

1

1

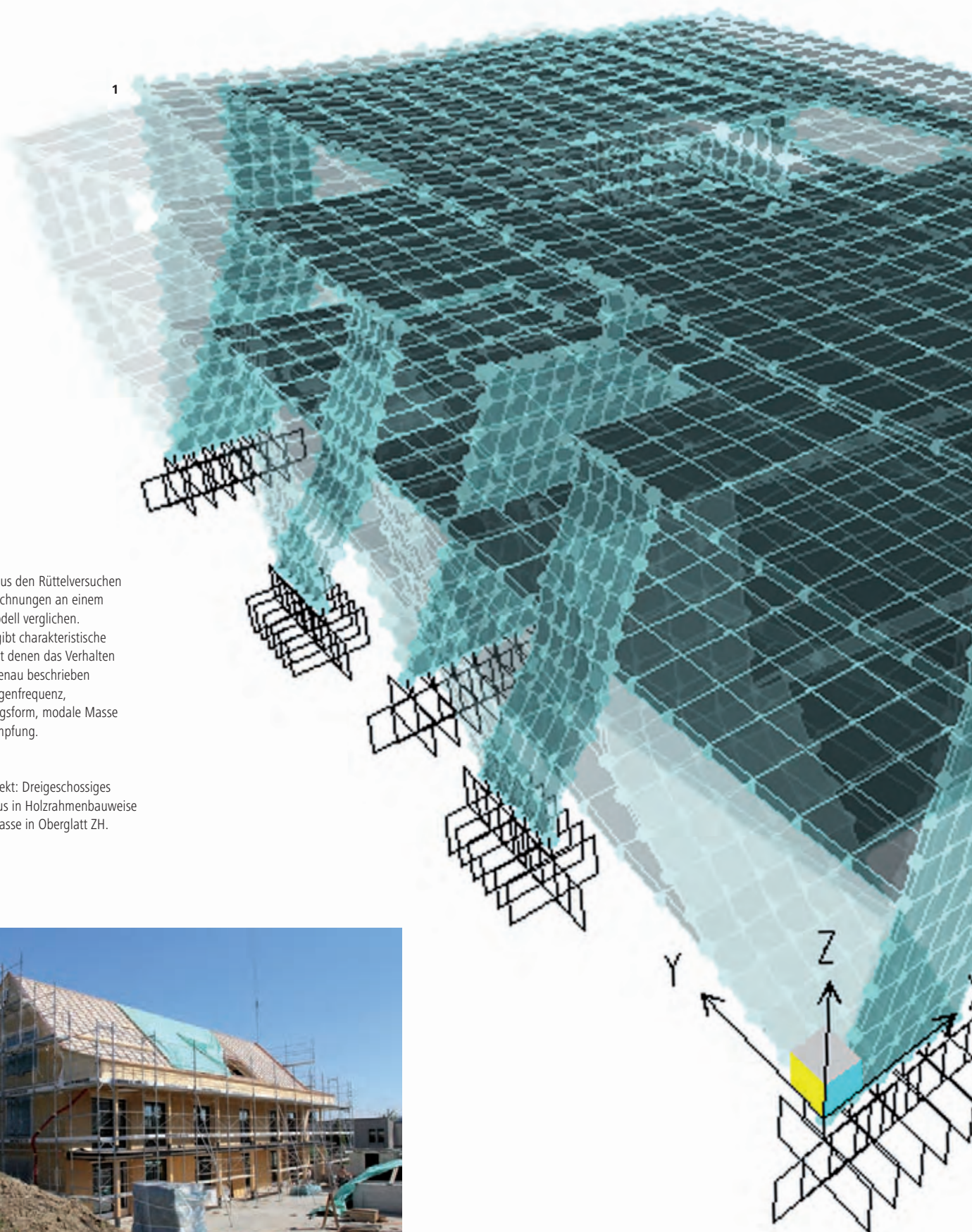
Die Ergebnisse aus den Rüttelversuchen werden mit Berechnungen an einem 3-D-Gebäudemodell verglichen. Die Messung ergibt charakteristische Kenngrößen, mit denen das Verhalten des Gebäudes genau beschrieben werden kann: Eigenfrequenz, Eigenschwingungsform, modale Masse und modale Dämpfung.

