenmodell um etwa 15 % überschätzt wird, ansonsten aber eine gute Übereinstimmung bei der Charakteristik der Lastverformungskurve erreicht wird.

Für die Brettsperrholz-Wandelemente wurde eine Kalibrierung der Verankerung getrennt für Zug- und Schubbeanspruchung durchgeführt. Durch eine schrittweise Anpassung der vereinfachten multilinen Kurve konnte der Wert der Energieäquivalenz nahezu erreicht werden. Der Unterschied beträgt weniger als 5 %.

Die Berechnung der Wandelemente wurde dann für zwei unterschiedliche vertikale Belastungen durchgeführt – für 10 kN/m und für 50 kN/m. Für das Brettsperrholz selbst wurden linear-elastische Schalenelemente verwendet. Das nicht-lineare energiedissipative Verhalten wurde den Verankerungen zugewiesen. Wiederum wurde die Horizontallast bei der Berechnung schrittweise verändert, nachdem die vertikale Belastung in einem ersten Schritt aufgebracht worden war. Sowohl für den Fall einer geringeren Auflast als auch für den Fall einer höheren Auflast wird beim qualitativen Verhalten eine gute Übereinstimmung erreicht. Tragfähigkeit und Verformungsfähigkeit werden um etwa 15 % überschätzt.

### ***Strukturberechnung***

Ein ausreichend validiertes Rechenmodell kann für folgende Zwecke eingesetzt werden:

- Für Tragstrukturen mit Brettsperrholzelementen, bei denen die einzelnen Wand- und Deckenelemente untereinander und mit der Gründung durch Verbindungsmitteln verbunden sind, für die eine ausreichende Validierung nachgewiesen wurde. Zur Überprüfung des dreidimensionalen Rechenmodells konnte auf umfassend dokumentierte Versuchsergebnisse für ein eingeschossiges Bauwerk zurückgegriffen werden.
- Eine analoge Anwendung ergibt sich für Tragstrukturen mit Holzrahmenelementen. Hier wurde das Modell anhand eines aus der Literatur verfügbaren Versuches validiert .

In der italienischen Versuchseinrichtung CNR-IVALSA wurde eine eingeschossige Konstruktion mit Brettsperrholzelementen aufgebaut. In diesem Versuch wurden für die Verankerung Stahlformteile verwendet (Winkelverbinder und Zuganker). Das zyklische Verhalten dieser Verbindungsmittel war im Rahmen von OPTIMBERQUAKE rechnerisch und experimentell untersucht worden. Das Gebäude hat eine Grundfläche von 7 m x 7 m und ist 3,1 m hoch. Für die Wandelemente waren 85 mm dicke, für Deckenelemente 142 mm dicke Brettsperrholzbauteile gewählt worden. Das Gebäude weist einen symmetrischen Grundriss mit größeren Öffnungen auf. (Die Berechnung überschätzt die Tragfähig-

keit und die Verformungsfähigkeit geringfügig. Auch bei der maximalen Energie ergibt sich eine Überschätzung, diese beträgt etwa 15 %.

Zur Validierung der Ansätze für Holzrahmenelemente wurde ein zweigeschossiges Gebäude herangezogen, welches im Rahmen des CUREE Projektes 2001 an der University of California at San Diego gebaut und einer pseudo-dynamischen Belastung unterworfen worden war.

Das Versuchsgebäude hatte einen Grundriss von 5,79 m x 7,32 m, die Geschosshöhe betrug 2,40 m. Diese Abmessungen entsprechen einem häufig verwendeten Typ für Einfamilienhäuser in Kalifornien. Aufgrund der nur eingeschränkt verfügbaren Daten konnte der Vergleich mit dem CUREE-Forschungsprojekt nicht anhand der experimentellen Ergebnisse direkt durchgeführt, sondern es wurde ein Vergleich der eigenen numerischen Berechnungen mit den dokumentierten Berechnungsergebnissen durchgeführt.

