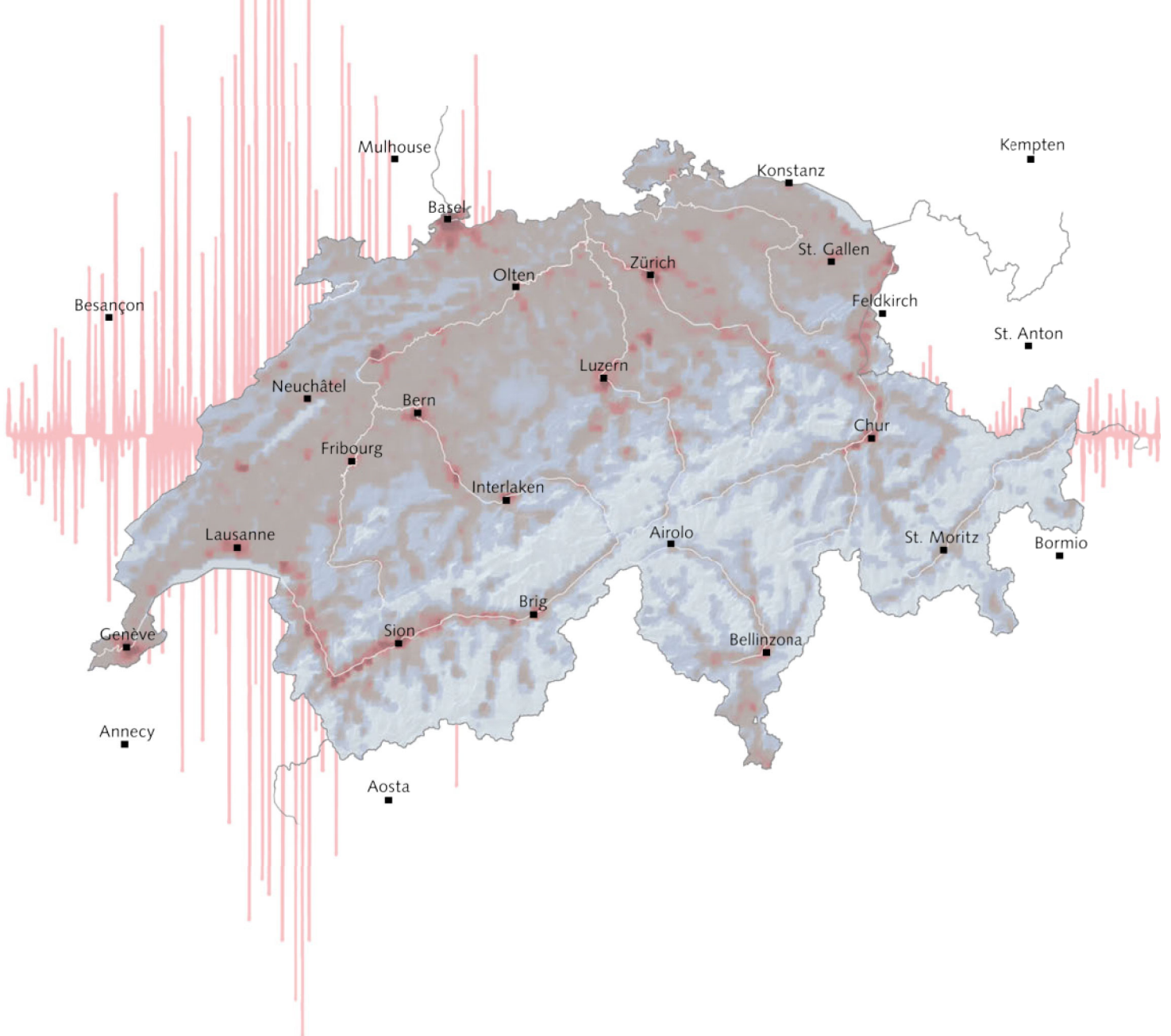
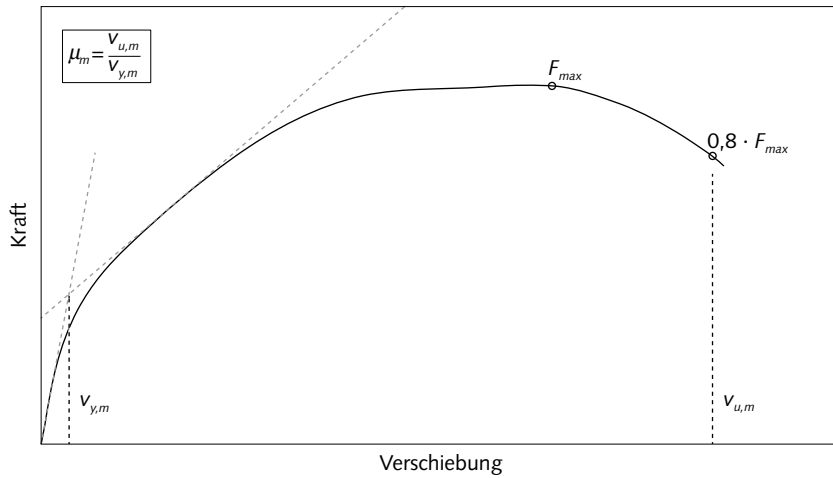


