



Dynamische Eigenschaften von Holzrahmen- und Brettsperrholzbauten

20. VGQ Holzbau Forum, Baden, 9. Juni 2022

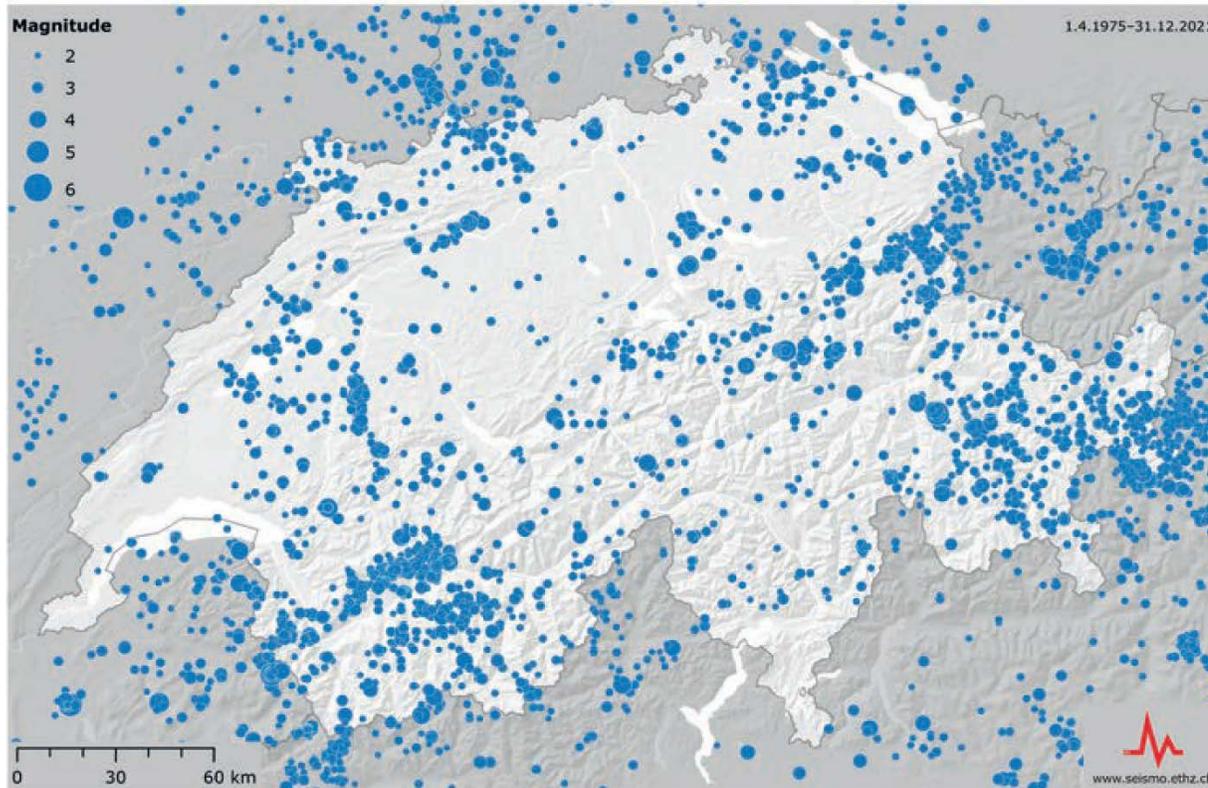
Martin Geiser, Urs Oberbach

Inhaltsübersicht

- Erdbebenrisiko in der Schweiz
- Forschungsgruppe Erdbebeningenieurwesen
- Grundschiwingzeit: Ermittlung, Bedeutung und Problematik
- Ziele und Methodik
- Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen
- Abgleich Simulation - Experiment
- Fazit und Ausblick
- Weiterbildung Erdbebengerechte Holzbauten
- Danksagung

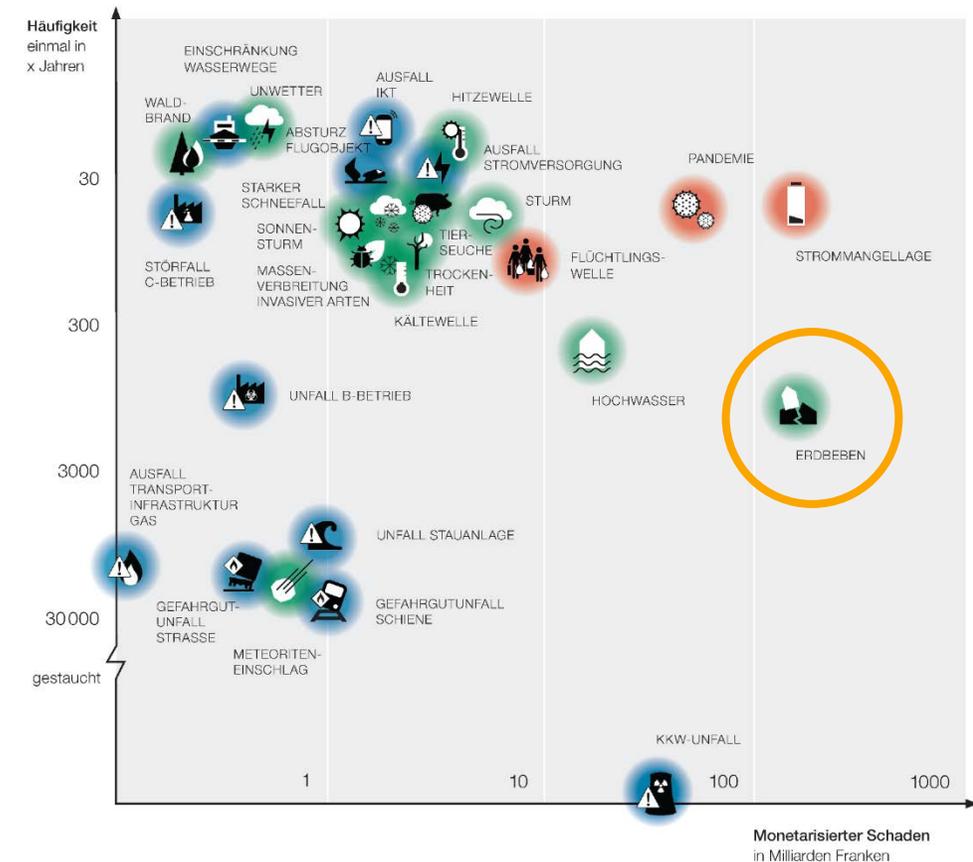
Erdbebenrisiko in der Schweiz

Erdbeben 1975 bis 2021 mit Magnitude ≥ 2



Quelle: Schweizerischer Erdbebendienst, ETH Zürich, 2022

Die Risiken für die Schweiz im Vergleich



Quelle: BABS, 2015

Forschungsgruppe Erdbebeningenieurwesen

im Kompetenzbereich Tragstrukturen und Erdbebeningenieurwesen



Martin Geiser
Leiter

seit 2015



Urs Oberbach
Wissenschaftlicher
Mitarbeiter

seit 2018



Lukas Kramer
Masterassistent

seit 2019



Lukas Furrer
Masterassistent

seit 2020



Kylian Maître
Masterassistent

seit 2020

Grundschwingzeit: Ermittlung, Bedeutung und Problematik

Grundschwingzeit: Ermittlung

Unterschiedliche Möglichkeiten

Vereinfachte Methoden

Masse und Steifigkeit unberücksichtigt

- Plateauwert
- $n/10$
- Schätzformel (NBCC 2010, Lignatec 32/2020, ehemals Gl. 261.38 bzw. 39):
 $T_{1,est} = 0,05 h^{0,75}$
mit h = Gebäudehöhe

Detailliertere Methoden

Masse und Steifigkeit berücksichtigt

- Grundgleichungen der Baudynamik
- Vereinfachte Rayleigh-Methode (Gl. 261.40)

$$T_1 = 2 \cdot \sqrt{u}$$

- Rayleigh-Methode (Rayleigh-Quotient)

$$T_1 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot u_i^2}{\sum_{i=1}^n F_{d,i} \cdot u_i}}$$

- Dynamische Analyse
(oft computergestützt, z.B. Dlubal Dynam-Pro)

Wichtiger Hinweis

- Das Gebäude bestimmt T_1 , nicht unsere Berechnungen, selbst wenn sie raffiniert sind!