2

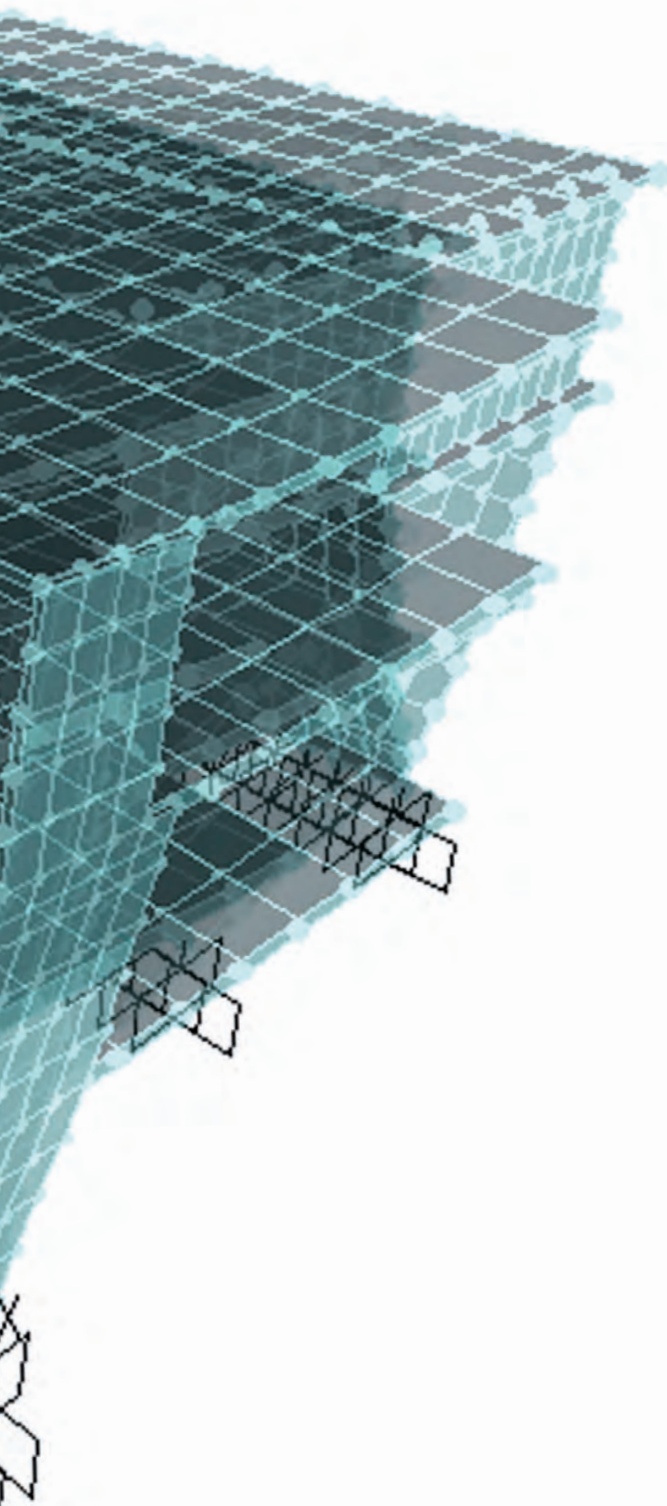
Das Versuchsobjekt: Dreigeschossiges Mehrfamilienhaus in Holzrahmenbauweise an der Gartenstrasse in Oberglatt ZH.



2



Erschütternde Forschung



Mehrstöckige Holzbauten liegen im Trend. Damit ihnen starker Wind oder ein Erdbeben nichts anhaben, müssen genügend Aussteifungen im Tragwerk vorhanden sein. Ein Empa-Team rüttelt mit einem grossen Shaker ein mehrgeschossiges Haus während verschiedener Bauphasen durch. Die Messung hilft Architektinnen und Bauingenieuren, Planung und Konstruktion zu optimieren.

