

Erdbebensicherheit: Der Klügere gibt nach

Erdbebensicherheit durch die Holztafelbauweise - Teil 1

In Teilbereichen von Deutschland liegt eine Erdbebengefährdung vor. Die in diesen Gebieten stehenden Gebäude müssen nach der derzeit gültigen Erdbebennorm DIN 4149:2005 bemessen werden. Der bereits veröffentlichte (bauaufsichtlich aber noch nicht eingeführte) Eurocode 8 (DIN EN 1998) kann aber schon von den Tragwerksplanern als Referenzwerk zum Stand der Technik verwendet werden. Hinsichtlich des Nachweisformates gibt es zwischen den beiden Normen keine wesentlichen Änderungen. Jedoch spiegelt sich die fortschreitende Entwicklung des Holzbaus in der neuen Erdbebennorm wider. Die besonderen Regeln für den Holzbau haben sich im Eurocode 8 mehr als verdoppelt. In einem zweiteiligen Beitrag soll gezeigt werden wie Gebäude durch die Holztafelbauart erdbebensicher konstruiert und bemessen werden können.



Abb. 1: Gebäude der Holztafelbauart nach einem Erdbeben. Trotz starker Verformungen ist die Standsicherheit noch gegeben.

Autoren:
Burkhard Walter und
Jonas Thull
B. Walter Ingenieurgesellschaft mbH,
Aachen

Schwingung versetzt. Wie ein Bauwerk schwingt, ist maßgeblich von seiner Masse und Steifigkeit abhängig. Daneben wird die Intensität des Erdbebens durch zwei wesentliche Parameter beeinflusst: Die örtlich wirksame Bodenbeschleunigung (a_g) und die Bodenbeschaffenheit.

Bodenbeschleunigung a_g

Deutschland ist in vier Erdbebenzonen (Zonen 0-3) unterteilt. Die geografische Lage dieser Zonen wird aus der Erdbebenkarte ersichtlich, wonach die am meisten gefährdeten Gebiete in der Kölner Bucht und in der Schwäbischen Alb liegen (Abbildung 2). Die deutsche Erdbebenkarte befindet sich momentan in Überarbeitung. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich die rechnerischen Bodenbeschleunigungen der Erdbebenzonen zukünftig erhöhen. Zurzeit reichen sie von $a_g = 0 \text{ m/s}^2$ (Zone 0) bis $a_g = 0,8 \text{ m/s}^2$ (Zone 3).

Obwohl Gebäude in der Erdbebenzone 0 keine rechnerische Erdbebenbeanspruchung erfahren, sind trotzdem gewisse konstruktive Regeln zu beachten (dazu später im Text).

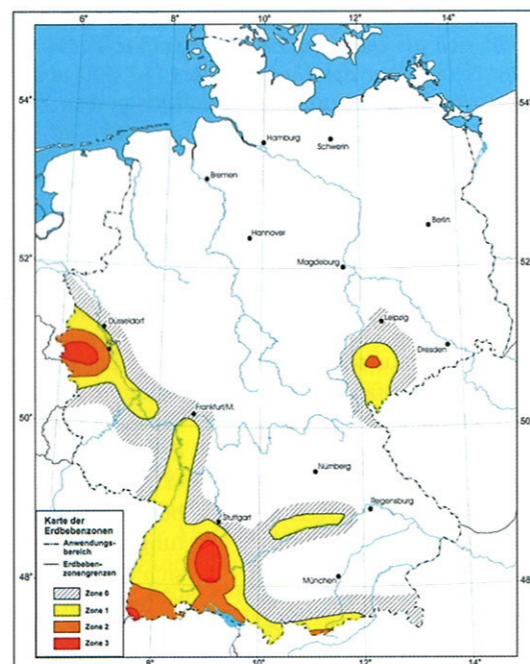
Im Allgemeinen spricht man in Deutschland von sogenannten Schwachbebengebieten. Im Vergleich zu stärker beanspruchten Gebieten im Süden von Europa sind die Werte der Bodenbeschleunigung gering. In Italien und Griechenland treten Werte von bis zu $3,6 \text{ m/s}^2$ auf.

Bodenbeschaffenheit

Ein weiterer bedeutender Einfluss auf die Erdbebeneinwirkung ist die Bodenbeschaffenheit. Sowohl in der DIN 4149 als auch im EC 8 wird in Abhängigkeit von dem anstehenden Baugrund (bis 20 m unterhalb der GOK) und dem geologischen Untergrund ein Untergrundparameter (S) ermittelt, mit dem die Grundbeschleunigung multipliziert wird.

Der Baugrund ist in drei Klassen unterteilt: A (Festgestein), B (Lockergestein) und C (bindiger Boden). In der Regel

Abb. 2: Karte der Erdbebenzonen in Deutschland nach Eurocode 8



wird die Klassifizierung des Baugrundes durch den Bodengutachter vorgegeben. Der geologische Untergrund ist wiederum in die Klassen R (felsiger Untergrund), S (mächtige Sedimentbecken) und den Übergangsbereich T und gliedert. Diese Untergrundklassen können aus den Karten der geologischen Landesämter bestimmt werden.

Je nach Kombination der Untergrundverhältnisse wird die Erdbebenenergie, durch den Bodenparameter S verstärkt oder abgemindert an das Fundament des Bauwerks weitergeleitet (Tabelle 1).

