



---

## WIE BELASTBAR IST HOLZ WIRKLICH?

Forscher der ETH Zürich setzen bei Stoßbelastungstests  
auf Sensoren von Kistler



Mithilfe von Sensortechnologie von Kistler wurden am Institut für Baustatik und Konstruktion der ETH Zürich Stoßbelastungstests an Bauholz durchgeführt.

**Bei Aufpralltests an Bauholz verlässt sich das Institut für Baustatik und Konstruktion (IBK) der ETH Zürich auf Beschleunigungs- und Kraftsensoren von Kistler. Es werden Stoßbelastungstests mit einem Pendelschlaghammer durchgeführt, um die Stoßbelastungseigenschaften von verschiedenen Holzarten zu ermitteln und dabei die Bewertungsmethoden (Energie vs. Kraft) zu verbessern.**

Der Holzbau erlebt in den letzten Jahren eine Renaissance: Seit Jahrhunderten aus den Städten verbannt, kehrt er dank besserer Feuerschutzmethoden langsam zurück. Das hat auch damit zu tun, dass Holzhäuser großes Potenzial als Kohlendioxidsenke besitzen, um den Treibhauseffekt zu vermindern: ein Kubikmeter Holz speichert etwa eine Tonne CO<sub>2</sub>. Was das Wissen darüber betrifft, liegt Holz jedoch gegenüber Materialien wie Stahl und Beton, die seit dem 19. Jahrhundert das Bauen dominiert haben, zurück.

Trotzdem gibt eine lange Tradition des Bauens mit Holz. Holz wird seit Hunderten von Jahren als Baumaterial für Häuser und religiöse Gebäude eingesetzt, und manche im Asien des 7. und 8. Jahrhunderts gebaute Pagoden stehen heute noch immer. Weltweit nehmen die Aktivitäten im Holzbau und in der Industrie zu; das Zentrum liegt in Europa mit einem Schwerpunkt in den deutschsprachigen Ländern und Skandinavien, wo bereits etablierte Bauvorgaben und Wertschöpfungsketten existieren. An der ETH Zürich in der Schweiz widmet sich der Lehrstuhl für Holzbau am Institut für Baustatik und Konstruktion (IBK) der Forschung in den Bereichen hohe Gebäude aus Holz, Feuerschutz, Holz-Beton-Verbunde sowie Robustheit. Einige dieser Forschungsaktivitäten werden in Zusammenarbeit mit Industriepartnern durchgeführt.

**Stoßbelastungstests profitieren von piezoelektrischen Kraftsensoren**  
Alex Sixie Cao, der ursprünglich aus Norwegen kommt, forscht im Rahmen seines Doktorstudiums zur Robustheit von Holzbauten.

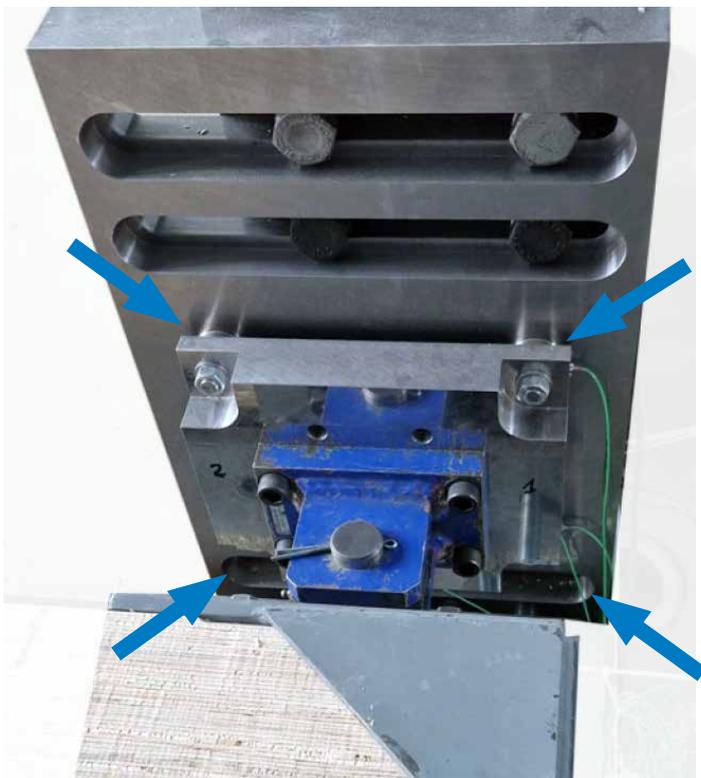
„Das Ziel der Forschung zur Robustheit von Holzbauten ist es, ein besseres Verständnis davon zu gewinnen, wie sich Gebäude verhalten, wenn sie unvorhergesehenen und extremen Belastungen ausgesetzt sind – zum Beispiel bei Unfällen, Explosionen, Materialermüdung, Stoßbelastung und mehr“, berichtet er. Von 2021 bis 2023 wurde mit Hilfe von Kraftsensoren und weiterer Messtechnik von Kistler eine Reihe von Stoßbelastungstests an Brett-schichtholz (glued laminated timber – GLT) abgeschlossen. Diese Tests wurden durchgeführt am Bautechnik-Labor des Instituts, einer mittelgroßen Lagerhalle, wo ein Testsetup mit einem großen Pendelschlaghammer und Holzbalken in einer Dreipunkt-Biegeaufprall-Konfiguration aufgebaut wurde.