TEXT: Martina Peter / BILDER: Empa

Drei Mal fuhr der schwere Saurer-Lastwagen der Empa an der Baustelle im zürcherischen Oberglatt vor und deponierte seine Fracht: ein zwei Tonnen schwerer Shaker. Weitgehend unbemerkt von der Öffentlichkeit fand hier nicht etwa eine Prüfung, sondern ein nicht alltägliches wissenschaftliches Experiment statt. Es soll Bauingenieuren helfen, die Planung und Bemessung von mehrgeschossigen Holzhäusern dank besserer, aus der Praxis stammender Daten zu optimieren – und dabei kostengünstige Lösungen zu finden. Projektleiter René Steiger von der Empa-Abteilung «Ingenieur-Strukturen» erklärt, was dahintersteckt: «Bauingenieure sind beim Planen und Errichten von Tragwerken mit den gleichen Problemen konfrontiert wie Normalsterbliche, wenn sie ein Bücherregal zusammensetzen: Verzichten sie auf das Metallkreuz an der Rückseite, bleibt das Regal eine wacklige Angelegenheit und kommt schon beim geringsten seitlichen Anstoss bedrohlich ins Schwanken.»

Experimentelle Untersuchungen sind (noch) Mangelware

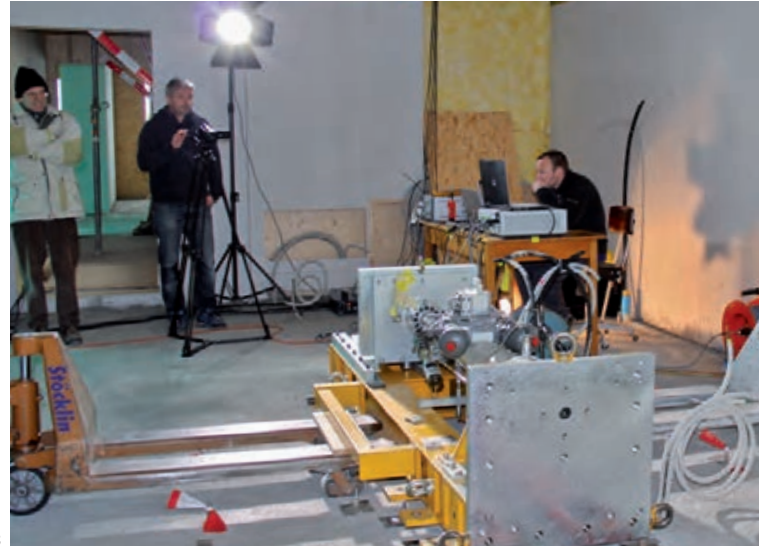
Beim untersuchten Mehrfamilienhaus reicht ein Bücherregal-Metallkreuz natürlich nicht. Um die horizontale Tragwerksteifigkeit eines Baus aus vorgefertigten Holzrahmenelementen und aufgenagelten



1



2



3

Grobspan- und Gipsfaserplatten zu gewährleisten und Schäden vorzubeugen, die durch starke Windstöße oder durch Erdbeben verursacht werden, kann der Bauingenieur zu verschiedenen Lösungen greifen. Entweder baut er zusätzliche tragende Wände ein, oder er erhöht den Tragwiderstand der vorhandenen Wände, indem er dickere Bauteile, tragfähigeres Material oder mehr Verbindungsmittel verwendet. «Unter dem Strich heisst das: mehr Material und ein erhöhter Arbeitsaufwand. Und das schlägt sich natürlich in höheren Kosten nieder», so Steiger. Was die Sache nicht einfacher macht: Versteifen ist nicht für jeden Fall die beste Lösung. Um Erdbebenstöße aufzufangen, ist es in manchen Fällen vorteilhafter, wenn das Bauwerk nicht zu steif ist, sondern bis zu einem gewissen Grad nachgiebig reagieren kann.

Die gesamte Holzbaubranche, aber auch Architekten, Ingenieure und Bauherren sind deshalb an möglichst praxisnahen Daten zu Steifigkeit, Grundswingzeiten und Dämpfung bei mehrgeschossigen Holzbauten interessiert, um die für ihr Objekt beste Lösung zu finden. Damit ist sichergestellt, dass nur so viel Material wie wirklich nötig (und zudem an den richtigen Stellen) verbaut wird.