Erdbebengerechte Holzbauten

Korrigenda zur Erstauflage



Figur 47
Definition der monotonen
Duktilität gemäss
SN EN 12512. [26]

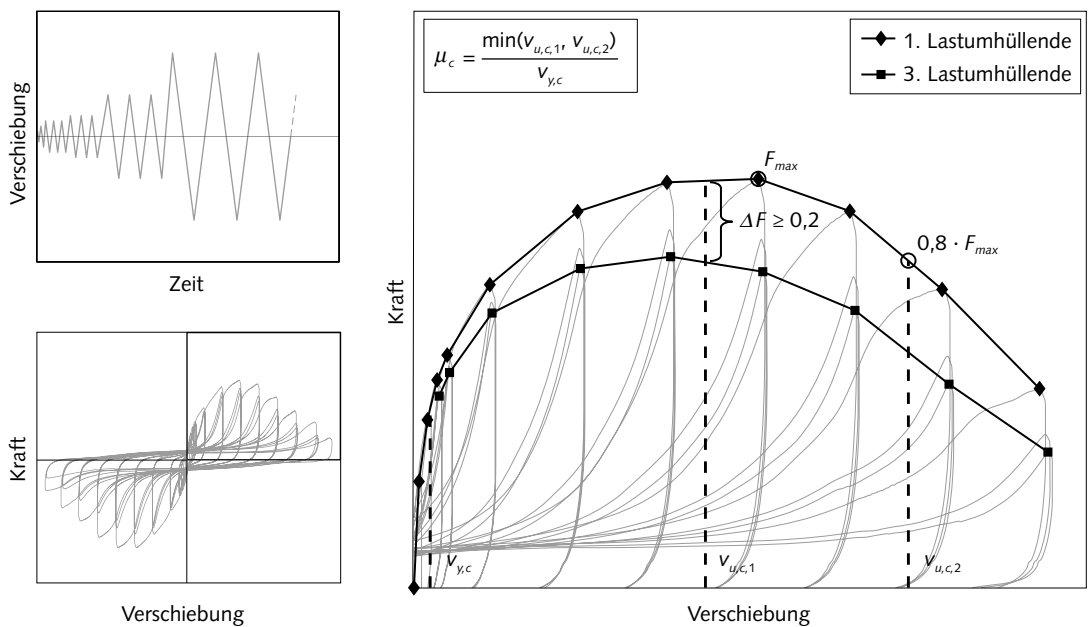


In der Figur 48 ist die Definition der zyklischen Duktilität μ_c dargestellt, welche sich aus dem Verhältnis der zyklischen Grenzverschiebung $v_{u,c}$ zur zyklischen Fließverschiebung $v_{y,c}$ ergibt. Die zyklische Grenzverschiebung ergibt sich aus dem kleineren Wert der Verschiebung $v_{u,c,1}$ bei einer Degradation von der ersten zur dritten Lastum-