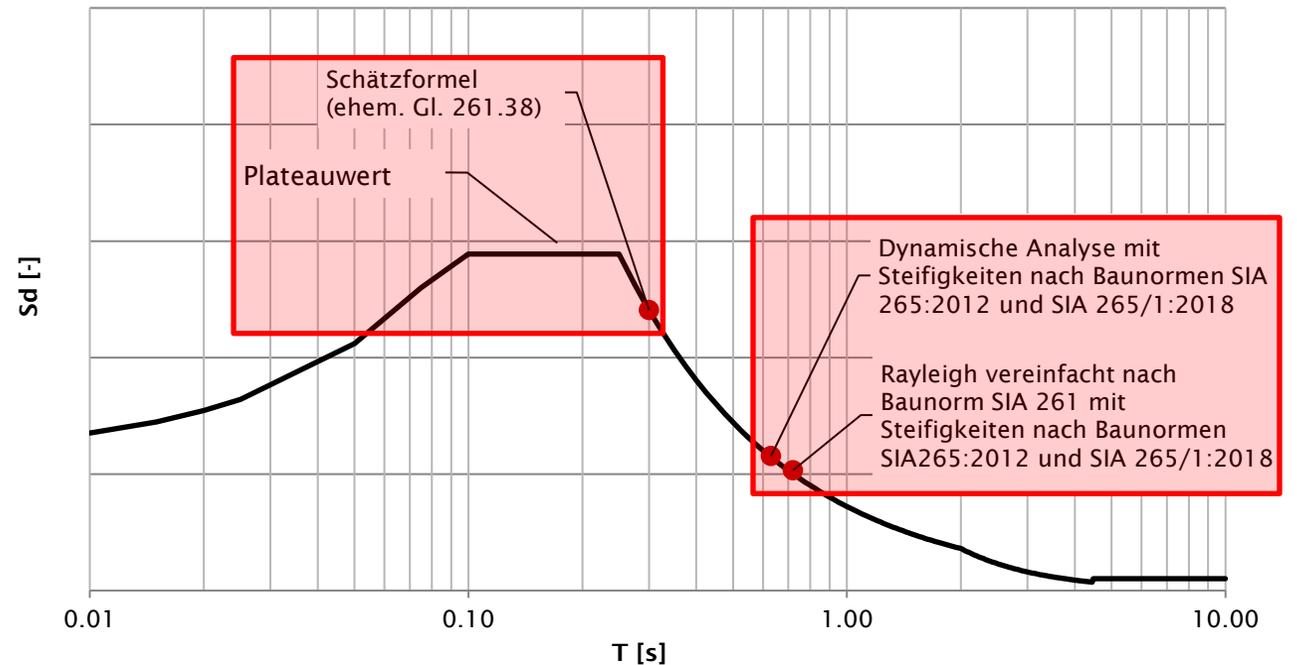
Grundschwingzeit: Bedeutung und Problematik

Grundschwingzeit als eine der wichtigsten Grössen im Erdbebeningenieurwesen

Problematik

- Erdbebenkräfte sind von den Schwingzeiten abhängig
- Stark divergierende Ergebnisse für die Schwingzeiten je nach Berechnungsmethode
- Vereinfachte Methoden liefern i.d.R. kürzere Grundschwingzeiten als genauere Methoden
- Verbreitete Annahme: je genauer und aufwändiger die Methode, desto zuverlässiger das Ergebnis

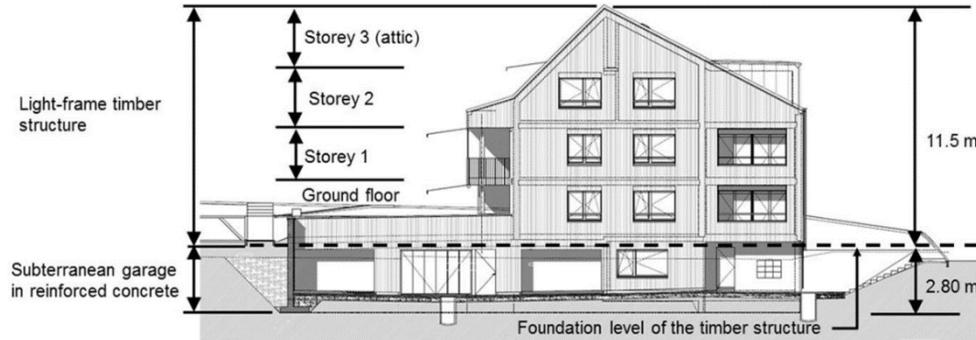
Grundschwingzeit - Beispiel 4-geschossiger Holzrahmenbau auf Baugrundklasse E nach SIA 261:2020



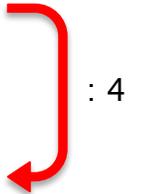
Grundschiwingzeit: Bedeutung und Problematik

Grundschiwingzeit als eine der wichtigsten Grössen im Erdbebeningenieurwesen

Experimentelle Ermittlung der dynamischen Eigenschaften eines mehrgeschossigen Holzbaus



Ermittlungsmethode	T_1 [s]
Rayleigh-Quotient mit Steifigkeiten nach SIA265:2003 und SIA265/1:2009	1,0
Schätzformel (ehem. Gl. 261.38)	0,3
Experimentell (LAVT)	0,25...0,27



[Steiger et al., Erdbebenbemessung von Holzbauten, Experimentelle Ermittlung der dynamischen Eigenschaften eines mehrgeschossigen Holzbaus; 2012]
[Steiger et al., Experimental modal analysis of a multi-storey light-frame timber building. Bulletin of Earthquake Engineering 15 (8): 3265 - 3291, 2017]

Vorgaben gemäss Norm SIA 260 Ziffer 3

- 3.1.2 Die Methoden der Tragwerksanalyse sollen auf anerkannter, nötigenfalls experimentell bestätigter Theorie und Ingenieurpraxis beruhen.

Fazit

- Gültigkeit der «genaueren» Berechnungen wurde experimentell nicht bestätigt
- Offene Frage: Einfluss von sekundären Bauteilen auf die Grundschiwingzeit

Projekte über die dynamischen Eigenschaften von:

- Holzrahmenbauten (Testgebäude Chamoson, 2018-2021)
- Brettsperrholzbauten (Testgebäude Vauffelin, 2020-2022)

Ziele und Methodik

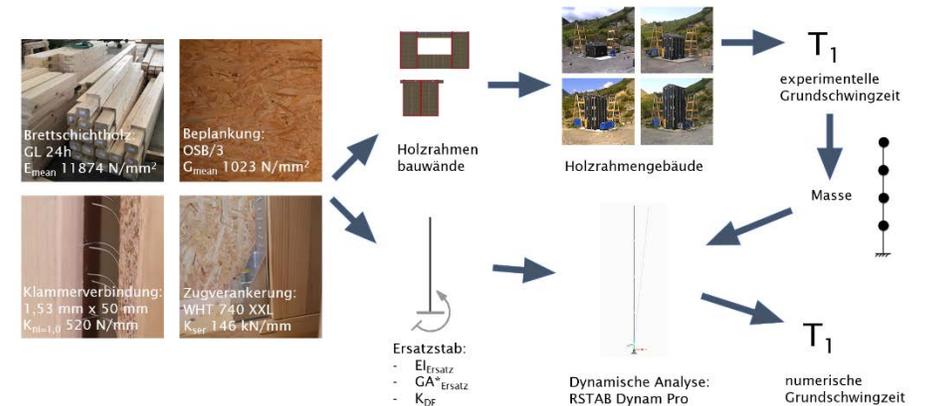
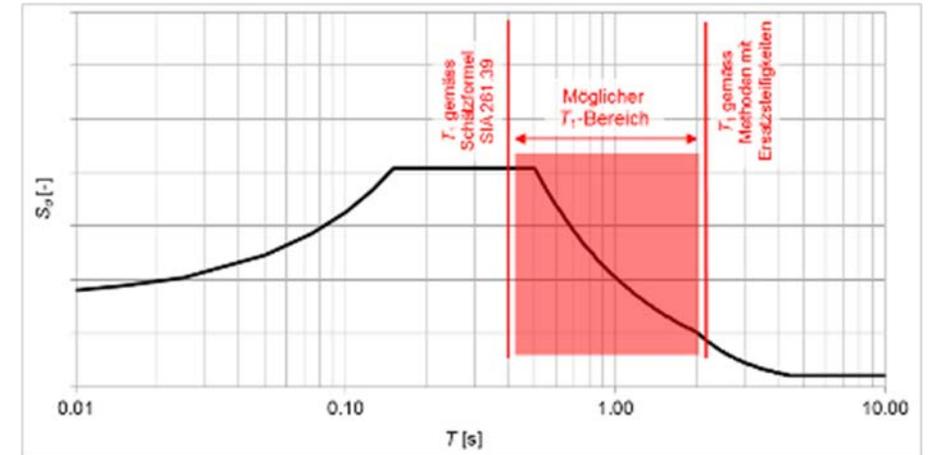
Projekte über die dynamischen Eigenschaften von Holzrahmen- und Brettsperrholzbauten (2018 -2022)