Tabelle 1: Untergrundparameter S nach Eurocode 8

Untergrundverhältnisse	S
A-R	1,00
B-R	1,25
C-R	1,50
B-T	1,00
C-T	1,25
C-S	0,75

Bedeutungsbeiwert

Neben den geographischen Einflussgrößen gibt es einen weiteren Parameter, welcher die Nutzungsart und das Sicherheitsniveau des betreffenden Gebäudes berücksichtigt: der Bedeutungsfaktor (γ). Für gewöhnliche Wohn- und Bürogebäude beträgt der Bedeutungsfaktor 1,0. Bei Gebäuden, die für den Erdbebenfall eine große Bedeutung für die Rettung von Menschenleben haben, wie zum Beispiel Krankenhäuser, beträgt dieser Wert 1,4. Das bedeutet, dass das Sicherheitsniveau in diesem Fall um 40% gesteigert wird. Weitere Bedeutungskategorien sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2: Bedeutungsbeiwerte in Abhängigkeit der Nutzungsart

Bedeutungskategorie	Bauwerk	Bedeutungsbeiwert γ_1
I	z.B. Scheunen, Gewächshäuser	0,8
II	z.B. Wohn- und Bürogebäude	1,0
III	z.B. große Wohnanlagen, Schulen	1,2
IV	z.B. Krankenhäuser, Feuerwehr	1,4

Das Prinzip der Erdbebenebemessung

Das Gebäude wird durch die auftretende Erdbebenwelle in Schwingung versetzt. Es „antwortet“ sozusagen auf die Erdbebenwelle. Die Aufgabe des Ingenieurs besteht darin, diese Antwort des Gebäudes zu analysieren und die daraus resultierende Belastung zu ermitteln (Abbildung 3).

Die Schwingung des Gebäudes ist affin zur horizontalen Verformung und hängt von seiner Steifigkeit und Masse ab. In der Norm werden in Abhängigkeit der oben beschriebenen Parameter a_g und S Antwortspektren entwickelt, um die Bemessungsbeschleunigung eines Erdbebens zu ermitteln (siehe Infokasten 1). Der Zusammenhang zwischen diesem Antwortspektrum und einem realen Gebäude ist die Schwingdauer T des Bauwerks.

Das bedeutet die Bemessungsbeschleunigung S_e kann für ein beliebiges Bauwerk über seine Schwingdauer T berechnet bzw. abgelesen werden. Für übliche Gebäude gilt: Je größer die Schwingdauer T, desto kleiner die Beanspruchung durch ein Erdbeben. Aus der ermittelten Bemessungsbeschleunigung kann über die bekannte physikalische Beziehung (Kraft = Masse * Beschleunigung) eine äquivalente statische Gesamterdbebenkraft F_{Erd} berechnet werden:

$$F_{Erd} = M \cdot S_e(T)$$

M ist dabei die Gesamtmasse des Gebäudes. Da es sich bei einem Erdbeben um einen außergewöhnlichen Lastfall handelt, sind nur die tatsächlich wirkenden Lasten anzusetzen. Bei den Nutzlasten

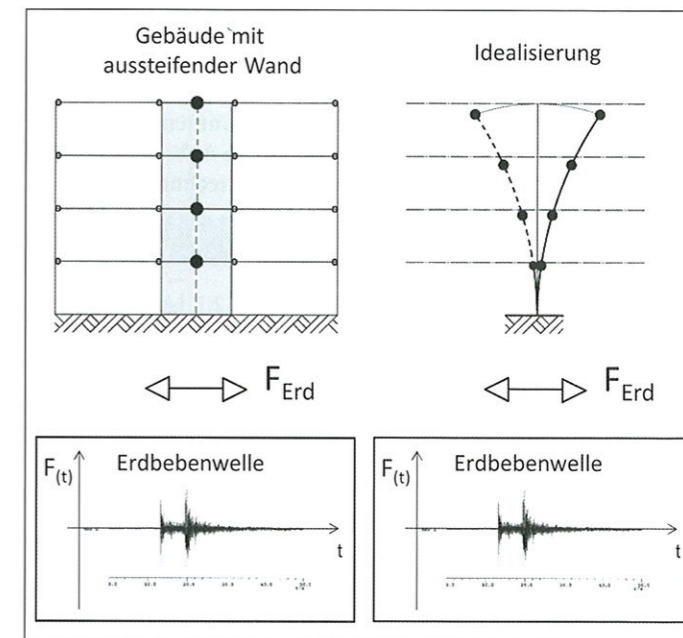


Abb. 3: „Antwort“ eines Gebäudes auf ein Erdbeben: Es schwingt.

werden lediglich die quasi-ständigen Lasten, dargestellt durch die ψ_2 -Werte, angesetzt. Schneelasten müssen nach dem EC8 sowie der DIN 4149 mit 50% berücksichtigt werden.

$$M = \sum G_k + \sum \psi_2 \cdot Q_k + 0,5 \cdot S_k$$

Für kleinere Gebäude (1-2 Geschosse) reicht es oft aus,

Infokasten 1

Antwortspektrum

Die Entwicklung der Antwortspektren basiert auf einer dynamischen Analyse von einer Vielzahl von normierten Einmassenschwingern mit unterschiedlichen Eigenfrequenzen. Diese Einmassenschwinger wurden auf verschiedenen Untergrundverhältnissen mit einer realitätsnahen Erdbebeneinwirkung in Schwingung versetzt. Dabei wurde die maximal wirkende Massenbeschleunigung gemessen und der entsprechenden Eigenfrequenz zugewiesen (Abbildung 4). Über das Antwortspektrum, kann der Ingenieur anhand der Schwingdauer des zu untersuchenden Gebäudes, die Bemessungsbeschleunigung ermitteln (Teil 2).

