

IGF-Vorhaben Nr. 19260N

Thema

Entwicklung einer Methode für die zuverlässige und einfache Bewertung der Erdbbensicherheit ein- bis vier-geschossiger Holzbauten sowie einfacher Hallen-tragwerke in Zonen geringer und mittlerer Seismizität

Berichtszeitraum

01.01.2017 - 31.03.2020

Forschungsvereinigung

Internationaler Verein für technische Holzfragen e.V.

Forschungsstelle

Prof. Dr.-Ing. Werner Seim
Universität Kassel
Institut für Konstruktiven Ingenieurbau
Fachgebiet Bauwerkserhaltung und Holzbau

Projektbearbeitung

Sascha Schwendner, M.Sc.

OptimberquakeCheck – Methodik

Tragwerke in Holzbauweise besitzen sehr gute Eigenschaften hinsichtlich der möglichen Verformbarkeit bis zum Versagen und der Energiedissipation, wenn das Tragwerkskonzept und die Details gut aufeinander abgestimmt sind. Diese Eigenschaften sind besonders bei Erdbebeneinwirkungen wichtig, um die Standsicherheit der Struktur gewährleisten zu können. In der Praxis stellt der Entwurf und die Umsetzung erdbebengerechter Gebäude mit einer guten Energiedissipation eine große Herausforderung dar – insbesondere für Ingenieure, die nur gelegentlich mit einer seismischen Einwirkung konfrontiert werden. Die hier neu entwickelte Methodik ermöglicht eine vereinfachte Bemessung der aussteifenden Wände gegenüber Erdbebeneinwirkungen mit einer erdbebengerechten Detailierung der Konstruktion von typischen Bauweisen im Ingenieurholzbau. Grundlage ist *DIN EN 1998-1:2004/A1:2013* (EC8) mit dem zugehörigen nationalen Anhang (EC8/NA) sowie durchgeführte experimentelle Untersuchungen. Insgesamt sind sechs Einzelschritte durchzuführen, um eine Struktur gegenüber einer Erdbebeneinwirkung nachzuweisen. Diese Schritte sind in Abbildung 1 dargestellt.