Ziele

- Besseres Verständnis des dynamischen Verhaltens und der Diskrepanzen zwischen den Berechnungsmethoden
- Leitfaden für praktizierende Ingenieure
- Tragwerksoptimierung unter Berücksichtigung der Erdbbensicherheit und der Wirtschaftlichkeit

Methodik

- Systematische Steifigkeitsermittlung aller eingesetzten Baustoffe, Verbindungsmittel und Bauteile
- Ermittlung der statischen Eigenschaften, Umgebungsausmessungen (AVT) und Ausschwingversuche (FVT) an Testgebäuden, stockwerksweise in beide Hauptrichtungen
- Abgleich zwischen Experiment und Simulation

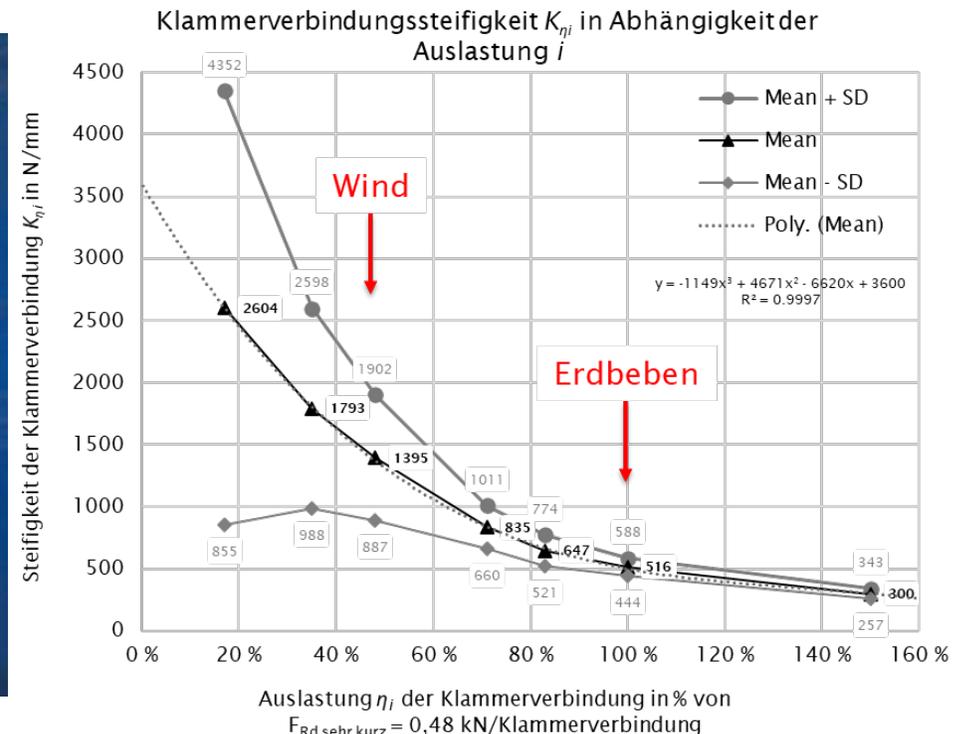
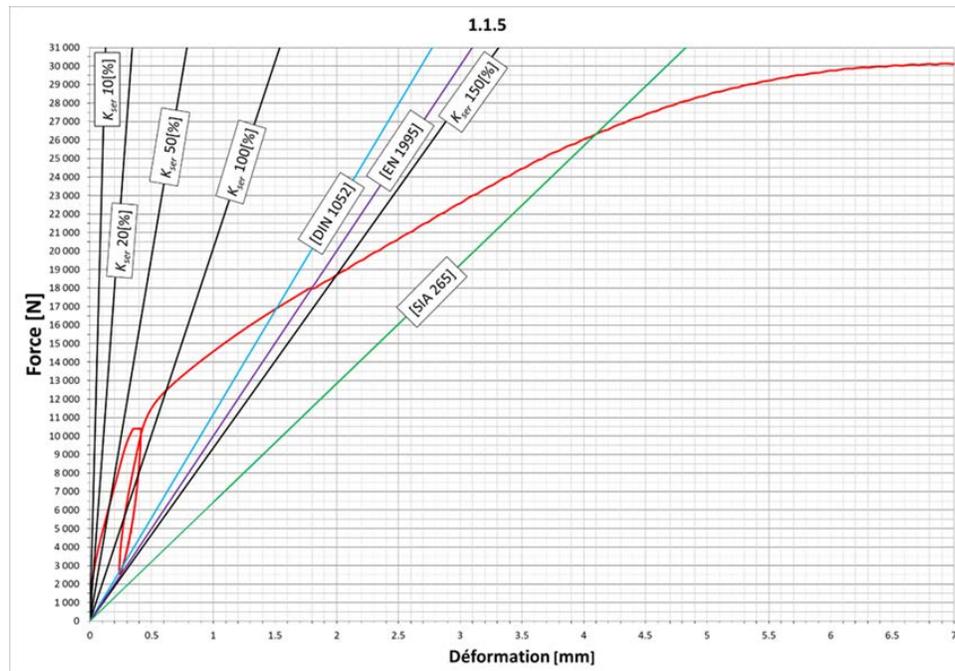


Methodik und Ergebnisse

Dynamische Eigenschaften von Holzrahmenbauten: Beispiel Verschiebungsmodul von Klammerverbindungen

Verbindungssteifigkeit ist von der Auslastung abhängig

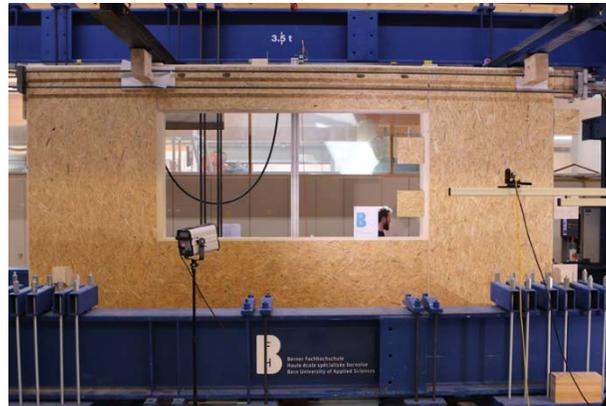
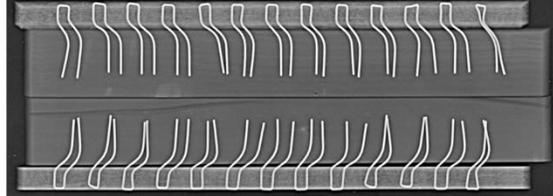
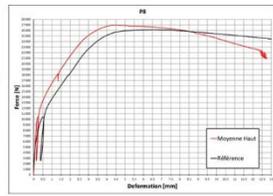
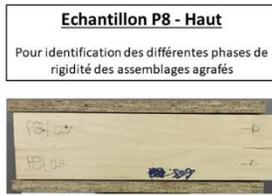
- Regressionskurve aus 98 Prüfkörpern (3'280 Klammern) abgeleitet
- Hinweis: Für die Ermittlung von T_1 ist eine mittlere Steifigkeit bis zum Fließbeginn (SIA 261, 16.5.2.2 bzw. 16.5.5.2) in Rechnung zu stellen



Methodik und Ergebnisse

Testgebäude Dynamische Eigenschaften von Holzrahmenbauten (Chamoson, VS)

Vorgängiges Ermitteln der Steifigkeit und der Masse sämtlicher Bauteile



Statisches und dynamisches Prüfen beider Gebäuderichtungen (ca. 80 Ausschwingversuche)



Methodik und Ergebnisse

Testgebäude Dynamische Eigenschaften von Brettsperrholzbauten (Vauffelin, BE)

Statisches und dynamisches Prüfen beider Gebäuderichtungen (ca. 120 Ausschwingversuche)