hüllenden von 20% und der Verschiebung $v_{u,c,2}$ bei einer Abnahme der ersten Lastumhüllenden von 20% nach dem Erreichen der Höchstlast F_{max} . Bei der Ermittlung der zyklischen **Grenzverschiebung** gelten dieselben Grundlagen wie bei der Ermittlung der monotonen **Grenzverschiebung** gemäss SN EN 12512. [26]

Korrektur: Fließverschiebung

Figur 48
Definition der zyklischen
Duktilität mit Darstellung
des Verschiebung-Zeit-
diagramms (oben links),
welches gemäss Norm
SN EN 12512 [26] als
Belastungsprotokoll in
Versuchen angewandt
wird. Unten links ist das
komplette resultierende
Kraft-Verschiebungsdi-
agramm der Verbindung
zu sehen. Rechts wird die
Ermittlung der zyklischen
Duktilität dargestellt.



Bemessungsspektrum für Grundschiwingzeiten im Plateaubereich:

SIA 261 Formel (261.32),
Tabellen (261.24),
(261.25), (265.14 bzw.
Figur 71)

$$S_d = 2,5 \cdot \gamma_f \cdot \frac{a_{gd}}{g} \cdot \frac{S}{q} = 2,5 \cdot 1,0 \cdot \frac{1,0 \text{ m/s}^2}{9,81 \text{ m/s}^2} \cdot \frac{1,7}{1,5} = 0,289$$

mit:

- γ_f = Bedeutungsfaktor
- a_{gd} = Bemessungswert der horizontalen Bodenbeschleunigung
- g = Erdbeschleunigung
- q = Verhaltensbeiwert
- S = Parameter zur Bestimmung des elastischen Antwortspektrums
- S_d = Ordinatenwert des Bemessungsspektrums

Berechnung der horizontalen Ersatzkraft:

SIA 261 Formel (261.41)

$$F_d = S_d(T_1) \cdot \sum_j (G_k + \sum \psi_2 \cdot Q_k)_j = 0,289 \cdot 861 \text{ kN} = 249 \text{ kN}$$

Ermittlung der horizontalen Ersatzkraft infolge der Erdbeibeneinwirkung unter Berücksichtigung der Torsionsmomente

Da die aussteifenden Elemente in beide Hauptrichtungen symmetrisch angeordnet sind, wird an dieser Stelle die Torsion aus zufälliger Exzentrizität gemäss Norm SIA 261 Ziffer 16.5.2.7 näherungs-

weise mit einer pauschalen Erhöhung der Kraft um 5 % berücksichtigt, was auf der Annahme einer starren Dachscheibe beruht. Daraus ergibt sich eine Horizontalkraft pro Aussteifungsfeld von:

$$F_{d,E} = \frac{F_d}{4} \cdot 1,05 = \frac{249 \text{ kN}}{4} \cdot 1,05 = 65 \text{ kN}$$

Ermittlung der Ersatzkraft infolge von Stabilisierung, Wind und Torsion

Die Stützen der Aussenwände bilden das Auflager der Brettschichtholzträger der Dachkonstruktion. Die Ermittlung der Einwirkung $F_{d,S}$ der seitlichen

Abstützung unter der Annahme einer unverschieblichen Lagerung kann vereinfachend wie folgt ermittelt werden:

Massgebende Bemessungssituation:

Eigenlast + Auflast + Leiteinwirkung Wind + Begleiteinwirkung Schnee

$$Q_d = \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{k,W} + \psi_0 \cdot Q_{k,S}$$

mit G_k aus der Auflast des Dachtragwerkes, dem Dachaufbau und der Eigenlast der Aussenwände:

$$G_k = A \cdot q_{k,D} + 2 \cdot (B + L) \cdot H \cdot g_{k,AW} \quad \text{Korrektur}$$