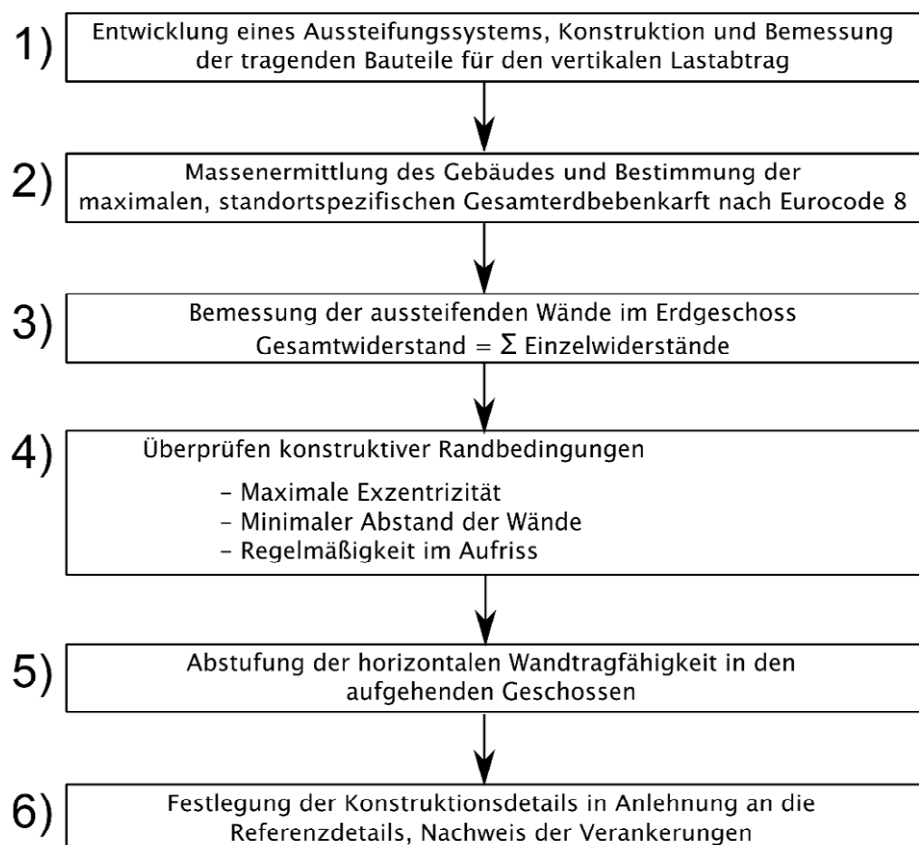


Abbildung 1: Ablaufschema der Methodik

Bei einem Vorgehen nach diesem Schema ist es möglich, ein duktilen Verhalten der Konstruktion mit einer hohen Energiedissipation zu erzielen und die normativ geregelten Verhaltensbeiwerte anzusetzen. Durch Berücksichtigung der Regeln für die Kapazitätsbemessung bei der Auslegung der nicht-duktilen Bereiche wird sichergestellt, dass möglichst viel Energie während der Einwirkung dissipiert wird. Diese Methodik wurde für Tragwerke mit bis zu vier Geschossen mit einem Aussteifungssystem in Holztafelbauweise oder Brettsper Holzbauweise entwickelt und verifiziert. In Abbildung 2 sind die duktilen sowie die nicht-duktilen Elemente einer Wandtafel und einer aussteifenden Wandscheibe aus Brettsper Holz dargestellt.

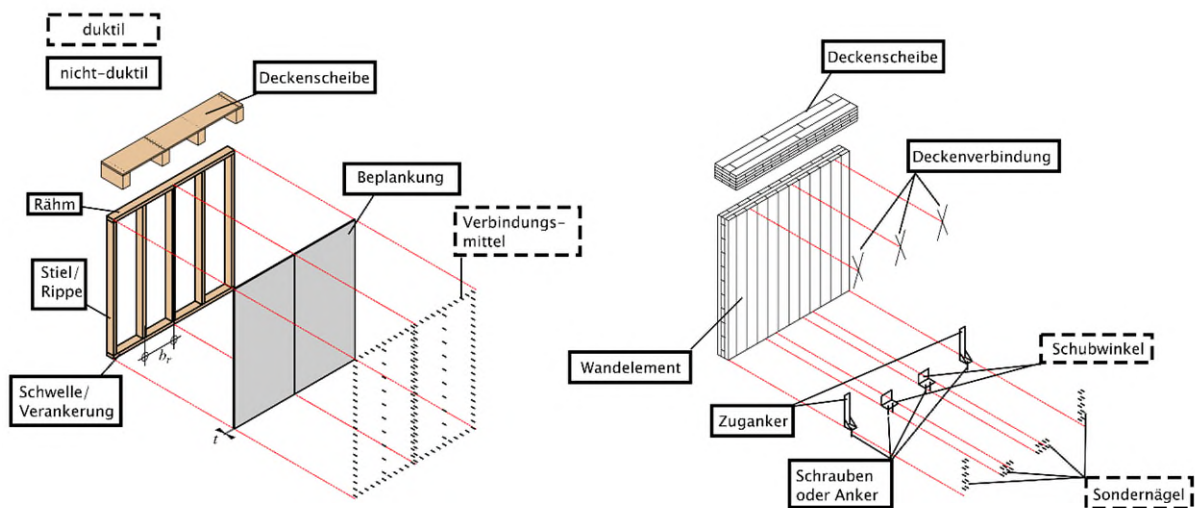


Abbildung 2: Duktile und nicht duktile Elemente einer Wandtafel (links) und einer aussteifenden Wandscheibe aus Brettsper Holz (rechts)

Über die entwickelten *Bemessungstabellen für Wandtafeln* oder das entwickelte *Bemessungsschema für aussteifende Wandscheiben aus Brettsper Holz* ist eine Konstruktion der Wandscheiben zu wählen. Der erforderliche Schubfluss $s_{v,0,d,erf}$ in den Wandscheiben kann über die Gleichungen (1) und (2) ermittelt werden. Es sollte eine Ausführungsvariante gewählt werden, deren vorhandener Schubfluss $s_{v,0,d}$ möglichst nahe an dem erforderlichen Schubfluss $s_{v,0,d,erf}$ liegt. Die Tragfähigkeit $R_{d,duc,i}$ jeder einzelnen aussteifenden Wandscheibe gegenüber einer horizontalen Einwirkung kann nach der Gleichung (3) bzw. (4) ermittelt werden.