Abschließend wurde der zyklische Kraft-Verschiebungsverlauf verglichen. Die Ergebnisse zeigen wiederum eine sehr gute Übereinstimmung.

## **5. Richtlinie für Entwurf und Bemessung – WP 5**

Die Bemessung von Tragwerken unter Erdbebenbeanspruchung ist eine Aufgabe von zunehmender Bedeutung für Bauingenieure in ganz Europa. Dies ist vor allem auf ein besseres Verständnis der seismischen Gefährdung zurückzuführen und nicht so sehr auf einzelne Erdbebenereignisse und dem damit verbundenen Verlust an Menschenleben und Sachwerten. Grundsätzlich kann Holztragwerken ein sehr gutes Verhalten unter einer Erdbebeneinwirkung zugesprochen werden. Das vergleichsweise gutmütige Verhalten von Holztragwerken unter Erdbebenbeanspruchung lässt sich vor allem der geringen Eigenmasse und dem duktilen Verformungsvermögen der Verbindungen zuschreiben. Die Voraussetzung dafür, dass diese positiven Effekte wirksam werden können, ist eine realitätsnahe Berechnung der Gebäudestruktur und eine sorgfältige Ausführung der Konstruktionsdetails.

Aufgrund des besseren Verständnisses seismischer Risiken ist heute auch eine Erdbebenbemessung in den Ländern Österreich, Frankreich, Deutschland und in der Schweiz erforderlich, welche auf den ersten Blick nicht zu besonders erdbebengefährdeten Regionen zählen. Da zahlreiche Ingenieurbüros und Ausführungsbetriebe in diesen Ländern überregional tätig sind und aus diesem Grunde auch Projekte in Regionen zu verantworten haben, bei denen die Erdbebeneinwirkung in der Regel das maßgebende Bemessungsszenario darstellt, hat sich das Thema Erdbebenbemessung zu einer Aufgabe entwickelt, die nahezu jeden Ingenieur in Europa betrifft – nicht notwendiger Weise als alltägliche Aufgabe, aber von Zeit zu Zeit. Jedem Ingenieur, der sich mit dem Thema der Erdbebenbemessung befasst, muss klar sein, dass es hier einige wesentliche Unterschiede zur üblichen Bemessung gibt.

Obwohl im Detail immer noch einzelne Inkonsistenzen zu erkennen sind, was insbesondere die Größen der Bodenbeschleunigung anbelangt, welche sich an Landesgrenzen sprunghaft verändern können, gibt es doch zu den wesentlichen seismischen Grundlagen, zu der statistischen Bewertung der Erdbebengefahr und zu den unterschiedlichen Möglichkeiten der Berechnung und des Entwurfs einen umfassenden weltweiten Konsens. In Europa wird dieser Konsens durch den EC8 dokumentiert. Allerdings lassen diese normativen Regelungen an vielen Stellen Raum für Interpretationen. Das betrifft insbesondere den Holzbau, für den zahlreiche Festlegungen vergleichsweise vage bleiben. Dies ist in manchen Fällen durchaus zu begrüßen, da der Ingenieur somit die Möglichkeit erhält, eigene

Interpretationen und Entscheidungen einzubringen. Dazu muss er aber mit allen Konsequenzen seines Handelns gut vertraut sein.

An dieser Stelle setzt die im Projekt OPTIMBERQUAKE entwickelte Richtlinie an. Dort werden nachvollziehbar und kompakt die wesentlichen Hintergründe erläutert, auf deren Grundlage Kraftbeiwerte (q-Werte) ermittelt und definiert werden. In diesem Zusammenhang werden insbesondere Zusammenhänge zwischen den Verfahren des rechnerischen Nachweises der Tragsicherheit und den experimentellen Untersuchungen an Bauteilen, auf denen die entsprechenden Kennwerte basieren, offen gelegt. Das betrifft neben der Tragfähigkeit und der Duktilität von Bauteilen auch die Steifigkeit, die bei der Ermittlung dynamischer Eigenschaften einen wesentlichen Einfluss hat.