Ergebnisse Dynamische Eigenschaften unterschiedlicher Holzbauweisen



Holzrahmenbau

- Ausschwingversuche und AVT Chamoson



Brettsperrholz

- Ausschwingversuche und AVT Vauffelin
- AVT Ärztehaus Naters



Blockbau

- Ausschwingversuche und AVT Ackersand
- AVT Kampagne an 10 Walliser Blockbauten

Ergebnisse Dynamische Eigenschaften unterschiedlicher Holzbauweisen



Holzrahmenbau

Gebäudehöhe = 12.1 m

Auslösekraft = 81 kN

Auslenkung = 59 mm

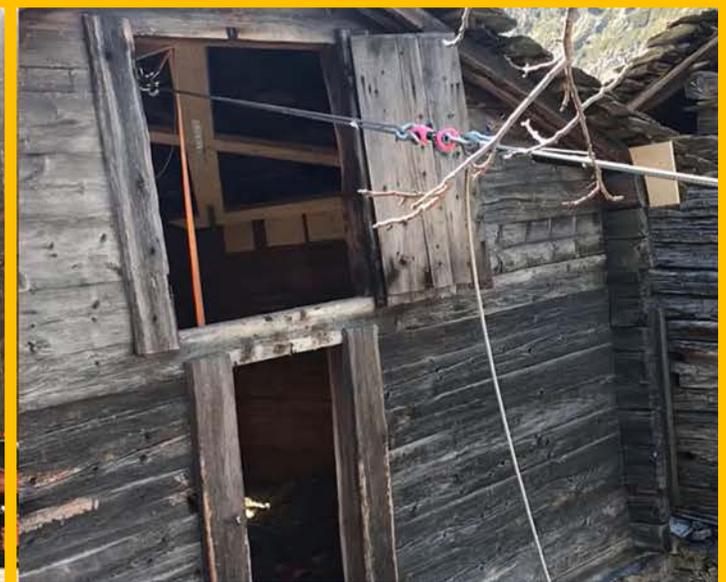


Brettsper Holz

Gebäudehöhe = 12.4 m

Auslösekraft = 76 kN

Auslenkung = 11 mm



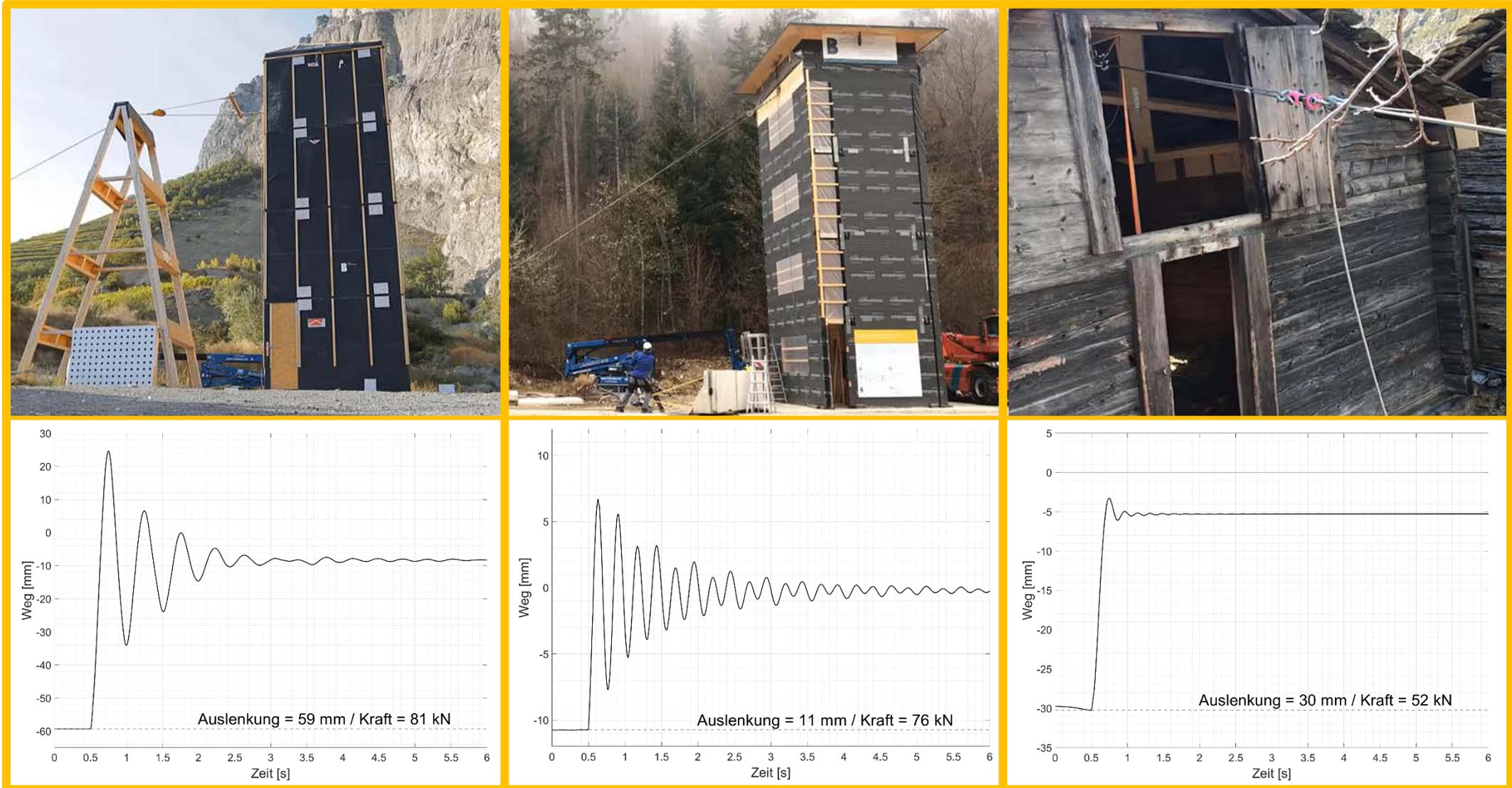
Blockbau

Gebäudehöhe = 4.1 m

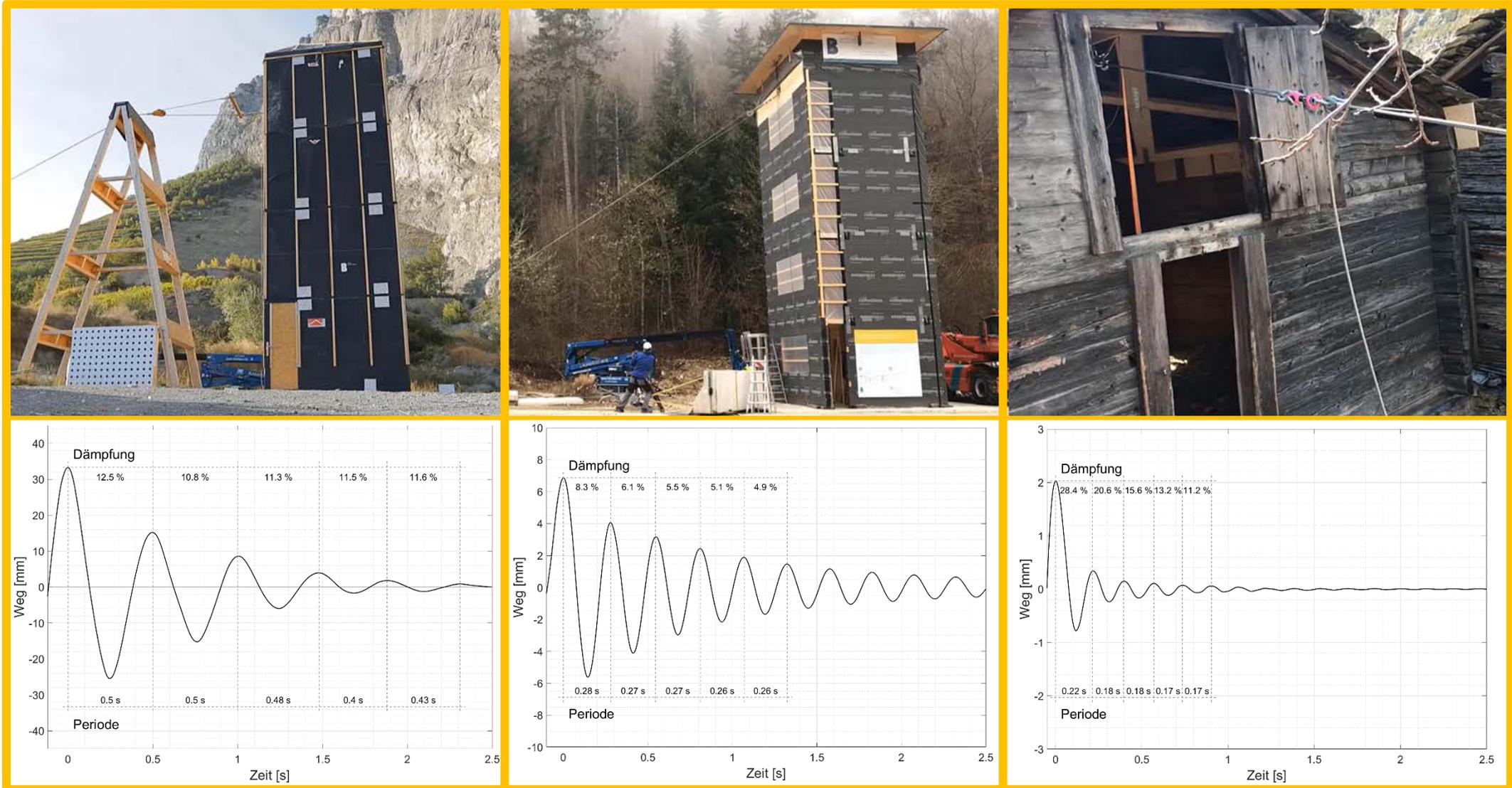
Auslösekraft = 52 kN

Auslenkung = 30 mm

Ergebnisse Dynamische Eigenschaften unterschiedlicher Holzbauweisen