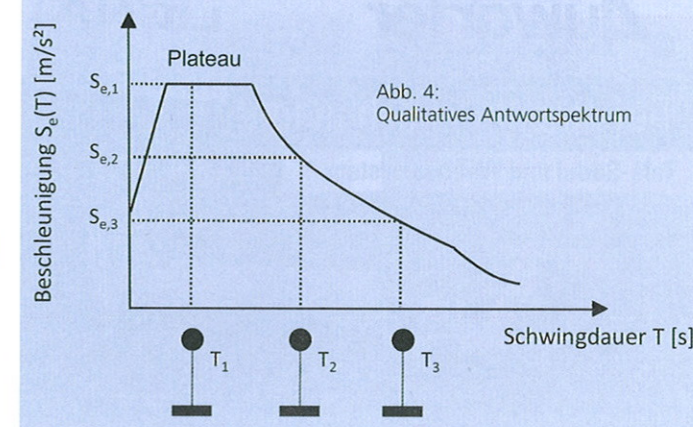


Abb. 4: Qualitatives Antwortspektrum

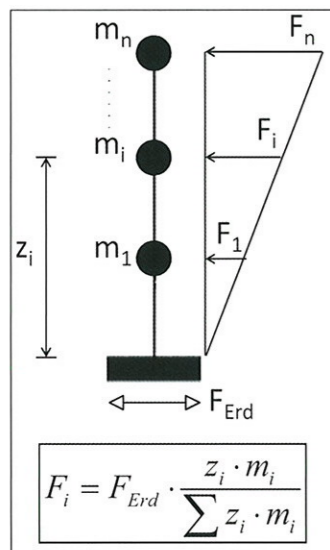


Abb. 5: Verteilung der Erdbebenerstlast auf die einzelnen Geschosse

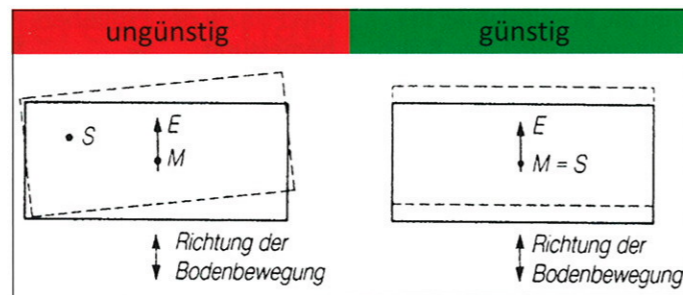
die maximal mögliche Beanspruchung des Antwortspektrums anzusetzen. Man spricht vom sogenannten „Plateauwert“ (siehe Abb. 4), der sich wie folgt errechnet:

$$S_e = a_g \cdot S \cdot \gamma_1 \cdot 2,5$$

Der Wert 2,5 ist ein pauschaler Erhöhungsfaktor. Aus dem Plateauwert wird die maximal mögliche Bemessungsbeschleunigung ermittelt, ein Nachweis der Schwingdauer des Gebäudes ist somit erforderlich.

Nach Ermittlung der Gesamterdbebenkraft wird diese entsprechend der Massenverteilung im Gebäude auf die Geschossebenen verteilt. Sind die Massen in den Geschossen annähernd gleich, kann vereinfacht eine lineare Verteilung über die Höhe erfolgen (Abbildung 5). Grundlage für dieses vereinfachte Antwortspektrenverfahren ist die Regelmäßigkeit der Gebäudestruktur.

Abb. 6: Entwurfskriterien für Grund- und Aufriss



Regelmäßigkeitskriterium

Die Erdbebensicherheit beginnt nicht erst bei der Berücksichtigung in der Statik, sondern schon beim Entwurf der Gebäudegeometrie. Dadurch kann die Erdbebeneinwirkung im Vorfeld deutlich begrenzt werden. Ziel ist es, die Gebäudestruktur so regelmäßig wie möglich zu gestalten. Dies ist gegeben, wenn die Massen und Steifigkeiten sowohl im Grundriss als auch im Aufriss gleichmäßig verteilt sind. In Abbildung 6 sind diese Entwurfskriterien dargestellt.

Abb. 7: Einfluss der Massen- und Steifigkeitsverteilung im Grundriss

Beispielsweise beeinflussen unterschiedlich hohe Gebäudeteile die Schwingung des Gesamtgebäude ungünstig, da sie ungleiche Amplituden besitzen. Dieser Problematik kann durch Anordnung von Fugen zwischen den Gebäudeteilen vorgebeugt werden. Insbesondere im Grundriss sollten der Massen- und Steifigkeitsmittelpunkt möglichst nahe beieinander liegen. Hierdurch können die für ein Gebäude gefährlichen Rotationschwingungen minimiert werden (Abbildung 7).