$$s_{v,0,d,x} \geq s_{v,0,d,x,erf} = \frac{F_{d,b,x}}{\sum L_{w,x,i}} \quad (1)$$

$$s_{v,0,d,y} \geq s_{v,0,d,y,erf} = \frac{F_{d,b,y}}{\sum L_{w,y,i}} \quad (2)$$

$$R_{d,x,duc,i} = L_{w,x,i} \cdot s_{v,0,d,x} \quad (3)$$

$$R_{d,y,duc,i} = L_{w,y,i} \cdot s_{v,0,d,y} \quad (4)$$

Validierung

Bei der Validierung dieser Methodik wurde ein elastisch ideal-plastisches Tragverhalten der Aussteifungselemente angesetzt. Im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) kann davon ausgegangen werden, dass sich die Aussteifungselemente in der nachgewiesenen Hauptrichtung im plastischen Bereich befinden. Somit ist keine Betrachtung der Anfangssteifigkeiten erforderlich und die Aussteifungselemente können die maximale Tragfähigkeit erreichen. Die Tragfähigkeiten können somit aufsummiert und der Erdbebeneinwirkung gegenübergestellt werden. Um eine Torsionssteifigkeit im Grundriss zu gewährleisten, sind senkrecht zur Einwirkungsrichtung mindestens zwei Wände erforderlich, die sich ausschließlich im elastischen Bereich befinden. Um Exzentrizitäten aufnehmen zu können, sind die Wände in Querrichtung mit einem ausreichend großen Abstand zueinander im Grundriss anzuordnen. Das hierfür entwickelte Interaktionsdiagramm ist in Abbildung 3 dargestellt.