Die Richtlinie „Holztragwerke unter Erdbebeneinwirkung – Entwurf, Berechnung und Konstruktion“ zielt ganz klar auf ein besseres Verständnis grundlegender Zusammenhänge der Erdbebenbemessung ab und soll nicht zu einer Verkomplizierung von Berechnungen und Nachweisverfahren führen. Einige wesentliche Zusammenhänge sollen im Folgenden nochmals kurz zusammengefasst werden:

Die statische Berechnung in der Tragwerksplanung beruht auch im 21. Jahrhundert ganz wesentlich auf Prinzipien, die im 18. und 19. Jahrhundert vorwiegend auf der Grundlage der Elastizitätstheorie entwickelt wurden. Das betrifft insbesondere die Berechnung der Beanspruchungen einzelner Tragelemente. Bei der Ermittlung der Tragfähigkeiten von Bauteilen und Verbindungen werden dagegen meist Grenzbetrachtungen durchgeführt, die auf der Plastizitätstheorie basieren. Der wesentliche Grund, dass diese Inkonsistenz bei der Anwendung zweier sehr unterschiedlicher Theorien nicht beseitigt wird, liegt darin, dass die Elastizitätstheorie die Anwendung des Superpositionsprinzips ermöglicht. Vor dem Hintergrund der zahlreichen unterschiedlichen Einwirkungen auf Tragwerke, ist das Superpositionsprinzip eine sehr hilfreiche Vereinfachung. Da die Tragwerke üblicherweise während der Lebensdauer im Zustand der Gebrauchstauglichkeit verbleiben, kommt die Berechnung im Rahmen der Elastizitätstheorie dem ganz überwiegend wirksamen Tragverhalten auch ziemlich nahe.

Betrachtet man nun Tragwerke unter Erdbebeneinwirkung, bei denen ganz bewusst plastische Verformungen in Kauf genommen werden, um die auftretende Energie zu dissipieren, dann stellt man fest, dass die Anwendung der Elastizitätstheorie bei der Schnittgrößenermittlung eigentlich nicht mehr zu begründen ist. Würde ein Tragwerk bei einer Erdbebeneinwirkung ausschließlich elastische Verformungen aufweisen, dann würde die einwirkende Energie ausschließlich durch interne Reibung dissipiert. Eine entsprechend konservative Auslegung des Tragwerks lässt sich nur begründen, wenn es sich um Tragwerke von äußerst großer Bedeutung handelt, z.B. um Staudämme oder Kernkraftwerke, bei denen die Verformungen während bzw. nach einem Erdbeben gering gehalten werden müssen. In allen anderen Fällen können plastische Verformungen, die auch nach einem Erdbeben vorhanden sind und möglicherweise eine weitere Nutzung des Bauwerkes ausschließen, toleriert werden. Sie müssen sogar toleriert werden, wenn eine wirtschaftliche Bemessung erreicht werden soll. Als maßgebende Einwirkung in diesem Zusammenhang wird eine 10%-ige Überschreitungswahrscheinlichkeit in 50 Jahren bzw. eine Wiederkehrperiode von 475 Jahren angesetzt.

Lässt man nun für ein Tragwerk zu, dass in klar definierten Bereichen plastische Verformungen auftreten dürfen, dann wird eine Energiedissipation ermöglicht, die ein Vielfaches der viskosen Dämpfung beträgt. Wird ein Tragwerk einer mehrfachen Be- und Entlastung ausgesetzt, lässt sich das Energiedissipationsverhalten anschaulich anhand der in der Last-Verformungskurve eingeschlossenen Fläche bewerten. Aufgrund der zu erwartenden großen plastischen Verformungen, wäre es eigentlich selbstverständlich, dass die Berechnungen zur Ermittlung der Schnittgrößen nicht mehr auf

der Grundlage der Elastizitätstheorie basieren können. Somit wird eine verformungsbasierte Bemessung anstelle einer kraftbasierten Bemessung sinnvoll.