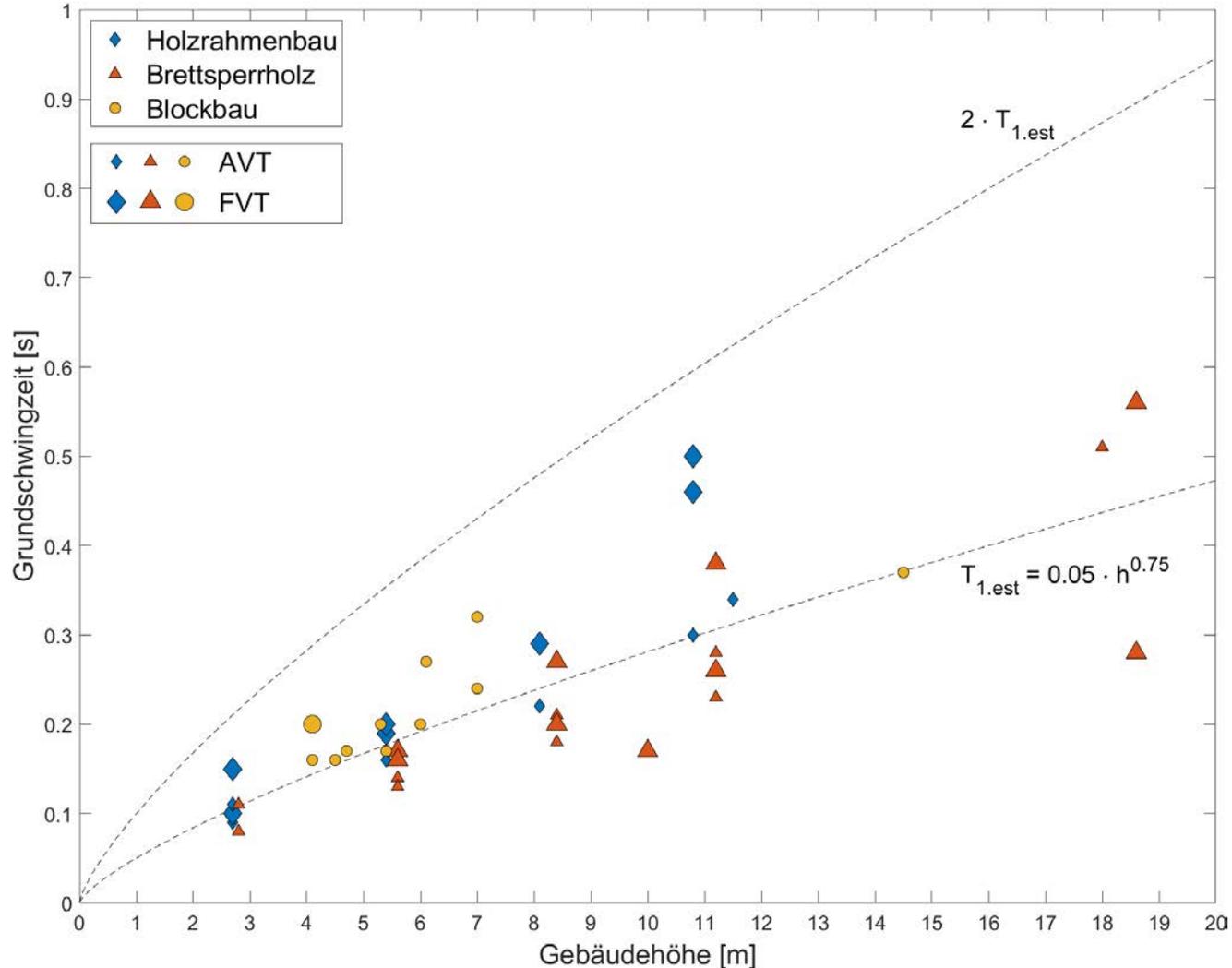


Ergebnisse Dynamische Eigenschaften unterschiedlicher Holzbauweisen



Ergebnisse Dynamische Eigenschaften unterschiedlicher Holzbauweisen

Übersicht Ergebnisse - Grundschiwingzeit

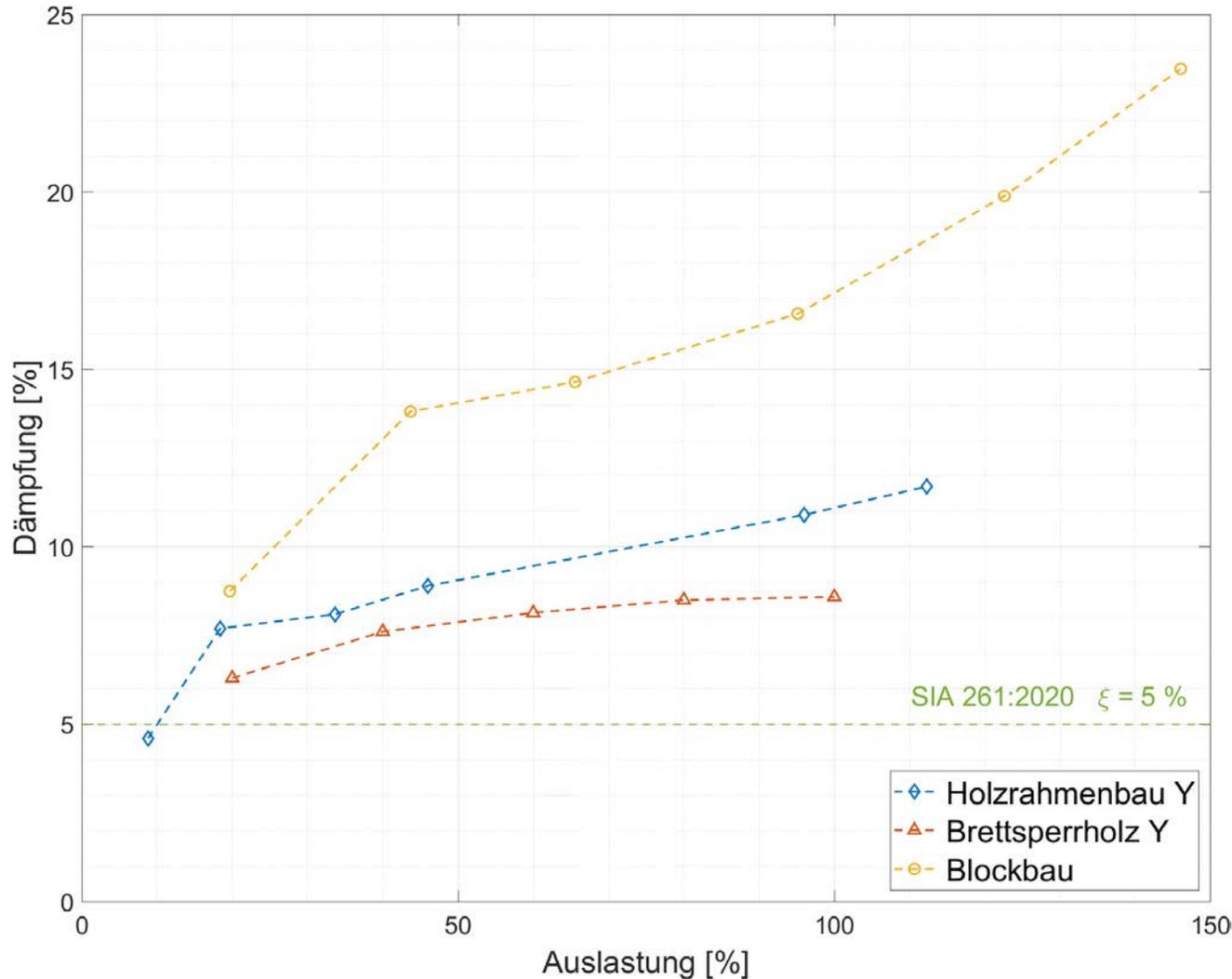


Fazit

- Insbesondere für Holzrahmen- und Blockbauten gilt: $T_{1.est} \approx T_{1.AVT}$.
- Faktoren für grosse Amplituden:
 - Holzrahmenbau: $T_{FVT} \approx 1.5 \cdot T_{AVT}$
 - Brettsperrholz: $T_{FVT} \approx 1.2 \cdot T_{AVT}$
 - Blockbau: $T_{FVT} \approx 1.2 \cdot T_{AVT}$
- Mit steigender Tragwerksauslastung nähert sich die Grundschiwingzeit der oberen Grenze von $2 \cdot T_{1.est}$.
- Die Obergrenze von $2 \cdot T_{1.est}$ ist bei keiner Untersuchung überschritten worden.