Vergleich Erdbeben-Wind

Nach dem EC 8 und der DIN 4149 kann bei regelmäßigen Gebäuden auf einen rechnerischen Nachweis der Erdbebensicherheit verzichtet werden, wenn die Erdbebenersatzlast kleiner ist als der 1,5-fache Wert der charakteristischen Windlast.

$$F_{Erd} \leq 1,5 \cdot W_k$$

Durch die Einführung des k_{mod} - Wertes im Holzbau, der für sehr kurze Belastung mit dem Faktor 1,1 angesetzt werden kann, hat der Holzbau bei diesem Nachweis leichte Vorteile gegenüber den anderen Bauweisen.

$$\frac{F_{Erd}}{k_{mod}(1,1)} \leq 1,5 \cdot \frac{W_k}{k_{mod}(1,0)} \rightarrow F_{Erd} \leq 1,65 \cdot W_k$$

Es ist jedoch darauf zu achten, dass sich aufgrund der unterschiedlichen Hebelarme der Wind- und Erdbekräfte größere Momentenbeanspruchungen ergeben können (Abbildung 8).

Bei dem Vergleich der beiden Lastfälle sollten außerdem keine Duktilitäten berücksichtigt werden ($q = 1,0$).

Duktilität

Bei der Tragwerksbemessung wird der Tragwiderstand eines Bauteils ohne Duktilitäten berechnet. Das bedeutet es

wird ein linear-elastisches Materialverhalten angenommen, sodass in der Regel keine bleibenden Verformungen auftreten. In den höheren Erdbebenzonen übersteigen die anzusetzenden Erdbekräfte oft diesen linear-elastischen Tragwiderstand der aussteifenden Bauteile. Die stiftförmigen Verbindungsmittel verformen sich, je nach Belastung und angesetzter Duktilität, z.T. erheblich. Der Bruch dieser Verbindungsmittel tritt jedoch erst sehr viel später ein.

Mit Ansatz von Duktilitäten können auch außerhalb der Gebrauchstauglichkeit weitere Tragreserven ermöglicht werden. Es wird sozusagen eine „Knautschzone“ der Konstruktion berücksichtigt (Abb. 9).

Im Holztafelbau wird die Duktilität vor allem in den stiftförmigen Verbindungsmitteln aktiviert. Bei hohen Erdbekraften können die stiftförmigen Verbindungsmittel einen Teil dieser Lasten durch Verformungen und innere Reibung abführen (Umwandlung in Wärmeenergie) (Abbildung 10). Die Umwandlung der Erdbekraftenergie wird Dispipation genannt.

Duktilität wird in der Norm durch den Verhaltensbeiwert q berücksichtigt. Die Erdbekraftlast wird ersatzweise durch diesen Verhaltensbeiwert pauschal abgemindert.

$$F^*_{Erd} = \frac{F_{Erd}}{q}$$

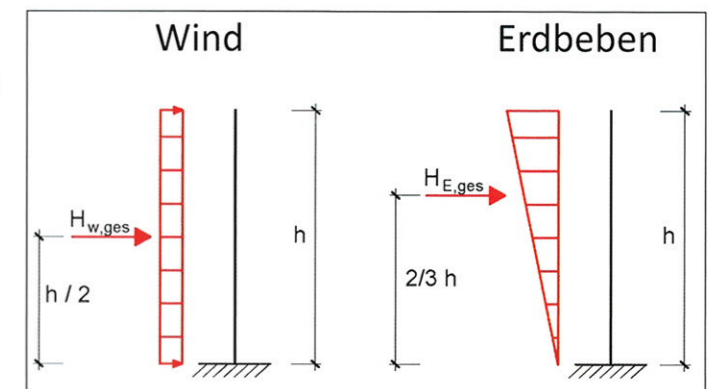
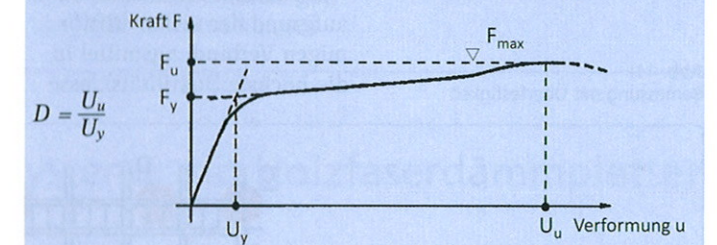


Abb. 8: Vergleich der Gesamt Wind- und Erdbekraftlast

Infokasten 2

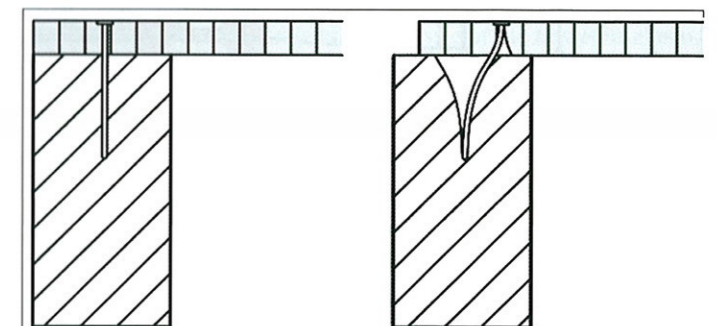
Duktilität

Duktilität bezeichnet eine Eigenschaft von Bauteilen vor ihrem Versagen ein ausgeprägtes Verformungsverhalten zu besitzen. Es kann vereinfacht als Verhältnis von maximaler Verformung zu elastischer Verformung betrachtet werden.