Nichtsdestotrotz werden in der Ingenieurpraxis weiterhin ganz überwiegend Berechnungsverfahren auf der Grundlage kraftbasierter Verfahren eingesetzt. Die beiden Gründe dafür sind sehr einfach: Zum einen sind die Ingenieure mit kraftbasierten Verfahren gut vertraut, zum anderen wird deren Anwendung durch Kraftbeiwerte ( $q$ -Werte) leicht gemacht. In der Richtlinie „Holztragwerke unter Erdbebeneinwirkung – Entwurf, Berechnung und Konstruktion“ wird diese Tradition respektiert. Allerdings werden die wesentlichen Erläuterungen und Hintergründe zusammengestellt, die erforderlich sind, um kraftbasierte Verfahren sinnvoll für eine Erdbebenbemessung anzuwenden.

Aus unserer Sicht ist dazu ein grundlegendes Verständnis erforderlich, auf welcher experimentellen Grundlage Verhaltensbeiwerte ermittelt werden, und wie diese Ermittlung konkret durchgeführt wird. Ergänzend zum Schwerpunkt „kraftbasierte Verfahren“ wird die Anwendung weiterführender verhaltensbasierter Verfahren für Holztragwerke erläutert. In diesem Zusammenhang ist es durchaus interessant und bezeichnend, dass bei der konkreten Berechnung der Anfangs- und der Endpunkt beim kraftbasierten und beim verhaltensbasierten Verfahren identisch sind. Beide Berechnungsphilosophien benötigen ein Erdbebenspektrum, das Beschleunigungen bzw. Verformungen in Abhängigkeit einer Eigenschwingdauer definiert. Das Spektrum berücksichtigt neben statistischen seismologischen ortsbezogenen Größen auch die lokale Baugrundsituation und die Bedeutung des Bauwerks. Interessanterweise ist auch im letzten Schritt die Bemessungsaufgabe identisch. Hier muss auf der Grundlage der Kapazitätsbemessung sichergestellt werden, dass die als plastisch angesetzten Bereiche eines Tragwerkes ein ausreichendes Verformungsvermögen aufweisen, und dass es kein vorzeitiges sprödes Versagen an anderer Stelle gibt.

Die Richtlinie ist folgendermaßen strukturiert:

1. Einführung
2. Versuchsdurchführung
3. Auswertung von Versuchsdaten
4. Überfestigkeit
5. Bemessung von Tragwerken
6. Ausführung von Details

Die Richtlinie liegt als Deliverable 5 [10] vor. Eine Übersetzung ins Deutsche ist vorgesehen, dabei sollen schwerpunktmäßig die in Deutschland üblichen Konstruktionsarten Berücksichtigung finden.

## **6. Ergebnistransfer – WP6**

Die Zuständigkeit für den Transfer der Forschungsergebnisse in der Praxis lag beim belgischen Bauforschungsinstitut BBRI. Neben der Bereitstellung der Ergebnisse war auch der Austausch von Daten und Information zwischen den Forschungspartnern zu organisieren. Die Verbreitung der Forschungsergebnisse auf nationaler Ebene lag im Zuständigkeitsbereich der jeweiligen Forschungspartner. Dabei wurden unterschiedliche Wege beschritten, wie im Folgenden erläutert wird:

### ***Website – Internetpräsenz***

Mit der Website [www.optimberquake.eu](http://www.optimberquake.eu) wurde gleich zu Beginn des Projekts eine sehr leistungsfähige Plattform geschaffen, um die Informationen zwischen den einzelnen Forschungspartnern auszu-

tauschen und dem Projekt eine gute Öffentlichkeitswirkung zu geben. Zahlreiche Informationen wurden über dieses Internetportal als PDFs zum Herunterladen zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus wird auf aktuelle Veranstaltungen und Presseartikel hingewiesen, und es werden kontinuierlich aktualisierte Informationen zum Stand der Forschungsarbeiten verbreitet. Darüber hinaus stellt dieses Internetportal eine Projektsammlung beispielhafter mehrgeschossiger Bauten in Europa zur Verfügung.