Ergebnisse Dynamische Eigenschaften unterschiedlicher Holzbauweisen

Übersicht Ergebnisse - Dämpfung



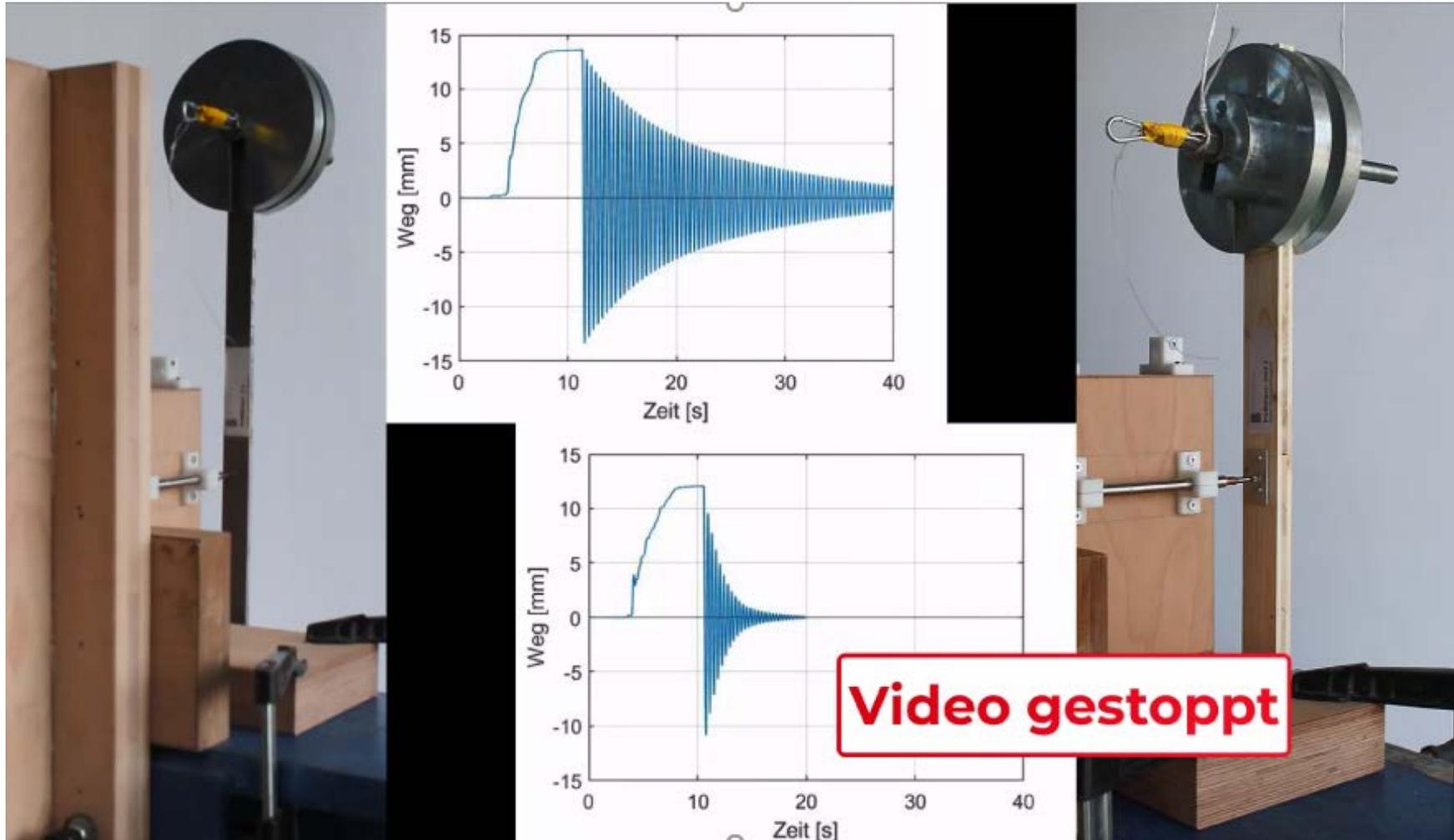
Fazit

- Die Dämpfung wird mit steigender Amplitude grösser.
- Die Dämpfung ist abhängig von der Holzbauweise, wobei gilt:
 $\xi_{Blockbau} > \xi_{Holzrahmenbau} > \xi_{Brettsperrholz}$
- Bei sämtlichen Untersuchungen wurden Dämpfungswerte bei 100 % Erbebenauslastung von über 5 % gemessen.
- Die Dämpfung im Holzbau muss noch weiter untersucht werden.

Ergebnisse Dynamische Eigenschaften unterschiedlicher Holzbauweisen

Ausblick - Dämpfung im Holzbau: Baustoffversuche

Stahl



Dreischicht-
platte

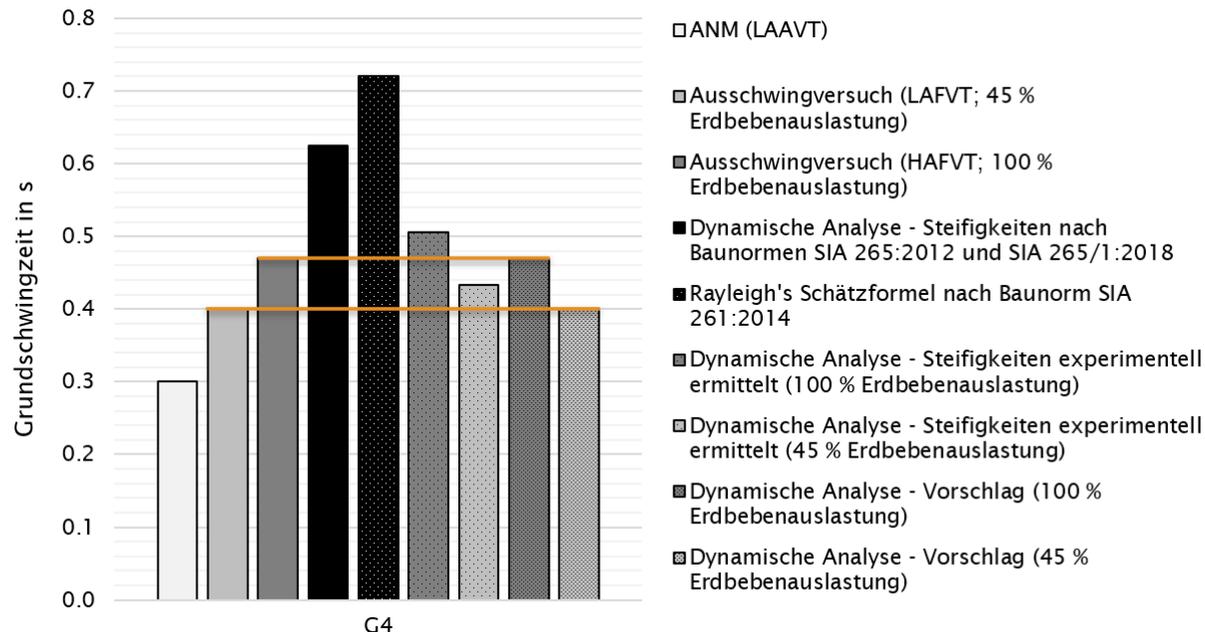
Quelle: Projektarbeit
Schönenberger und Schori,
BFH 2022