Korrektur: g

$$G_k = 16,3 \text{ m} \cdot 20,3 \text{ m} \cdot 2,3 \text{ kN/m}^2 + 2 \cdot (16,3 \text{ m} + 20,3 \text{ m}) \cdot 7,0 \text{ m} \cdot 0,39 \text{ kN/m}^2$$

$$G_k = 961 \text{ kN}$$

mit $Q_{k,S}$ aus der Schneelast als Begleiteinwirkung mit:

$$Q_{k,S} = A \cdot q_{k,S}$$

$$Q_{k,S} = 16,3 \text{ m} \cdot 20,3 \text{ m} \cdot 2,1 \text{ kN/m}^2 = 695 \text{ kN}$$

$$\psi_0 = 1 - \frac{60}{820} = 0,93$$

Überprüfung bezüglich Berücksichtigung von Effekten 2. Ordnung

Gemäss Kapitel 7.4.4 und 7.4.5 muss überprüft werden, ob im Lastfall Erdbeben Effekte 2. Ordnung berücksichtigt werden müssen. In diesem Anwendungsbeispiel wurde zur Ermittlung des Empfindlichkeitswerts θ die gegenseitige Stockwerksverschiebung der Aufstockung aus dem

Tragwerksmodell berücksichtigt. Selbst bei einem Steifigkeitssprung von 200 liegt der Empfindlichkeitswert θ deutlich unter 0,1, weshalb Effekte 2. Ordnung im Lastfall Erdbeben nicht berücksichtigt werden müssen.

Zusammenfassung der Ergebnisse und Vergleich der Berechnungsmethoden

Bild 10.3-4 zeigt die Ergebnisse der Untersuchungen in einer Übersicht. Dabei ist zu beachten, dass die Steifigkeitssprünge von den Beispielwänden aus Figur 29 abgeleitet wurden. Dargestellt sind die Ergebnisse der Handrechnungen mit der Formel für sekundäre Bauteile und diejenigen der Ersatzkraftverfahren (EKV) mit unterschiedlicher Annahme des Einbindungshorizonts. Die ausgezogene, schwarze Kurve zeigt die Ergebnisse der Berechnungen für unterschiedliche Steifigkeitssprünge mit dem Antwortspektrenverfahren (ASV). Die beiden plausiblen Bereiche für die Brettsperrholz-

bzw. Holzrahmenbauweise sind farblich dargestellt. Wird die Aussteifung der Aufstockung in Brettsperrholz ausgeführt, ergibt sich in diesem Fall ein zu erwartender Bereich des Steifigkeitssprungs zwischen ungefähr Faktor 2 und Faktor 10. Wird die Aufstockung mit Holzrahmenbauwänden ausgeführt, kann der Steifigkeitssprung zwischen Faktor 7 und 130 liegen. Schliesslich wird zum Vergleich noch das Ergebnis aus dem Lastfall Wind inklusive der Abtriebskraft aufgrund der Schiefstellung (y-Richtung) dargestellt.