### **Veröffentlichungen**

Zahlreiche Aufsätze zu den Ergebnissen des Forschungsvorhabens wurden in den vergangenen drei Jahren veröffentlicht. Das Projekt wurde bei allen großen internationalen Holzbaukonferenzen vorgestellt sowie bei Veranstaltungen in Österreich und Deutschland, die für von den Vertretern mittelständische Betriebe besucht werden. Dazu zählen die „Grazer Holzbaufachtagung“ und das „Internationale Holzbau-Forum“ in Garmisch. Erfreulicherweise konnte bereits ein Aufsatz in einer begutachteten Zeitschrift veröffentlicht werden, zwei Aufsätze für internationale Zeitschriften befinden sich aktuell im Begutachtungsprozess.

Derzeit umfasst die Veröffentlichungsliste – einschließlich der beiden Aufsätze, die sich im Begutachtungsprozess befinden – 14 Titel. Wir gehen davon aus, dass noch etwa acht bis zehn weitere Veröffentlichungen aus den Ergebnissen von OPTIMBERQUAKE hervorgehen.

*Seim, W.: Erdbebenforschung, Entwicklung und Nachweisführung – in Deutschland. 9.Grazer Holzbau-Fachtagung, 2011*

*Hummel, J.; Seim, W.: Wall-slab interaction of multi-storey timber buildings under earthquake impact. WCTE Auckland, 2012*

*Vogt, T.; Hummel, J.; Seim, W.: Timber framed wall elements under cyclic loading. WCTE Auckland, 2012*

*M. Fragiaco, C. Amadio, G. Rinaldin, L. Sancin. Non-linear modelling of wooden light-frame and X-lam structures, Proceedings of WCTE 2012, World Conference on Timber Engineering, Auckland, New Zealand, 2012*

*Hummel J.: Beanspruchung von Decken und Wänden mehrgeschossiger Holzbauten. Forschungskolloquium, Universität Stuttgart, 2012*

*Vogt, T.: Holzrahmenelemente unter zyklischer Beanspruchung. Forschungskolloquium, Universität Stuttgart, 2012*

*Seim, W.; Hummel, J.; Flatscher, G.; Schickhofer, G.: CLT wall elements under cyclic loading – details for anchorage and connection. COST FP1004 Graz, 2013*

*Schick, M.; Vogt, T.; Seim, W.: Connections and anchoring for wall and slab elements in seismic design, CIB-W18 Vancouver, 2013*

*Seim, W.; Vogt, T.: Experimentelle und rechnerische Untersuchungen zur praxisgerechten Verankerung von Holzrahmenwänden. Internationales Holzbauforum Garmisch-Partenkirchen, 2013.*

*G. Rinaldin, G. Herve Poh'sie, C. Amadio, M. Fragiaco. Modelling the seismic behaviour of light-frame timber structures, Ingegneria Sismica, International Journal of Earthquake Engineering, December no. 01, Italy, 2013*

*Vogt, T.; Hummel, J.; Schick, M.; Seim, W.: Experimentelle Untersuchungen für innovative erdbebensichere Konstruktionen im Holzbau, Bautechnik 91, Heft 1, 2014*

*Schick, M.: Überfestigkeit aussteifender Holzrahmenelemente – Sicherstellung der Duktilität (Erdbebenbemessung). Forschungskolloquium, Universität Stuttgart, 2014*

*Seim, W.; Hummel, J.; Vogt, T.: Earthquake design of timber structures – interconnection between structural design and experimental data. Manuskript eingereicht bei „Engineering Structures“.*