Duktilität eines stiftförmigen Verbindungsmittels nach DIN EN 12512

Abb. 9: „Knautschzone“ eines Verbindungsmittels



Anzeige

Auwärter
Anhänger und Aufbauten GmbH

LIGNA
HANNOVER - GERMANY
11.05. - 15.05.2015
FG / Stand K05

Tief stapeln - hoch laden!
Tele-Sattel und Wechselsystem Typ X-SW

Informationen unter +49 9234 9914-0 oder www.auwaerter.com

Anzeige

Lohnabbund und Massiv-Holz-Mauer
aus Sachsen

Abbundzentrum Dahlen GmbH & Co. KG

Gewerbestrasse 3
04774 Dahlen
Tel.: +49 (0) 34361 - 532 52
Fax: +49 (0) 34361 - 532 53

- Massiv
- Ökologisch, ohne Leim
- Gesund und behaglich
- Schnell
- Direkt vom Hersteller
- Freies Bauen

Internet: www.abbund-dahlen.de; E-Mail: info@abbund-dahlen.de

Anzeige

Limbach® - Muttern für den Holz- und Fertighaubau

Bruchlast bis 90kN: Ø60 M12 - M16 - M20
Bruchlast bis 60kN: Ø42 M10x25 - M12x25

"L"-Einschlagmutter für tragende Holzkonstruktionen sowie im Holzhaus- und Fertighaubau.
"L"-Flanschmutter für die Zwischenwandbefestigung

Karl Limbach & Cie. GmbH & Co. KG
Metallwarenfabrik gegründet 1898
Postfach 190365
42703 Solingen
Fon +49 (0) 212 / 39 80
Fax +49 (0) 212 / 39 899
www.limbach-cie.de
info@limbach-cie.de

TÜV Rheinland CERT ISO 9001

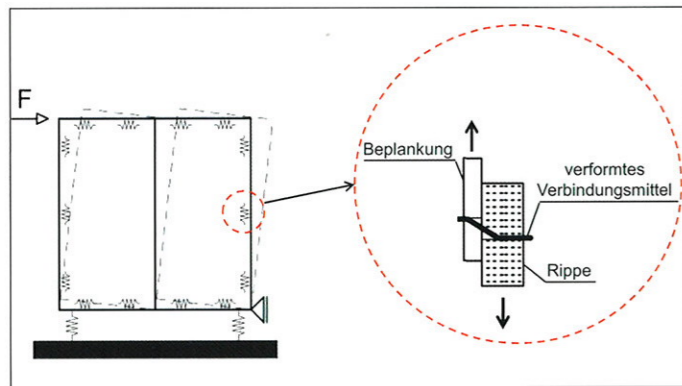


Abb. 10: Lasten werden durch Verformungen der Verbindungsmittel abgeführt

Es wird zwischen drei Duktilitätsklassen unterschieden. Diese Klassen reichen von niedriger (Duktilitätsklasse 1 oder DCL) bis zu hoher Duktilität (Duktilitätsklasse 3 oder DCH). Vereinfacht gilt: Je mehr Verformungskapazitäten die aussteifenden Bauteile besitzen, desto höher ist die Duktilitätsklasse (Tabelle 3).

Die Holztafelbauweise kann aufgrund der vielen stiftförmigen Verbindungsmittel in die höchste Duktilitätsklasse

Tabelle 3: Duktilitätsklassen nach Eurocode 8

Duktilitätsklasse	Maximaler Verhaltensbeiwert q
DCL (niedrige Dissipation)	1,5
DCM (mittlere Dissipation)	2,5
DCH (hohe Dissipation)	4,0

DCH eingeordnet werden. Diese hat dann beispielsweise einen Verhaltensbeiwert von $q = 4,0$.

Bei Ansatz von höheren Duktilitätsklassen als DCL muss vom Ingenieur nachgewiesen werden, dass die Energiedissipation in den ausgewählten Bereichen (also den stiftförmigen Verbindungsmitteln) erfolgt. Das bedeutet, dass die Verbindungsmittel beim Nachweis aller aussteifenden Holztafelwände maßgebend sein müssen (dazu mehr in Teil 2). Die angrenzenden Bauteile müssen dementsprechend überdimensioniert werden. Beispielsweise

darf die Zugverankerung der Holztafel nicht vor den Verbindungsmitteln der Wandscheibe versagen, da sonst keine Energiedissipation erfolgen kann.

In Abbildung 11 sind exemplarisch an einem Tragsystem die maßgebenden Stellen A-G aufgezeigt, welche gegenüber der Tragfähigkeit der Wandscheibe mit einer Überfestigkeit bemessen werden müssen. Über das Maß der Überfestigkeit ist in der deutschen Norm zurzeit keine genaue Angabe enthalten.

Beispielberechnung zur Bestimmung der Erdbebenersatzlast

An dem folgenden Kurzbeispiel soll die Bestimmung der Erdbebenersatzlast exemplarisch erläutert werden. Das Beispielgebäude liegt im Raum Aachen und somit in der Erdbebenzone 3. Es handelt sich um ein zweigeschossiges Wohngebäude in der Holztafelbauweise. Der Grundriss und der Gebäudeschnitt lassen auf eine ausreichende Regelmäßigkeit schließen (Abbildung 12).