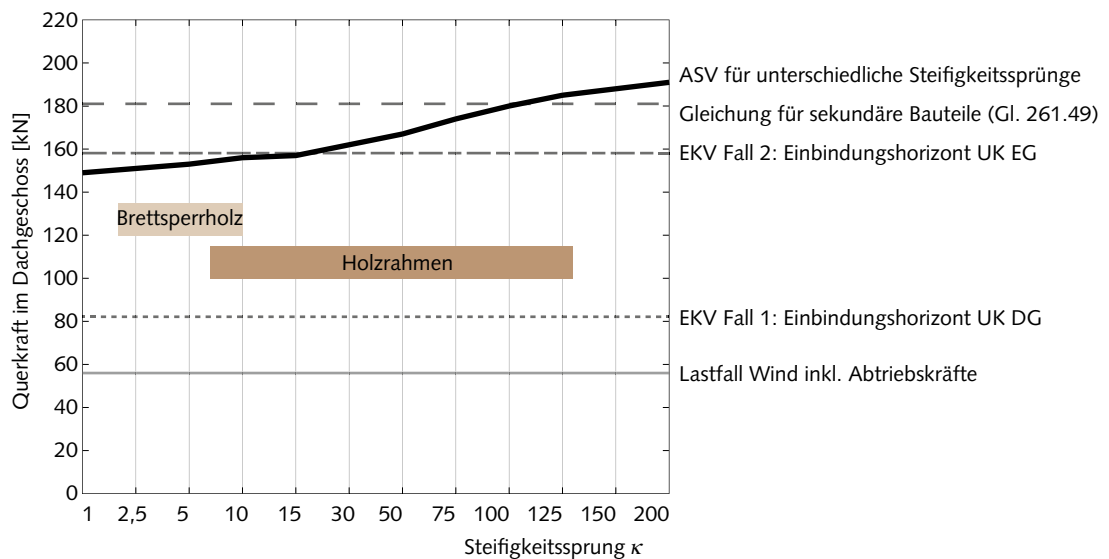


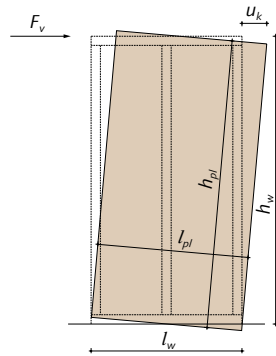
Bild 10.3-4

Vergleich der Ergebnisse der unterschiedlichen Berechnungsmethoden. Ergänzung: Es gilt zu beachten, dass es bei längeren Wandelementen zu deutlich grösseren Steifigkeitssprüngen kommen kann, die von Fall zu Fall zu untersuchen sind. Figur 10.3-4 zeigt den Steifigkeitssprung für eine Wandlänge von 1,25 m.

Mit steigendem Steifigkeitssprung nimmt die Einwirkung auf die Aufstockung zu. Die Querkraft im Dachgeschoss liegt in einem Bereich zwischen 149 kN ($\kappa = 1$) und 191 kN ($\kappa = 200$). Bis zu einem Steifigkeitssprung von ca. Faktor 100 resultiert beim ASV eine geringere Querkraft im Dachgeschoss als die Querkraft ermittelt nach der Formel für sekundäre Bauteile. Die Querkraft, welche sich nach dem EKV unter Berücksichtigung des Einbin-

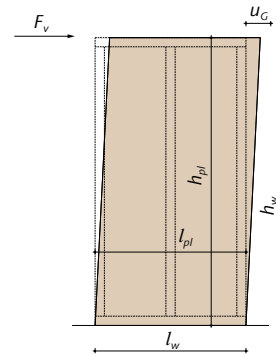
dungshorizonts am Fundament ergibt, ist bis zu einem Steifigkeitssprung von Faktor 15 grösser als die Querkraft aus dem ASV. Die mit dem EKV unter Berücksichtigung des Einbindungshorizonts am Stockwerksübergang ermittelte Querkraft liegt nur bei etwa 43–55 % derjenigen aus dem ASV. Die maximale Querkraft aus der Bemessungssituation Wind und Abtriebskräfte beträgt nur rund 36 % der kleinsten Querkraft aus dem ASV.

Verformungsanteil infolge Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel



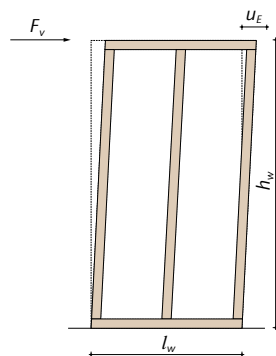
$$u_k = s_0 \cdot \frac{a_v}{K_{ser} \cdot n_B \cdot n_{VR} \cdot l_w} \cdot (2 \cdot h_w \cdot n_{pl} + 2 \cdot l_w \cdot n_{ph}) \quad (38)$$