*Seim, W.; Kramar, M.; Pazlar, T.; Vogt, T.: OSB and GFB as sheathing materials for timber framed shear walls – a comparative study. Manuskript eingereicht bei „Structural Engineering – special issue timber structures“.*

## ***Dokumentation von mehrgeschossigen Holztragwerken***

Eine beispielhafte Auflistung von mehrgeschossigen Holzgebäuden in Europa ist auf der Homepage verfügbar, mit dem Ziel einige grundsätzliche Informationen zum mehrgeschossigen Bauen mit Holz zur Verfügung zu stellen. Dazu zählen insbesondere die Bauarten für Decken- und Wandkonstruktionen, die Anzahl der Geschosse und die verantwortlichen Architekten und Ingenieure. Erste Rückmeldungen lassen darauf schließen, dass mit dieser Maßnahme das Vertrauen in die mehrgeschossige Bauweise mit Holz wächst.

## ***Konferenzen und Weiterbildungsveranstaltungen***

Alle wesentlichen Konferenzbeiträge, die in den entsprechenden Tagungsbänden veröffentlicht wurden, wurden von den Autoren im Rahmen von Präsentationen vorgestellt. Darüber hinaus wurde in den einzelnen Ländern Weiterbildungsveranstaltungen angeboten: In Belgien ein Trainingskurs „Holzbau für Ingenieure und Architekten“, in Deutschland eine eininhalbtägige Tagung zum „erdbebensicheren Bauen und zum Brandschutz bei Holztragwerken“. Das Ziel dieser Weiterbildungsveranstaltungen war die aktuellen Forschungsergebnisse für die Praxis verfügbar zu machen, und darüber hinaus entsprechende Hintergründe zu erklären. Auf der Internetpräsenz OPTIBMERQUAKE ist eine Auflistung aller aktuellen Veranstaltungen verfügbar.

Im folgenden werden die Vorträge aufgelistet, die im Rahmen von Tagungen gehalten wurden, die insbesondere für Teilnehmer aus der Praxis konzipiert sind.

*9.Grazer Holzbau-Fachtagung, 29.09.2011*

*Seim, W.: Erdbebenforschung, Entwicklung und Nachweisführung – in Deutschland.*

*Tage der Holzforschung Braunschweig, 19.03.2012.*

*Seim, W.: Die Erbebensicherheit von Holztragwerken verstehen und optimieren*

*DHV-Tagung Darmstadt, 26.10.2012*

*Seim, W.: OptimerQuake – Erdbebenforschung für den Holzbau*

*Fermacell Holzbautage Bad Grund, 25.10.2013*

*Seim, W.: Holzbau in erdbebengefährdeten Gebieten*

*Internationales Holzbauforum Garmisch-Partenkirchen, 04.12.2013*

*Seim, W.: Experimentelle und rechnerische Untersuchungen zur praxismgerechten Verankerung von Holzrahmenwänden.*

Um die Diskussion und die Kooperation zwischen Forschung und Praxis zu fördern, beteiligten sich die Forschungspartner an Workshops, die von beteiligten Verbänden in der Regel auf nationaler Ebene organisiert wurden. Diese Diskussion mit Architekten, Ingenieuren, Unternehmern und Handwerkern war von großer Bedeutung für das gegenseitige Verständnis, und hat über die Sitzungen des projektbegleitenden Ausschusses hinausgehend zur konkreten Umsetzung der einzelnen Forschungsaufgaben und Arbeitspakete beigetragen.



## **Interne Kommunikation**

Der Austausch von Daten (Versuchsdaten, Besprechungsprotokolle und Präsentationen, usw.) zwischen den Forschungspartnern wurde passwortgeschützt über den BBRI-Server organisiert. Allen Mitgliedern der projektbegleitenden Ausschüsse wurden die Forschungsberichte in einem passwortgeschützten Bereich ("Users Committee") zur Verfügung gestellt. Mehrere Online-Konferenzen zwischen den Projektpartnern wurden über das Internet organisiert und durchgeführt.