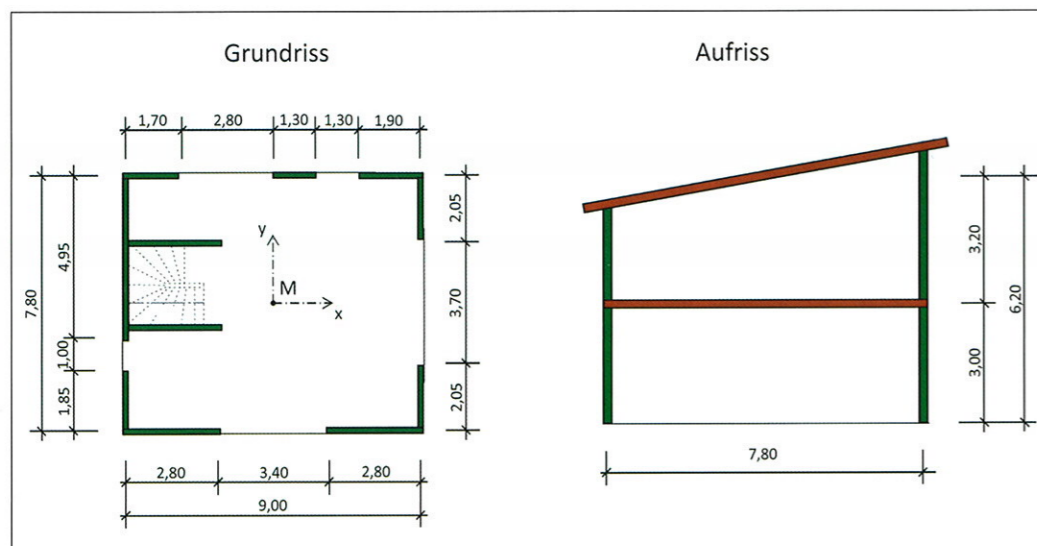
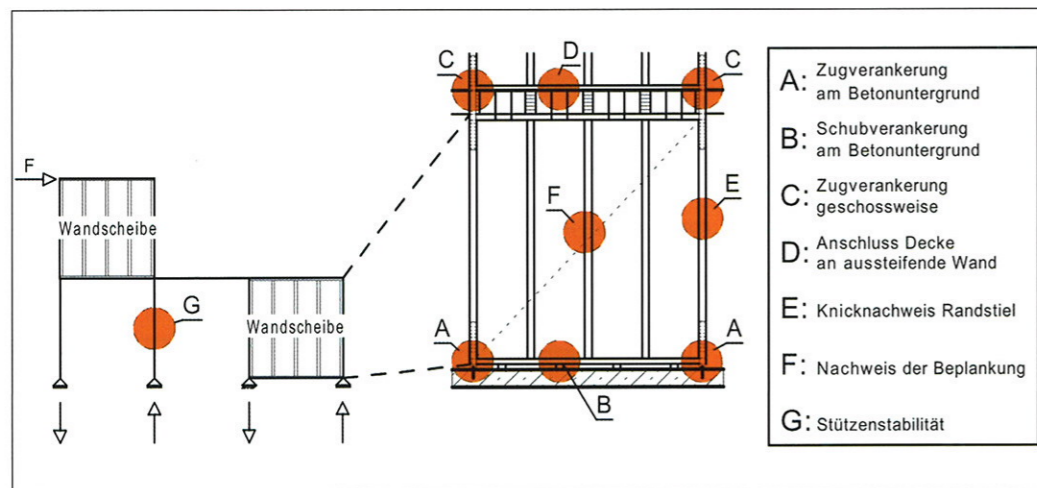
Es liegt die Baugrunderkennung B-R vor. Somit ergeben sich folgende Eingangsparameter für das Beispielgebäude (Tabelle 4).

Tabelle 4: Erdbebenparameter des Beispielgebäudes

Erdbebenzone 3	$a_g = 0,8 \text{ m/s}^2$
Bedeutungsbeiwert (Wohngebäude)	$\gamma_1 = 1,0$
Untergrundverhältnisse B-R	$S = 1,25$

Abb. 12: Grundriss und Aufriss des Beispielgebäudes

Abb. 11: Bemessung mit Überfestigkeit



Aufgrund der hohen Horizontalsteifigkeit durch die Vielzahl von aussteifenden Holztafelwänden wird der maximale Plateauwert ermittelt. Es ergibt sich ein Wert der Bemessungsbeschleunigung von

$$S_c = a_g \cdot \gamma_1 \cdot S \cdot 2,5 = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,25 \cdot 2,5 = 2,5 \text{ m/s}^2$$

Die aus den Wand- und Deckenaufbauten und den entsprechenden Nutzungen sowie Schneelasten resultierenden Geschossmassen sind in Tabelle 4 angegeben. Auf eine detaillierte Berechnung der Geschossmassen soll hier verzichtet werden.

Tabelle 5: Geschossmassen des Beispielgebäudes

Geschossmasse	m [t]
m_{EG}	53,80
m_{Dach}	26,30
M_{gesamt}	80,10

Die Gesamterdbebenkraft ergibt sich demnach zu:

$$F_{Erd} = S_c \cdot M = 2,5 \cdot 80,10 = 200,25 \text{ kN}$$

Sowohl nach DIN 4149 als auch nach Eurocode 8 dürfen Holzbauten mindestens in die Duktilitätsklasse 1 (DCL) mit einem Verhaltensbeiwert von $q = 1,5$ eingestuft werden. Dies gilt auch ohne den Nachweis für die vorhandene Duktilität. Das bedeutet die Gesamterdbebenkraft des horizontalen Plateaus ergibt sich nach Abminderung durch den Mindestduktilitätsfaktor zu:

$$F_{Erd,d} = \frac{200,25}{1,5} = 133,50 \text{ kN}$$

Wie oben dargestellt, wird diese Erdbebenersatzkraft auf die einzelnen Geschosse und