Verformungsanteil infolge der Schubverformung der Beplankung



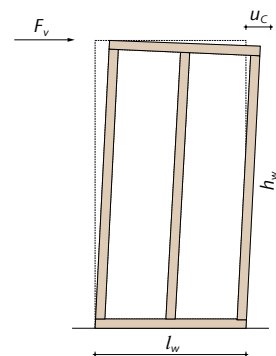
$$u_G = s_0 \cdot \frac{h_w}{G_{0,mean} \cdot t \cdot n_B} \quad (39)$$

Verformungsanteil infolge von Normkraftbeanspruchung der Rippen



$$u_E = s_0 \cdot \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{l_w^2}{E_{0,mean} \cdot A_{KF}} + \frac{h_w^2}{E_{0,mean} \cdot A_{Ri}} \cdot \frac{h_w}{l_w} \right) \quad (40)$$

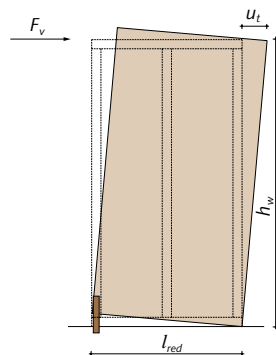
Verformungsanteil infolge von Eindrückung der Fussrippe rechtwinklig zur Faserrichtung



Korrektur:

$$u_C = 1 \text{ mm} \cdot \frac{s_{0,k}}{f_{c,90,k}} \cdot \frac{h_w}{A_{ef}} \cdot \frac{h_w}{l_w} \quad (41)$$

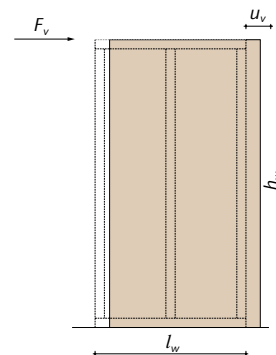
Verformungsanteil infolge von Nachgiebigkeit der Zugverankerung



Korrektur:

$$u_t = \frac{s_0 \cdot l_w \cdot h_w}{l_{red}} \cdot \frac{1}{K_{ser,Z}} \cdot \frac{h_w}{l_w} \quad (42)$$

Verformungsanteil infolge von Nachgiebigkeit der Schubverankerung



$$u_v = \frac{s_0 \cdot l_w}{K_{ser,V} \cdot n_{VS}} \quad (43)$$

Drehfeder zur Berücksichtigung der Verankerung und Anschlüsse

$$K_{DF,i} = 2 \cdot K_{ser} \cdot \left(\frac{l_{red}}{2} \right)^2 \quad (57)$$

mit:

 $K_{DF,i}$ = Drehfedersteifigkeit der Verankerung bzw. der Anschlüsse [kNm/rad] K_{ser} = Verschiebungsmodul der Verankerung und der Anschlüsse [kNm] Korrektur: kN/m l_{red} = effektiver Abstand der Verankerung und der Anschlüsse [m]**Steifigkeiten des Ersatzstabes in den zwei Hauptrichtungen**

Soll die Grundschwingzeit für ein Bauwerk anhand eines Ersatzstabes pro Hauptrichtung ermittelt werden, müssen die Wandscheiben in den jeweiligen Richtungen x und y zu jeweils einem Stab zusammengefasst werden. Die Ersatz-E-Moduln, Ersatz-G-Moduln und Drehfedersteifigkeiten können mit den nachfolgenden Gleichungen ermittelt werden.

Ersatzelastizitätsmodul eines Ersatzstabes

$$E_{Ersatz,x,y} = \frac{\sum_{i=1}^n E_{Ersatz,i} \cdot l_{w,i}^3}{l_{Ersatz,x,y}^3} \quad (58)$$

mit:

 $E_{Ersatz,x,y}$ = Elastizitätsmodul des Ersatzstabes für einen eingespannten Kragarm [N/mm²] $E_{Ersatz,i}$ = Elastizitätsmodul der Wandscheibe für einen eingespannten Kragarm [N/mm²] $l_{w,i}$ = Länge der Wandscheibe [mm] $l_{Ersatz,x,y}$ = Ersatzlänge der Wandscheibe [mm]**Ersatzschubmodul eines Ersatzstabes**

$$G_{Ersatz,x,y} = \frac{\sum_{i=1}^n G_{Ersatz,i} \cdot l_{w,i}}{l_{Ersatz,x,y}} \quad (59) \quad \text{Korrektur: ohne Exponent 3}$$

mit:

 $G_{Ersatz,x,y}$ = Schubmodul des Ersatzstabes für einen eingespannten Kragarm [N/mm²] $G_{Ersatz,i}$ = Schubmodul der Wandscheibe für einen eingespannten Kragarm [N/mm²] $l_{w,i}$ = Länge der Wandscheibe [mm] $l_{Ersatz,x,y}$ = Ersatzlänge der Wandscheibe [mm]**Ersatzdrehfedersteifigkeit der Verankerung bzw. des Anschlusses des Ersatzstabes**

$$K_{DF,x,y} = \sum_{i=1}^n K_{DF,i} \quad (60)$$

mit:

 $K_{DF,x,y}$ = Drehfedersteifigkeit der Verankerung bzw. der Anschlüsse [kNm/rad]