## **Forschungsberichte und Richtlinie**

Zu den einzelnen Arbeitspaketen liegen umfassende Forschungsberichte auf Englisch vor. Diese sind über den geschützten Teil der Website für alle Mitglieder der projektbegleitenden Ausschüsse zugänglich. Die wesentlichen Ergebnisse werden darüber hinaus in der jeweiligen Landessprache veröffentlicht. Diese Aufgabe wird von den entsprechenden regionalen Verbänden übernommen bzw. finanziert. Einen wesentlichen Beitrag zur Verbreitung der Forschungsergebnisse in die Praxis stellt die Richtlinie dar, die im Abschnitt 5 erläutert wurde.

## **Faltblatt**

Zu einem sehr frühen Zeitpunkt wurde ein Faltblatt in gedruckter Form zur Verfügung gestellt, welches bei unterschiedlichen Konferenzen ausgelegt wurde, um allen möglichen Interessenten am Forschungsprojekt die Möglichkeit zu geben, sich im Rahmen der projektbegleitenden Ausschüsse in das Projekt einzubringen. Gleichzeitig wurde mit dieser Broschüre ganz bewusst eine Erwartungshaltung hinsichtlich der abschließenden Richtlinie geweckt.

## **7. Literaturverweise**

[1] Seim, W.; Hummel, J.: *Deliverable 1: Preliminary design and testing program, Technical Report, Department of Structural Engineering, Building Rehabilitation and Timber Engineering, University of Kassel, 2012*

[2] Seim, W.; Vogt, T.: *Deliverable 2A: Connection units – monotonic and cyclic testing. Technical Report, Department of Structural Engineering, Building Rehabilitation and Timber Engineering, University of Kassel, 2013.*

[3] Seim, W.; Vogt, T.: *Deliverable 2B: Timber framed wall elements – monotonic and cyclic testing. Technical Report, Department of Structural Engineering, Building Rehabilitation and Timber Engineering, University of Kassel, 2013.*

[4] Seim, W.; Hummel, J.; Vogt, T.: *Deliverable 2C: Anchoring units – monotone and cyclic testing. Technical Report, Department of Structural Engineering, Building Rehabilitation and Timber Engineering, University of Kassel, 2014.*

[5] Seim, W.; Hummel, J.: *Deliverable 2D: CLT wall elements – monotone and cyclic testing. Technical Report, Department of Structural Engineering, Building Rehabilitation and Timber Engineering, University of Kassel, 2014.*

[6] Seim, W.; Schick, M.: *Deliverable 2E: Moment resisting frames – monotonic and cyclic testing. Technical Report, Department of Structural Engineering, Building Rehabilitation and Timber Engineering, University of Kassel, 2013.*

[7] Parmentier, B.; Skowron, A.: *Deliverable 2F: Slab elements – monotonic and cyclic testing. Technical Report, Belgian Building Research Institute (BBRI), 2103.*

[8] Fragiaco, M.; Rinaldin, G.: *Deliverable 3: Substructure modelling. Technical Report, University of Sassari, 2012.*

[9] Fragiaco, M.; Rinaldin, G.; Poh'sie, H.G.: *Deliverable 4: Structure modelling - Parametric studies of timber walls and substructures subjected to cyclic loading and analyses of entire timber structures and buildings under seismic excitation. Technical Report, University of Sassari, 2013*

[10] Seim, W.; Hummel, J.; Vogt, T.; Schick, M.: *Deliverable 5: Guideline – Seismic Design of Timber Structure, Technical Report, Department of Structural Engi*

Das Forschungsvorhaben 50 EN der Forschungsvereinigung Internationaler Verein für Technische Holzfragen e.V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und –entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Der vollständige Bericht kann bestellt werden bei:  
Internationaler Verein für Technische Holzfragen e.V. (iVTH e.V.)  
Bienroder Weg 54E  
38108 Braunschweig