Abgleich Simulation - Experiment

Testgebäude Dynamische Eigenschaften von Holzrahmenbauten (Chamoson, VS)

Abgleich Testgebäude

- Werden die effektiven Steifigkeiten angesetzt, sinkt die Diskrepanz massiv
- Eine Überstimmung von 100 % erfordert jedoch eine globale Steifigkeitserhöhung



Angesetzte Berechnungsparameter

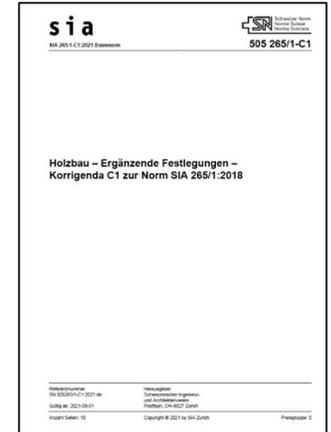
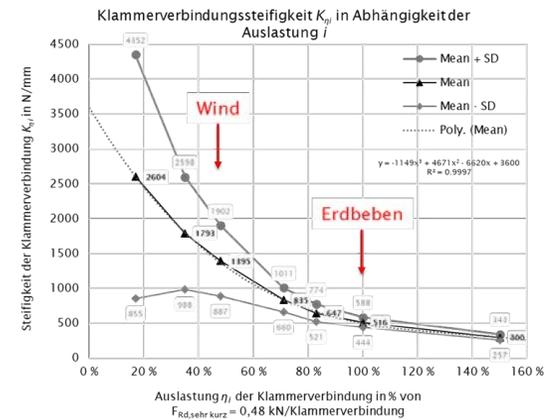
- GL24h: E-Modul = 11'500 N/mm² [SIA265:2021]
- OSB/3: G-Modul = 1'080 N/mm² [SIA265/1:2018]
- OSB-Holz-Klammerverbindung:
 $K_{ser} = 520 \text{ N/mm}$
- Zugverankerungen:
 $K_{ser} = F_{Rd, \text{ kurzzeitig}} / 1 \text{ mm}$
- Globale Steifigkeitserhöhung
Faktor 1,17

Abgleich Simulation - Experiment

Testgebäude Dynamische Eigenschaften von Holzrahmenbauten

Anpassung Verschiebungsmodul Klammerverbindungen normativ umgesetzt

- Basierend auf den experimentellen Untersuchungen an Klammerverbindungen konnte die Norm SIA 265/1 angepasst werden (Korrigenda C1 zur Norm SIA 265/1:2018, gültig ab dem 1. August 2021)



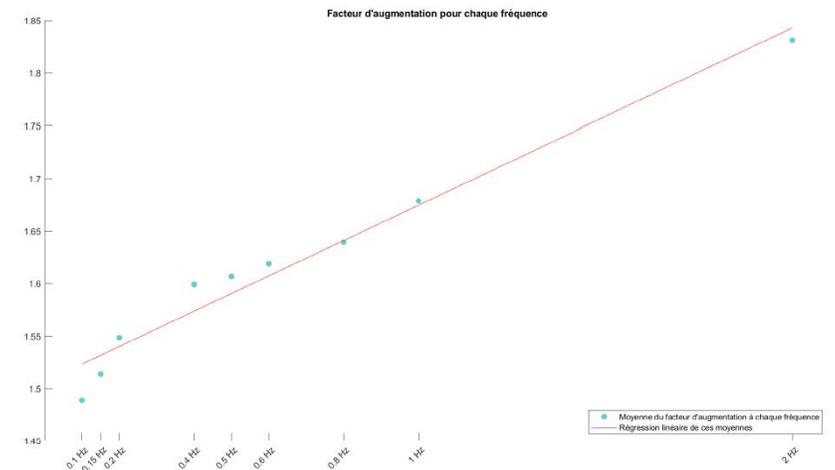
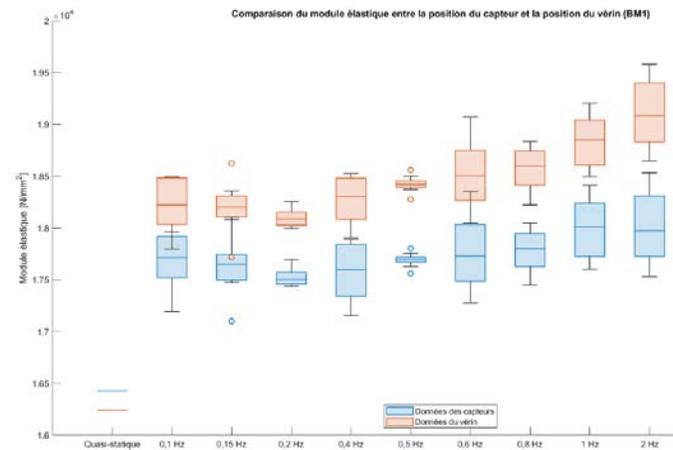
55	7.3.4.6	<p>Für Holz-Holz- oder Holzwerkstoff-Holz-Verbindung mit Klammern dürfen für den Verschiebungsmodul K_{ser} die Werte für Holz-Holz-Verbindungen von Nagelverbindungen ohne Vorbohrung gemäss SIA 265:2012, Tabelle 25, verwendet werden. Der Verschiebungsmodul K_{ser} einer Klammer entspricht demjenigen zweier Nägel des gleichen Schaftdurchmessers, wenn der Winkel zwischen dem Klammerrücken und der Faserrichtung des Holzes mindestens 30° gemäss Figur 9 beträgt.</p>	<p>Für Holz-Holz- oder Holzwerkstoff-Holz-Verbindung mit Klammern dürfen für den Verschiebungsmodul K_{ser} die Werte für Holz-Holz-Verbindungen von Nagelverbindungen ohne Vorbohrung gemäss SIA 265:2021, Tabelle 29, verwendet werden. Der Verschiebungsmodul K_{ser} einer Klammer entspricht demjenigen zweier Nägel des gleichen Schaftdurchmessers, wenn der Winkel zwischen dem Klammerrücken und der Faserrichtung des Holzes mindestens 30° gemäss Figur 9 beträgt.</p> <p><i>In der Bemessungssituation Erdbeben ist für die Ermittlung der Grundschwingzeit T_1 der Verschiebungsmodul K_{ser} der Klammerverbindungen von Beplankungen mit OSB-Platten mit dem Faktor 2,1, beziehungsweise von Beplankungen mit Gipsfaserplatten mit dem Faktor 3,5 zu erhöhen.</i></p>
----	---------	---	--

Abgleich Simulation - Experiment

Testgebäude Dynamische Eigenschaften von Holzrahmenbauten

Erfassung des Einflusses der Lasteinwirkungsdauer

- Tragwiderstand und Steifigkeit sind von der Lasteinwirkungsdauer abhängig
- Gemäss Eurocode 8 (8.4(2)), Steifigkeitserhöhung von 10 % im Erdbebenfall
- Masterarbeit von Sarah Voirin EPFL 2021:
 - Steifigkeitserhöhung von ca. +10 % beim E-Modul von C24 und OSB/3
 - Steifigkeitserhöhung von bis zu 80 % beim Verschiebungsmodul von Klammerverbindungen



Quelle: Voirin, S. Influence des sollicitations dynamiques sur des éléments de construction à ossature bois, Projet de Master, EPFL, 2021

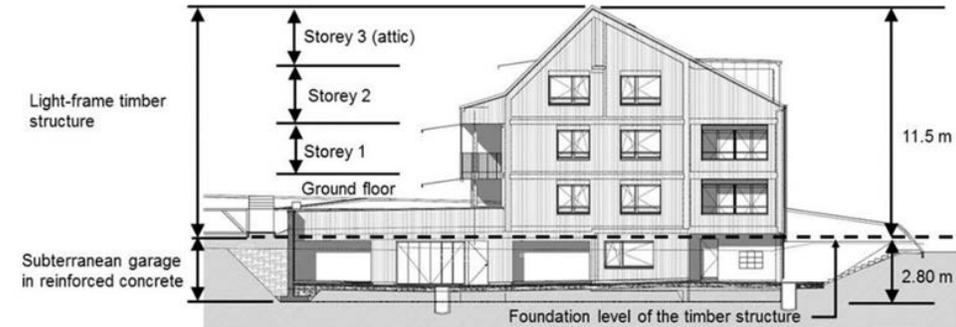
Abgleich Simulation - Experiment

Dynamische Eigenschaften von Holzrahmenbauten – Abgleich mit einem 3-geschossigen Mehrfamilienhaus