Bislang gab es nur rechnerische Näherungswerte, aber keine an einem realen Objekt erhobene Daten zu den dynamischen Eigenschaften eines mehrgeschossigen Holzbaus in hierzulande üblicher Bauweise. In Japan und Nordamerika wurden zwar Rütteltischversuche durchgeführt. Sie sind allerdings nicht vollumfänglich auf Schweizer Verhältnisse übertragbar, da sie Starkerdbeben simulieren. Zudem unterscheiden sich die japanischen und nordamerikanischen Konstruktionen deutlich von hiesigen. Bedingt ist dies durch

unterschiedliche Anforderungen an die thermische Isolation, den Schall- und den Brandschutz. In den Baunormen finden Bauingenieure nur Mittelwerte zur Steifigkeit einzelner Nagel-, Klammer- oder Schraubenverbindungen, Holzrahmenteile und Beplankungsmaterialien. Was fehlt, sind Angaben zur Steifigkeit ganzer Wandelemente oder gar von Wänden, die über mehrere Geschosse verlaufen. Diese Lücke wollte die Empa zusammen mit dem Ingenieurbüro Pirmin Jung und den Firmen ZBF Architekten und Artho Holz- und Elementbau mit den Rüttelversuchen schliessen. In der Bauherrschaft der Überbauung in Oberglatt, der Firma Ferrario Bau, fand die Projektgruppe einen verständnisvollen Partner, welcher durch seine Bereitschaft, die Versuche am eigenen Bauwerk durchführen zu lassen, das einzigartige Forschungsprojekt ermöglichte.

Messungen während drei Bauphasen

Und so hievten im April und im Mai Empa-Mitarbeitende in Zusammenarbeit mit der Baustellen-Equipe der Pedrocchi Bau GmbH, Oberglatt, den tonnenschweren Shaker per Kran in das oberste Geschoss des Rohbaus, verlegten unzählige Meter Kabel und installierten 26 Beschleunigungssensoren. Immer wieder setzten sich 1000 Kilogramm Masse dank präziser Steuerung des Servohydraulikzylinders in Bewegung und brachten das Holzhaus horizontal gehörig zum Schwingen. Genauso, wie es durch Windstöße oder kleinere Erdbeben im Zürcher Unterland zu erwarten wäre. Die Beschleunigungssensoren massen derweil auf drei Geschossen die horizontalen Bewegungen des Gebäudes und lieferten Werte zu Tragwerksteifigkeit, Eigenfrequenz und Dämpfung. Die Messungen erfolgten wäh-



1
Erdbebenexperte Thomas Wenk (links) besucht René Steiger (rechts) und sein Team auf dem Baugelände.



2
Der hydraulische Horizontalschwinger der Empa, der bis zu 1000 kg schwingende Masse kontrolliert in Bewegung versetzen kann, wird in Position gebracht.

3
Damit die Rüttelversuche ohne Schäden am entstehenden Gebäude durchgeführt werden konnten, waren zahlreiche Spezialisten der Empa-Abteilung «Ingenieur-Strukturen» vor Ort.