12 Literaturverzeichnis

- [1] <http://www.seismo.ethz.ch/de/knowledge/earthquake-hazard-and-risk/earthquake-risk-switzerland/components/> (Stand Juli 2023).
- [2] Grünthal, G., Stromeyer, D. (1992): The Recent Crustal Stress Field in Central Europe – Trajectories and Finite-element Modeling. *Journal of Geophysical Research* 97, Heft B8, S. 11805–11820.
- [3] <http://www.seismo.ethz.ch/de/earthquakes/monitoring/> (Stand Juli 2023).
- [4] Grünthal, G. (2020): Kernteil der Europäischen Makroseismischen Skala (EMS-98) in deutscher Übersetzung. Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam.
- [5] Norm SIA 261 (2020): Einwirkungen auf Tragwerke. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.
- [6] <https://map.geo.admin.ch> (Stand Juli 2023).
- [7] BAFU (2023): Karte der seismischen Baugrundklassen nach der Baunorm SIA 261, <https://opendata.swiss/de/dataset/karte-der-seismischen-baugrundklassen-nach-der-baunorm-sia-261> (Stand Juli 2023).
- [8] Bachmann, H. (2002): Erdbebensicherung von Bauwerken. Birkhäuser Verlag, Basel.
- [9] Norm SIA 265 (2021): Holzbau. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.
- [10] Chopra, A.K. (1995): *Dynamics of Structures*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- [11] Lestuzzi, P., Smith, I.F.C. (2023): *Dynamique des structures. Bases et applications pour le génie civil*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne.
- [12] Bundesamt für Umwelt (BAFU) und Stiftung für Baudynamik und Erdbebeningenieurwesen (2021): Erdbeibengerechte Neubauten in der Schweiz. Worauf es ankommt – und warum, <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/naturgefahren/publikationen-studien/publikationen/erdbeibengerechte-neubauten-in-der-schweiz.html> (Stand Juli 2023).
- [13] Bachmann H. (2002): Erdbeibengerechter Entwurf von Hochbauten – Grundsätze für Ingenieure, Architekten, Bauherrn und Behörden. Bundesamt für Wasser und Geologie BWG, Bern.
- [14] Norm SIA 112 (2014): Modell Bauplanung. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.
- [15] Norm SIA 260 (2013): Grundlagen der Projektierung von Tragwerken. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.
- [16] Müllers, I. (2007): Zur Robustheit im Hochbau. Diss. ETH Zürich.
- [17] BAFU (2023): Erdbebensicherheit sekundärer Bauteile und weiterer Installationen und Einrichtungen., Empfehlungen und Hinweise für die Praxis. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- [18] Norm SIA 265/1 (2018): Holzbau – Ergänzende Festlegungen. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.
- [19] Lignum (2020): Brettsperrholz aus Schweizer Produktion. Lignum – Holzwirtschaft Schweiz, Zürich.
- [20] Lestuzzi, P., Badoux, M. (2008): *Génie parasismique, Conception et dimensionnement des bâtiments*. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne.
- [21] Norm SN EN 1998-1 (2004): Eurocode 8 – Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1, Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.
- [22] Schönbächler, N., Schori, M. (2022): Dämpfung Holztragwerke. Projektarbeit BFH-AHB, Biel.
- [23] Bernasconi, A. (2007): Cours postgrade de génie parasismique, Module 2, Dimensionnement, structures neuves et méthodes spécifiques – Constructions en bois. heig-vd/HES- SO, Yverdon-les-Bains.
- [24] Oberbach, U., Geiser, M. (2021): Dynamische Eigenschaften von Gebäuden in Holzrahmenbauweise. S-WIN-Tagung 2021, Biel.
- [25] Dubas, P. (1981): Einführung in die Norm SIA 164 (1981) – Holzbau. Autographie, ETH Zürich.
- [26] Norm SN EN 12512:2001/A1:2005 (2006): Holzbauwerke – Prüfverfahren – Zyklische Prüfungen von Anschlüssen mit mechanischen Verbindungsmitteln – Änderung A1 zur Norm EN 12512:2001. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.
- [27] Johansen, K. W. (1949): *Theory of timber connections*. IABSE 9.
- [28] Kramer, L., Furrer, L., Geiser, M. (2023): Bemessung von Holzrahmenbau-Wänden mit Gipsfaserbeplankung. S-WIN-Tagung 2023, Biel.
- [29] Geiser, M., Maître, K. (2021): Hochduktile Verankerungen für den Holzbau. S-WIN-Tagung, Biel.
- [30] Maître, K., Lestuzzi, P. & Geiser, M. (2023): Experimental investigations of a new highly ductile hold-down with adaptive stiffness for timber seismic bracing walls, *Bull Earthquake Eng* 21, S. 2603–2634.
- [31] Geiser, M., Bergmann, M., Follesa, M. (2021): Influence of steel properties on the ductility of doweled timber connections. *Construction and Building Materials* 266, Article 121152.
- [32] Geiser, M., Meier, S., Ratsch, G., Vogel, M. (2019): Duktile Erdbeibembemessung – Abklärungen zur Erdbeibembemessung von Holzbauelementen nach dem Konzept des duktilen Tragwerksverhaltens. BAFU, Bern.
- [33] Geiser, M., Furrer, L., Kramer, L., Blumer, S., Follesa, M. (2022): Investigations of connection detailing and steel properties for high ductility doweled timber connections. *Construction and Building Materials* 324, Article 126670.
- [34] Norm SIA 262 (2013): Betonbau. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.
- [35] Norm SN EN 1995-1-1 (2004): Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.
- [36] prEN 1998-1-2 (2023): Working draft from 11.07.2023. Eurocode 8-Design of structures for earthquake resistance – part 1-2: Buildings. CEN/TC 250/SC 8/WG 3.
- [37] Wolfsberg, B. (2023): Dämpfungsmass von Holzverbindungen. Bachelorthesis an der Berner Fachhochschule BFH-AHB, Biel.
- [38] European Assessment Document-EAD-330232-01-0601 (2019): Mechanical fasteners for use in concrete. European Organisation for Technical Assessment, Brüssel.
- [39] Dokumentation SIA D 0181 (2003): Grundlagen der Projektierung von Tragwerken – Einwirkungen auf Tragwerke – Einführung in die Normen SIA 260 und 261. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.
- [40] Dokumentation SIA D 0185 (2003): Holzbau – Einführung in die Norm SIA 265. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.
- [41] Dokumentation SIA D 0235 (2010): Holzbau – Ergänzende Festlegungen Norm SIA 265/1, Bauteile aus Holzwerkstoffen, Bemessungskonzept und Beispiele. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.
- [42] National Research Council Canada (2010): *National Building Code of Canada*, Ottawa.