„Wir begannen mit einem Energie-basierten Ansatz, indem wir die Aufprall-Parameter aus dem Verlust der kinetischen Energie des Hammers beim Durchschlagen der Balken berechneten.“ Der Pendelhammer, mit einer Länge von 4,65 Metern und einer Masse von fast 3,5 Tonnen, wurde mit einem Winkelgeber, Hochgeschwindigkeitskameras und zwei verschiedenen Beschleunigungssensoren von Kistler ausgerüstet. „Sie haben perfekt funktioniert, jedoch haben wir von der Theorie her gesehen nicht

alle erwünschten Resultate bekommen“, so Cao weiter. „Deshalb haben wir beschlossen, unser Setup um Kraftsensoren von Kistler zu erweitern, um die Aufprallkräfte direkt zu messen. Verglichen



Alex Sixie Cao ist ein erfahrener Post-Doc, der am Lehrstuhl für Holzbau von Prof. Andrea Frangi am Institut für Baustatik und Konstruktion der ETH Zürich (Schweiz) arbeitet und forscht.



Aufpralltest: vier piezoelektrische Kraftsensoren 9051C von Kistler sind – in einer rechteckigen Anordnung unter einer Platte – auf jeder Seite des Trägersystems installiert, das den Holzbalken in Position hält.

mit Geräten anderer Lieferanten sind diese Sensoren sehr klein; sie verfügen über eine hohe Eigenfrequenz und die daraus resultierende Messlösung ist weniger störungsempfindlich.“

„Das Ziel der Forschung zur Robustheit von Holzbauten ist es, ein besseres Verständnis davon zu gewinnen, wie sich Gebäude verhalten, wenn sie unvorhergesehenen und extremen Belastungen ausgesetzt sind.“

Alex Sixie Cao, Post-Doc am Lehrstuhl für Holzbau am Institut für Baustatik und Konstruktion der ETH Zürich

Acht piezoelektrische Kraftsensoren des Typs 9051C wurden aufgrund ihrer hohen Steifigkeit ausgewählt, die präzise Messungen hochdynamischer Ereignisse ermöglicht. Im aktuellen Stoßbelastungs-Testaufbau sind jeweils vier Kraftsensoren von Kistler am rechten und linken Ende des Trägersystems befestigt, das den Holzbalken in Position hält. Sie sind in einem rechteckigen Layout unter einer Platte installiert, um mögliche Biegeeffekte zu vermeiden. Die Messkette wird vervollständigt durch den Labor-Ladungsverstärker 5167A – kurz LabAmp – und die Software DynoWare für die Datenverarbeitung. Der Ladungsverstärker verfügt über eine Datenerfassungsrate von 100.000 Samples pro Sekunde (100 kSps) pro Kanal, was aufgrund der kurzen Stoßdauer von nur etwa 12 Millisekunden bei einer Spitzenlast von ungefähr 350 kN erforderlich ist. „Wir haben von Kistler unschätzbare Unterstützung bekommen, um alles korrekt aufzusetzen und einzurichten. Sie haben die Sensoren vorgespannt, uns dabei unterstützt, den Trigger für die Kraftmessung zu konfigurieren, und uns durch den gesamten Prozess begleitet. Bis jetzt haben wir noch nicht so viele Tests mit dem neuen Setup gemacht (mit den Kraftsensoren) – aber wir erkennen bereits deutliche Unterschiede im Vergleich zum energie-basierten Ansatz. Es ist wichtig, diese Unterschiede zwischen den

zwei Methoden zu verstehen, so dass Entscheidungen auf einer soliden wissenschaftlichen Grundlage getroffen werden, bevor sie in Normen und Standards für Holzbauwerke einfließen“, erklärt Cao.