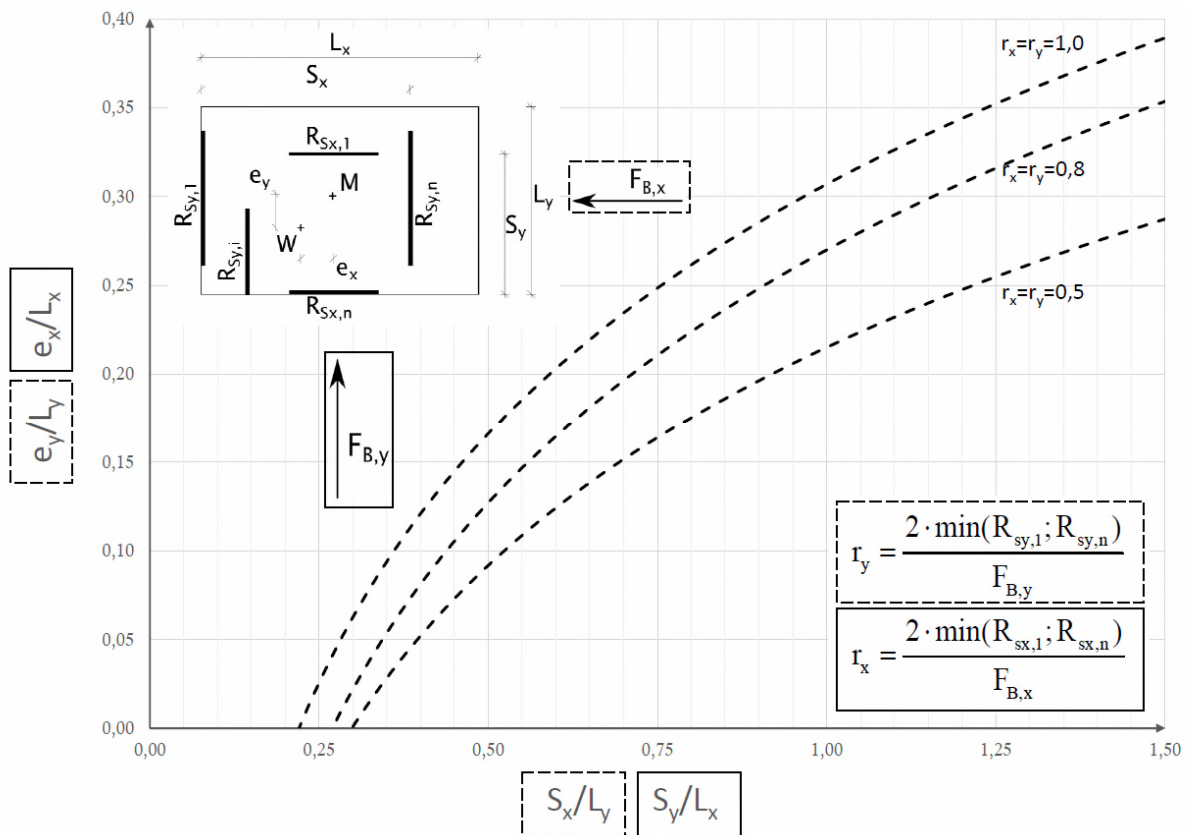


Abbildung 3: Interaktionsdiagramm für die Bestimmung der zulässigen Exzentrizitäten im Erdgeschoss

Es konnte nachgewiesen werden, dass eine Verteilung der Einwirkungen linear zur Höhe im Rahmen dieser Methodik zulässig ist. Eine Verteilung proportional zur Masse und Höhe oder entsprechend der 1. Eigenform der Struktur ist ebenfalls möglich.

Anwendungsgrenzen

Um die Methodik verifizieren zu können, wurden Randbedingungen in enger Abstimmung mit dem projektbegleitenden Ausschuss festgelegt.

- Die Struktur besitzt maximal vier Vollgeschosse.
- Das Aussteifungssystem wird einheitlich in Holztafelbauweise oder Brettspertholzbauweise ausgeführt.
- Tragende Aussteifungselemente haben mindestens eine Länge L_W von $0,25 H_W$, wobei H_W der lichte Abstand zwischen zwei horizontalen Scheiben (Decken oder Dach) darstellt.
- Die maximale Nutzlast beträgt 5 kN/m^2 .
- Die maximalen ständigen Lasten betragen 6 kN/m^2 .
- Die Deckenscheiben können als starr angenommen werden.
- Die Regelmäßigkeiten im Aufriss nach EC8 sind eingehalten.
- Die Massenverteilung im Aufriss ist gleichmäßig.
- Die Massen- und Widerstandszentren M und W im Aufriss liegen auf einer vertikalen Achse.
- Der Grundriss muss kompakt sein.
- Die Bemessung erfolgt im Rahmen des EC8
- Die Gründungsebene (Kellergeschoss, Fundament) kann als starr angenommen werden.

Leitfaden

In dem erstellten Leitfaden werden die einzelnen Arbeitsschritte für die Anwendung der entwickelten Methodik detailliert beschrieben. Im Zentrum steht die Anwendung der Kapazitätsbemessung. Nachfolgend sind beispielhaft Auszüge aus Arbeitsblättern dargestellt, welche mit einem Tabellenkalkulationsprogramm erstellt wurden. Dies soll verdeutlichen, dass die zahlreichen Arbeitsschritte einfach handhabbar und umzusetzen sind.

Tabellenblatt: Wandtafeln unter Erdbebeneinwirkung

Kapazitätsbemessung

Nachweis eines duktilen Versagens von Holztafelwänden

Pos:

Seite:



System

Wandabmessungen

L_W [mm]	5000
H_W^j [mm]	2850
b_r [mm]	825

Querschnitte Rahmen

	Rähm	Randrippen	Schwelle
b_{QS} [mm]	160	160	160
h_{QS} [mm]	120	120	80

Verankerungen

Tragfähigkeit $R_{k,qs}$ [kN]	
Zuganker	55
Schubanker	80

Bepankung

Typ	OSB 2/3
t [mm]	18
bepankt	einseitig

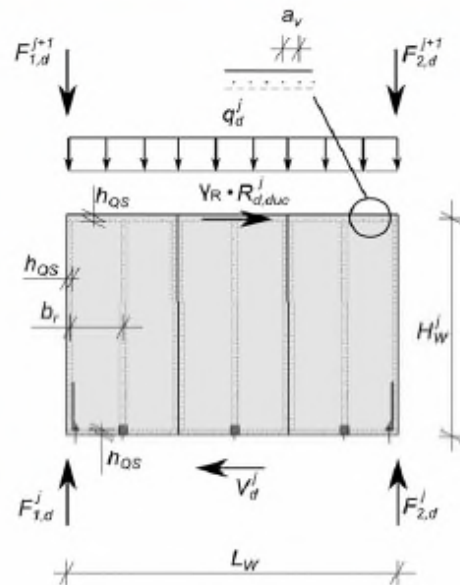
Verbindungsmittel

Typ	Nägel
d [mm]	2,8
l [mm]	65
$f_{u,k}$ [N/mm ²]	600
a_v [mm]	100

Belastung

q_d^j [kN/m]	20
$F_{1,d}^{j+1}$ [kN]	-10
$F_{2,d}^{j+1}$ [kN]	25

$F_{1,d}^j$ [kN]	-29,4
$F_{2,d}^j$ [kN]	56,9



Berechnungsparameter

$k_{mod-C24}$	1,1
$k_{mod-Bapl}$	1,1

γ_R	1,60
$\gamma_{r,VM}$	1,20
γ_M	1,00

Ergebnisse

1. Verbindungsmittel zw. Bepankung und Rahmen

Versagensart		$R_{d,VM}$ [N]
Lochleibung Bepankung	(br)	2340
Lochleibung Rahmen	(br)	3051
Schiefstellung VM	(br)	1180
1 Fließgelenk (+LL Bepl.)	(duc)	842
1 Fließgelenk (+ LL Ra.)	(duc)	1282
2 Fließgelenke (+ LL)	(duc)	812

$R_{d,duc,VM} \cdot \gamma_{r,VM} \leq R_{d,br,VM}$ – Duktiles VM-Versagen.

$R_{d,duc} = 45,03 \text{ kN}$

$\eta [-] R_{d,br} \geq R_{d,duc} \cdot \gamma_R$

2. Schub-/Zugtragfähigkeit der Bepankung	0,32	erfüllt
3. Beultragfähigkeit der Bepankung	0,08	erfüllt
4. Knicken der Rahmenhölzer	0,20	erfüllt
5. Querdruckversagen der Schwelle	0,88	erfüllt
6. Versagen des Zugankers	0,74	erfüllt
7. Versagen des Schubankers	0,82	erfüllt

$R_{d,br} \geq R_{d,duc} \cdot \gamma_R$ – Duktiles Bauteilversagen.

Die Berechnungen gelten für Rahmenhölzer aus KVH C24 und nicht vorgebohrte Verbindungsmittel.
Für Nägel wird ein Kopfdurchmesser $d_k = 2,5d$ angesetzt. Die Werte für Gipsfaserplatten sind der ETA-03/0050 entnommen.
Die Angaben erfolgen ohne Gewähr auf Vollständigkeit und Richtigkeit und sind durch einen im Holzbau erfahrenen Ingenieur zu prüfen.

Tabellenblatt: Wandscheiben aus Brettsper Holz unter Erdbeneinwirkung

Kapazitätsbemessung

Nachweis eines duktilen Versagens von BSP-Wänden

Pos: Seite:



System

Wandabmessungen		Brettlamellen	
L_w [mm]	3000	Dicke d [mm]	30
H_w^j [mm]	2850	Breite b [mm]	120
		n_{Lamellen} [-]	3

Stahlblech und Nägel

Schubwinkel

Anzahl n_{NAS} [-]	35
$t_{1,S}$ [mm]	2,5
$d_{\text{VM,S}}$ [mm]	4,0
$l_{\text{VM,S}}$ [mm]	80
$f_{u,k,S}$ [N/mm ²]	600