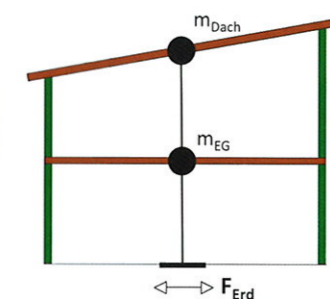


Abb. 13: Gesamterdbebenlast F_{Erd} am Fundament des Gebäudes

die entsprechenden aussteifenden Wände in den Geschossen zurückverteilt. Die Bemessung erfolgt, wie bei den Windnachweisen entsprechend dem EC 5.

Zusammenfassung

Die Holztafelbauweise eignet sich außerordentlich gut, um Erdbeneinwirkungen

standzuhalten. Neben ihrem geringen Gewicht ist insbesondere die hohe Duktilität in den stiftförmigen Verbindungsmitteln ein entscheidender Faktor die Erdbebenlasten zu dissipieren. Die Holztafelbauweise verhält sich durch seine Nachgiebigkeit im Gegensatz zu anderen Baustoffen wie Beton oder Mauerwerk sehr viel gutmütiger. Um den duktilen Bereich richtig auszuschöpfen, ist bei Ansatz höherer Duktilitätsklassen eine entsprechende konstruktive Durchbildung der Tragkonstruktion zu beachten.

Im Teil 2 des Beitrages soll das dynamische Verhalten sowie die Steifigkeit von Holztafeln genauer erläutert werden. ■

Gegendarstellung

Artikel über Wärmedämmverbundsysteme mit Holzfaserdämmplatten (Ausgabe 4/2013 von Herrn Köhnke)

Sehr geehrte Damen und Herren,

in Ihrer Zeitschrift *HOLZBAU - die neue qudriga* wurde in der Ausgabe 4/2013 ein Artikel von Herrn Köhnke über Wärmedämmverbundsysteme mit Holzfaserdämmplatten veröffentlicht, zu dem wir nachfolgend Stellung beziehen möchten.

In der Abbildung 1 werden Holzfaserdämmplatten mit infolge Feuchteaufnahme sich öffnenden Klebfugen dargestellt, bei denen es sich gemäß Bildunterschrift zur Abbildung 2 um nicht hydrophobierte Platten handelt. Für den Einsatz WDV-Systemen werden aber ausschließlich über die gesamte Dicke hydrophobierte Platten eingesetzt. Für die Verklebung von Plattenlagen werden von allen Herstellern Klebstoffe eingesetzt, die üblichen Feuchtebelastungen auch während der Bauzeit zuverlässig standhalten. Ein Eintauchen der Plattenkanten in stehendes Wasser zählt sicher nicht zu einer zulässigen Feuchtebelastung sondern ist ein Zeichen für einen mangelhaften Bauablauf und/oder eine fehlerhafte Detaillierung.

Es wird die Funktionsfähigkeit diffusionsoffener Putzsysteme in Zweifel gezogen, obwohl alle Putzsysteme mit bauaufsichtlicher Zulassung die identischen Anforderungen zu erfüllen haben.

Es wird unterstellt, der Prüfumfang unterläge dem Ermessen des Systeminhabers, obwohl gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung die Systemkomponenten vom Zulassungsinhaber selbst oder im Auftrag des Zulassungsinhabers zu prüfen sind.

Auch die Darstellung hygrothermischer Prüfungen ist unrichtig: Bei hygrothermischen Prüfungen mit der so genannten EOTA Prüfwanne oder gemäß der Vorgaben der CUAP ist als sensibelster Anschluss ein Fensterausschnitt mit allen erforderlichen Anschlüssen anzuordnen. Andere Anschlüsse werden

zwar nicht geprüft, die Zulassungen fordern aber die Beachtung der Detailvorgaben des Systemhalters. Im Rahmen der Verlängerung der Zulassungen werden 20 ausgeführten Bauwerken (je Zulassung) durch ein unabhängiges Institut selbstverständlich auch in den Anschlussbereichen In Augenschein genommen.

Die Materialentscheidung wird als Geschmacksfrage abgetan. Es wird nicht darauf hingewiesen, dass erst die besseren elastomechanischen Eigenschaften der Holzfaserdämmstoffe eine diffusionsoffene Ausführung der Wände ermöglicht.

Es wird behauptet, eine dichte Fugenausbildung sei den Ausführungen nicht möglich. Bei einer guten Ausrichtung der ersten Plattenreihe ist eine fachgerechte, dichte Ausführung der Fugen aber problemlos möglich und üblich. Einzelne Fugen werden nicht mit PU-Schaum ausgeschäumt, vielmehr werden sie erweitert und Passstücke nach Vorgabe des Herstellers eingeklebt.

Quetschfalten lassen sich zuverlässig durch eine schwindarme Ausführung der in die Außenwände einbindenden Decken, durch Säubern der Anschlussflächen vor dem Setzen der aufgehenden Wände, durch dichte Fugenausbildung und Ausführung des Putzes in einer ausreichenden, den Anforderungen der Zulassung entsprechenden Dicke verhindern.

Quetschfalten werden nicht und sollten nie durch das Gewebe verhindert werden, da sie der Aufnahme von Zugspannungen dienen.