### Komplette Messkette plus Remote- und Vorort-Service

Insgesamt wurden zwischen 2021 und 2023 über einhundert Stoßbelastungstests am Holzbau-Lehrstuhl der ETH durchgeführt. Getestet wurden sowohl unterschiedliche Holzarten – wie Fichte und Buche – als auch verschiedene Arten von Bauholz: Brettschichtholz (Glue Laminated Timber – GLT) und Furnierschichtholz (Laminated Veneer Lumber – LVL) zum Beispiel, sowie Holzbalken mit und ohne Keilverzinkung. Die Ergebnisse zeigen deutliche Unterschiede zwischen dem energiebasierten und dem kraftbasierten Ansatz, die weiter untersucht werden müssen. Die momentan verwendeten Werte für die dynamische Festigkeitszunahme von Bauholz liegen zwischen 1,0 und 1,2, basierend auf Explosionslast-Experimenten. Jedoch zeigen die aktuellen Ergebnisse der Tests an der ETH Zürich eine Festigkeitszunahme von 2,1 (Reaktionskraft-Ansatz) bzw. 3,0 (Energie-Ansatz). Dennoch ist es zu früh, diese Resultate in Baustandards einfließen zu lassen, und weitere Untersuchungen müssen durchgeführt werden, um ein besseres Verständnis zu gewinnen. Die Kraftsensoren von Kistler ermöglichen einen direkten Vergleich der Stoßbelastungstests an der ETH Zürich mit Explosionslasttests an der Universität Ottawa in Kanada. Die Verfeinerung von Forschungsmethoden, wie sie an der ETH Zürich und anderen Forschungseinrichtungen erreicht wurde, hat gleich mehrere Vorteile: Sie trägt dazu bei, Holzbauwerke besser zu machen durch höhere Effizienz und verbesserte Robustheit, und sie kann auch einen Beitrag zum Design von Schutzeinrichtungen aus Holz leisten, zum Beispiel Steinschlagbarrieren, Straßenbefestigungen und weitere.

Cao resümiert: „Wir haben gute Fortschritte mit unseren Stoßbelastungstests gemacht, und wir werden sie definitiv in Zukunft weiterführen – möglicherweise als eigenes Projekt. Die Lösung von Kistler hat entscheidend zu unseren Ergebnissen beigetragen: Der Aufbau ist sehr kompakt und er stellt geringere Anforderungen als vergleichbare Technologien. Wir sind auch sehr zufrieden mit dem Support von Kistler: Sie haben uns vor Ort unterstützt und schnell reagiert, wenn wir Hilfe brauchten, und ihre Herangehensweise bei Herausforderungen hat uns wirklich dabei geholfen, unsere Testverfahren weiterzuentwickeln.“

### Sehr genaue und robuste Kraftmessung

Ringkraftaufnehmer der Reihe 90x1C von Kistler liefern hochpräzise Messungen von Zug- und Druckkräften und verfügen über vielfältige Vorteile:



PE-Kraftsensor 9051C von Kistler

- Sehr kompaktes Design
- Sehr hohe Steifigkeit und sehr geringe Ansprechschwelle
- Zwei kalibrierte Messbereiche
- Linearität inkl. Hysterese  $\leq \pm 0,5\%$
- Unbegrenzte Lebensdauer (keine Alterung)

Außerdem können mehrere Kraftsensoren einfach summiert werden durch Anschluss an einen Ladungsverstärker – so wie mit jeweils vier 9051C-Sensoren in der vorliegenden Anwendung.

---

**Wollen Sie mehr über unsere  
Anwendungen erfahren?  
Jetzt entdecken:**



[www.kistler.com](http://www.kistler.com)

**Kistler Group**  
Eulachstrasse 22  
8408 Winterthur  
Schweiz  
Tel. +41 52 224 11 11

Die Produkte der Kistler Gruppe sind durch verschiedene gewerbliche Schutzrechte geschützt. Mehr dazu unter [www.kistler.com](http://www.kistler.com)

Die Kistler Gruppe umfasst die Kistler Holding AG und alle ihre Tochtergesellschaften in Europa, Asien, Amerika und Australien.

Finden Sie Ihren Kontakt auf  
[www.kistler.com](http://www.kistler.com)

**KISTLER**  
measure. analyze. innovate.