Angesetzte Berechnungsparameter

- Steifigkeit der Baustoffe:
 - GL24h: E-Modul 11'500 N/mm² [SIA 265:2021]
 - OSB/3: G-Modul 1'080 N/mm² [SIA 265/1:2018]
 - GFP: G-Modul 1'600 N/mm² [Zulassung]
- Steifigkeit der Klammerverbindungen
 - OSB: $K_{ser} = 520$ N/mm [SIA 265/1-C1:2021]
 - GFP: $K_{ser} = 860$ N/mm [SIA 265/1-C1:2021]
- Steifigkeit der Zugverankerungen
 - $K_{ser} = F_{Rd, kurzzeitig} / 1$ mm (als Vereinfachung)
- Globale Steifigkeitserhöhung von Faktor 1,4

Abgleich MFH in Holzrahmenbauweise



(Bildquelle: Steiger et. al., 2017)

Ermittlungsart	T_1 [s]	
SIA265:2003 und SIA265/1:2009	1,00	: 4,0
LAAVT	0,25	
LAAVT (Interpretation*)	0,50	: 1,3
Nachrechnung (angepasste Steifigkeit)	0,66	
$T_{1,max} = 2 \cdot T_{1,est} = 2 \cdot 0,05 \cdot 11,5 \text{ m}^{0,75} \approx$	0,6	

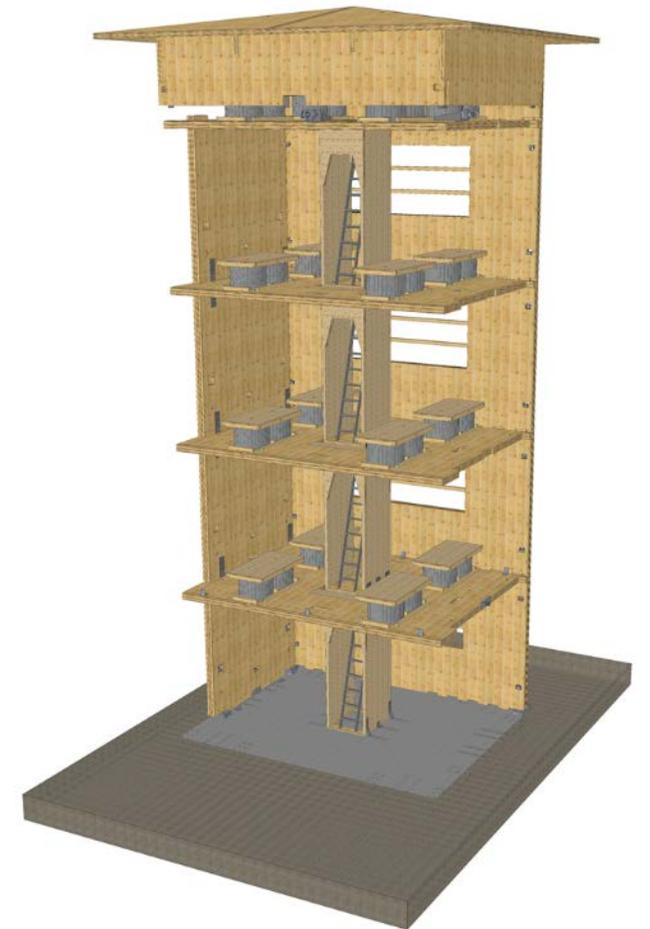
* Amplitudenkorrektur: 1,5x ; Massenkorrektur 1,35x

Abgleich Simulation - Experiment

Testgebäude Dynamische Eigenschaften von Brettsperrholzbauten (Vauffelin, BE)

Abgleich Testgebäude

- Auswertung noch nicht abgeschlossen (Stand Juni 2022)
- Leitfaden soll noch 2022 veröffentlicht werden
- Ergebnisse ähnlich wie für Holzrahmenbauten:
 - Werden die effektiven Steifigkeiten angesetzt, lässt sich die Grundswingzeit gut abschätzen
- Bezüglich T_1 liegen hohe Steifigkeitswerte auf der sicheren Seite



Fazit und Ausblick

Dynamische Eigenschaften von Holzrahmen- und Brettsperrholzbauten

Empfehlungen

- Gl. 261.40 $T_1 = 2 \cdot \sqrt{u}$ bei mehrgeschossigen Bauwerken nicht verwenden
- Ansetzen der Steifigkeitswerte gemäss den aktuellen Normen (inkl. Korrigenda)
- Beachten, dass hohe Steifigkeitswerte auf der sicheren Seite liegen (z.B. G-Modul von CLT)
- Globale Steifigkeitserhöhung von mindestens 40 % vornehmen
- Einhalten der Begrenzung auf $2 \cdot T_{1,est}$ (NBCC 2010, prEN 1998, Lignatec 32/2020), gilt auch für computergestützte Berechnung (globale Steifigkeitserhöhung erforderlich)

Offene Fragen und *Folgeprojekte*

- Erfassung des Einflusses der Lasteinwirkungsdauer auf die Steifigkeit
- Berücksichtigung der Dämpfung
 - *Projekt Wände mit Öffnungen, AP6b*
- Berücksichtigung der «nicht aussteifenden Elemente» d.h. Elemente, die bei der Berechnung der Grundschwingzeit unberücksichtigt bleiben, aber dennoch zur Aussteifung beitragen können (unberücksichtigte Wände bzw. Wandbereiche, Bauteile für die vertikale Lastabtragung, Ausbau, Installationen)
 - *Projekt Leitfaden zur Ermittlung der Grundschwingzeit von Holzbauten*

Weiterbildung Erdbebensichere Holzbauten

Weiterbildung Erdbebenerechte Holzbauten

Weiterbildungskurs



F
H

Hauptfachhochschule

Foto: Video Ventura

Kurs
Erdbebenerechte Holzbauten

Holen Sie sich das Fachwissen zur Erdbebensicherheit und wirken Sie bereits in der Entwurfsphase entscheidend mit, effiziente Holztragwerke umzusetzen.

Abschlusskompetenzen

- Vertiefung von Fachwissen hinsichtlich der Besonderheiten von Tragwerken unter seismischer Beanspruchung
- Kenntnisse über die relevanten Normen, Ordnungen und Berechnungsverfahren
- Fähigkeit zur kritischen Beurteilung einer Erdbebenberechnung und zweckmässiger Schlussfolgerung

Zielpublikum
Der Weiterbildungskurs richtet sich an praktizierende Holzingenieur*innen und Bauingenieur*innen.

Kursleiter
Prof. Martin Geiser, Professor für Erdbebeningenieurwesen, Berner Fachhochschule

Weitere Informationen
bfh.ch/ahb/erdbebenerechte_holzbauten

Partner

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun Svizra

Marktübersicht für Schweiz 2020

ste

swiss timber engineers

SGEB

Logo of the Swiss Society for Timber Engineering and Wood Construction

Logo of the Swiss Society for Timber Engineering and Wood Construction

Logo of the Swiss Society for Timber Engineering and Wood Construction

Steckbrief

Titel/Abschluss
Kursbestätigung BFH Erdbebenerechte Holzbauten

Anzahl ECTS
6 ECTS-Credits

Zulassungsbedingungen
Hochschulabschluss oder «sur dossier»

Nächste Durchführung
1. September 2022 bis 24. März 2023

Dauer/Umfang
Insgesamt 8 Präsenzkurstage und 2 optionale Tage für Projektarbeiten

Kosten
CHF 5'200.- inkl. Mittagessen

Ort
Biel, Onlineteilnahme auf Anfrage teilweise möglich

Auskunft, Beratung und Anmeldung
Danja Brechbühler, +41 31 848 58 95
danja.brechbuehler@bfh.ch

Architektur, Holz und Bau

- 5. Durchführung 22/23
- Für Holz- und Bauingenieure
- Neuste Forschungserkenntnisse fliessen ein
- 8 Kurstage in Präsenz
- 2 optionale Arbeitstage mit Betreuung
- 01.09.2022 – 24.03.2023
- Unterrichtsprache d (viele Dozierende sprechen auch f/e)
- Noch freie Plätze
- Anmeldefrist 31. Juli 2022

Danksagung

Danksagung

- ▶ Danke an das Bundesamt für Umwelt, Koordinationsstelle Erdbebenvorsorge!
- ▶ Danke an die Projektpartner!
- ▶ Danke für Ihre Aufmerksamkeit!



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

Projekt Dynamische Eigenschaften von Holzrahmenbauten (Testgebäude Chamoson VS)



Projekt Dynamische Eigenschaften von Brettsperrholzbauten (Testgebäude Vauffelin BE)