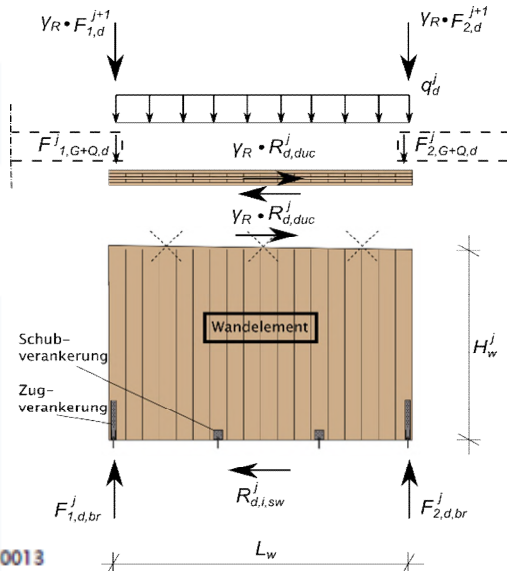
Anzahl $n_{\text{Schubwinkel}}$	4
$R_{k,\text{Ankarbolzen,Z}}$ [kN]	35
$R_{k,\text{Stahlblech,Z}}$ [kN]	25

Zuganker

$n_{\text{NA,Z1,erf}}$ (links) =	24
$n_{\text{NA,Z2,erf}}$ (rechts) =	9
$t_{1,Z}$ [mm]	2
$d_{\text{VM,Z}}$ [mm]	4,0
$l_{\text{VM,Z}}$ [mm]	65
$f_{u,k,Z}$ [N/mm ²]	600

$R_{k,\text{Ankarbolzen,Z}}$ [kN]	130
$R_{k,\text{Stahlblech,Z}}$ [kN]	130
$R_{k,\text{Blockschere,Z}}$ [kN]	130

Berechnung nach **ETA-04/0013**



Belastung

q_d^j [kN/m]	25	1) F_d^{j+1} werden mit wechselndem Vorzeichen berücksichtigt	
$F_{1,d}^{j+1}$ [kN] ¹⁾	-20	$F_{2,d}^{j+1}$ [kN] ¹⁾	20
$F_{1,G+Q,d}^j$ [kN]	20	$F_{2,G+Q,d}^j$ [kN]	50

Berechnungsparameter

k_{mod}	1,10	Y_R	1,60
Y_M	1,00	$Y_{R,VM}$	1,20

Ergebnisse

$F_{1,d,duc}^j$ [kN]	-47	$F_{2,d,duc}^j$ [kN]	-17
$F_{1,d,br}^j$ [kN]	-110	$F_{2,d,br}^j$ [kN]	-80

Tragfähigkeiten gegenüber hor. Einwirkung für duktilen Versagen der Schubwinkel

$$R_{d,duc,Blockschere,VM}^j = n_{\text{NAS}} \cdot R_{d,NA} = 89,31 \quad [\text{kN}]$$

$$R_{d,duc,VM}^j \cdot Y_{R,VM} \leq R_{d,br,VM}^j - \text{Duktilen VM-Versagen.}$$

$$R_{d,duc,Stahlblech}^j = 110,00 \quad [\text{kN}] \quad \text{erfüllt}$$



Nachweise der nicht-duktilen Wandelemente

	η [-]	$R_{d,br} \geq R_{d,duc} \cdot Y_R$
Scheibenschub	0,29	erfüllt
Torsionsschub	0,22	erfüllt
Knicken der Scheibe	0,47	erfüllt
Zugverankerung	0,77	erfüllt
Bolzen Schubwinkel	0,93	erfüllt

Die Stahlbleche der Zug- und Schubverankerungen werden als "dicke Bleche" angenommen.

Die Berechnungen gelten für Sondernägel der Tragfähigkeitsklasse III.

Die für Brettsper Holz angesetzten Materialkennwerte sind mit denen aus der jeweiligen technischen Zulassung abzugleichen.

Die Berechnungen gelten für Elemente ohne Schmalseitenverklebung und mit gleichmäßig starken Lamellendicken.

Die einzelnen Tragfähigkeiten der Verankerungen sind nach EC3 oder den jeweiligen Zulassung zu bestimmen.

Die Angaben erfolgen ohne Gewähr auf Vollständigkeit und Richtigkeit und sind durch einen im Holzbau erfahrenen Ingenieur zu prüfen.

Fördergeber

Das IGF-Vorhaben 19260N der Forschungsvereinigung Internationaler Verein für Technische Holzfragen e. V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

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