4
Mit den unterschiedlichsten Amplituden und Frequenzen testet der Shaker das Gebäude.

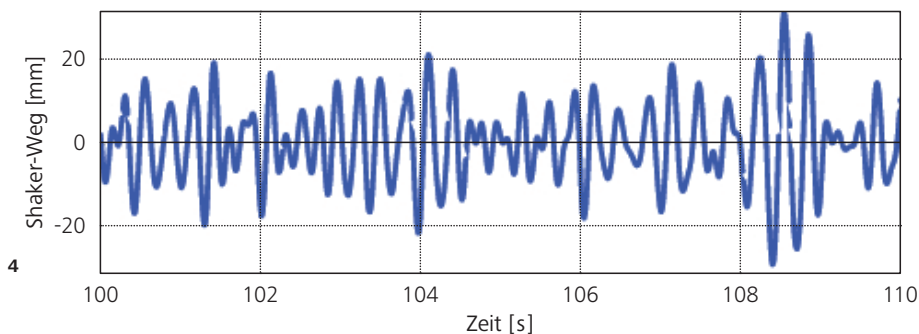
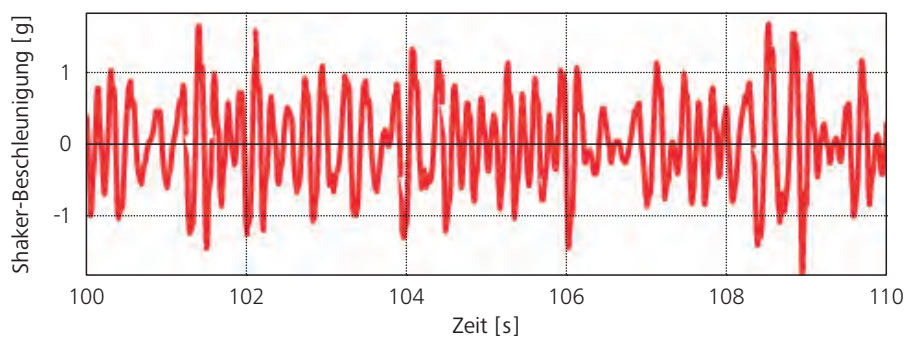


Video

Rüttelversuch der Empa am Holz-Wohnhaus in Oberglatt

<http://youtu.be/k8R1jGGJnI>

Shaker-Signal: 3 Hz bis 6 Hz, 30 % Intensität



Forschungsprogramm «Holz»

Im Nationalen Forschungsprogramm 66 «Ressource Holz» (www.nfp66.ch) geht das Team der Empa-Abteilung «Ingenieur-Strukturen» mit Forschungspartnern der Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud (heig-vd) und der EPF Lausanne – unterstützt durch die Industriepartner Pirmin Jung (Ingenieure für Holzbau), Thomas Wenk (Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik GmbH) sowie Lignum (Holzwirtschaft Schweiz) – der Frage nach, wie sich Verbindungen und Wandelemente mehrgeschossiger Holzbauten bei Erdbeben und Wind verhalten. Die Forschenden entwickeln ein optimiertes Tragwerksystem mit Hilfe einer verformungsbasierten Bemessungsmethode. Die Forschungsergebnisse tragen bei, Holz als Baustoff wettbewerbsfähiger und mehrgeschossige Holzbauten zuverlässiger, wirtschaftlicher und planungssicherer zu gestalten.

rend drei verschiedener Bauphasen. So konnten die Wissenschaftler direkt am Objekt verfolgen, wie das Tragwerk an Steifigkeit gewann: Während in der ersten Phase nur die tragenden Wände als Aussteifung wirkten, waren in der zweiten Phase bereits die Beplankungen von nicht tragenden Wänden verklammert und in der dritten Phase die Fenster eingebaut.

Mit den Auswertungen der umfangreichen Daten sind die Wissenschaftler noch eine Weile beschäftigt. «Bereits die ersten Ergebnisse zeigten, dass die Berechnungen am Modell nicht mit den Experimenten übereinstimmen», berichtet Steiger. Das Tragwerk erwies sich als bedeutend steifer, als auf Basis der Angaben in den Normen und der verwendeten Modelle berechnet wurde. Ausserdem seien die Unterschiede der ermittelten dynamischen Parameter in den drei Bauphasen deutlich geringer gewesen als erwartet. Im konkreten Fall wäre man also mit weniger Verbindungsmitteln oder weniger aussteifenden Wänden ausgekommen und hätte immer noch sicher gebaut.

Die Auswertungen lassen nicht nur Schlüsse auf das Objekt in Oberglatt zu, sondern geben auch Aufschluss darüber, wie sich die eingesetzten Baumaterialien allgemein auf Steifigkeit, Eigenfrequenz und Dämpfung von Bauten auswirken. Mit ihrer Arbeit helfen die Wissenschaftler, Normen und Modelle zu ergänzen, und sie unterstützen Bauingenieure und Architekten darin, ihre Planung zu optimieren. Last, not least: Das Projekt, das durch den Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung des Bundesamts für Umwelt und der Kantone finanziell unterstützt wurde, stärkt auch die Konkurrenzfähigkeit von Holz als nachhaltigem Baustoff für mehrgeschossiges Bauen. //