Eine ausführlichere Erörterung der vorstehenden sowie weiterer Kritikpunkte findet sich auf unserer Homepage www.holzfaser.org im Abschnitt Service/Downloads.

Erdbebensicherheit: Der Klügere gibt nach

Erdbebensicherheit durch die Holztafelbauweise – Teil 2

In Teil 1 dieses Beitrags (Heft 1-2015) wurden die grundlegenden Parameter der Erdbebenbemessung erläutert. Neben der Bodenbeschaffenheit und der Grundbeschleunigung spielt die Konstruktionsart und hier speziell das dynamische Verhalten eines Gebäudes eine wesentliche Rolle bei der Bestimmung der Erdbebenbeanspruchung. In diesem 2. Teil soll das grundsätzliche Schwingungsverhalten von Gebäuden in der Holztafelbauweise erläutert werden.

Autoren:
Burkhard Walter
Jonas Thull
B. Walter,
Ingenieurgesellschaft mbH, Aachen

Verformungsbetrachtung der Holztafelwand vereinfacht beschrieben werden. Dabei setzt sich die Gesamtverformung aus mehreren Verformungsanteilen zusammen.

Zur Steifigkeit von Holztafeln

Der Beurteilung der Steifigkeit geht die Frage voran: Was passiert eigentlich, wenn eine Holztafelwand horizontal belastet wird und welche Anteile tragen zur Gesamtverformung bei? Der Bemessung und auch der Verformungsberechnung von Holztafelwänden liegt das „ideelle Schubfeldmodell“ zu Grunde. Der innere Lastfluss, der sich daraus ergibt, sieht wie folgt aus: Die Horizontalbelastungen werden über die Deckenscheibe als Normalkraft in das Rähm der Wand eingeleitet.

Allgemeine Einführung

Wie bereits im ersten Teil des Beitrags beschrieben, kann die Erdbebeneinwirkung als Funktion der Schwingdauer aus dem Antwortspektrum direkt ermittelt werden. Bei Gebäuden, die dem Regelmäßigkeitskriterium nach EC8 entsprechen, kann im Allgemeinen davon ausgegangen werden, dass die erste translatorische Eigenschwingdauer dominant ist. Das bedeutet, dass höhere Schwingformen die Erdbebenbeanspruchung nicht wesentlich beeinflussen und somit vernachlässigt werden können.

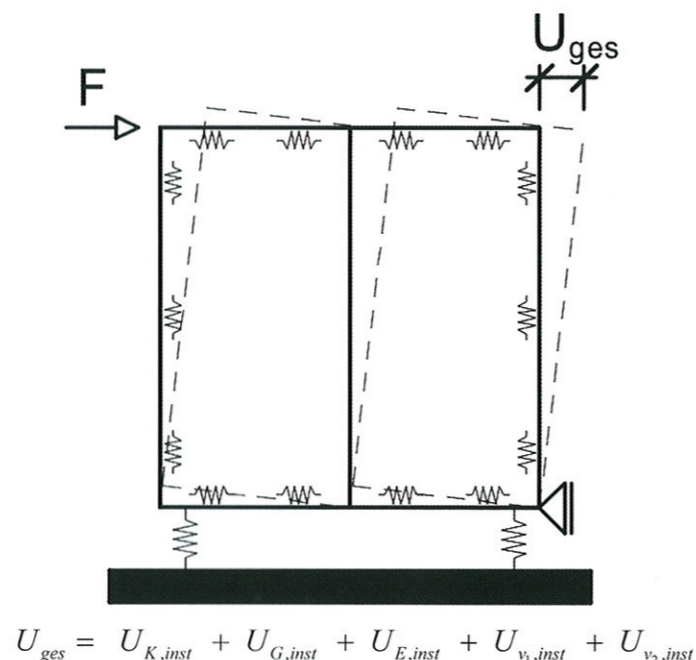
Bei der Holztafelbauweise handelt es sich um ein äußerst komplexes Verbundbauteil, welches aus Rippen, Platten und stiftförmigen Verbindungsmitteln besteht. Die Aufgabe des Ingenieurs besteht darin, dieses Bauteil in ein vereinfachtes Modell zu überführen, mit dem eine dynamische Berechnung erfolgen kann. Die Überführung erfordert vorab die Entwicklung einer realitätsnahen Systemsteifigkeit der Holztafelwand. Über den funktionalen Zusammenhang zwischen Verformung und Steifigkeit kann die Systemsteifigkeit über eine

Jedes stiftförmige Verbindungsmittel zwischen Rippe und Beplankung gibt diese Last Stück für Stück (über eine Abscherwirkung) an die Beplankung weiter. Die Beplankung (beispielsweise eine OSB/3 Platte) wird so umlaufend durch eine konstante Schubbeanspruchung belastet. Die sich aus dieser Annahme ergebenden Verformungsanteile sind nachfolgend aufgeführt. Die wesentlichen Anteile resultieren aus der Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel und der Schubverformung der Beplankung.

1. Der Verformungsanteil aus der Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel wird mit dem Ausdruck

$$U_{K,inst} = (2 \cdot l + 2 \cdot h) \cdot \frac{a_v}{l^2 \cdot K_{ser}} \cdot F$$

berechnet. Dabei werden der Verschiebungsmodul der



$$U_{ges} = U_{K,inst} + U_{G,inst} + U_{E,inst} + U_{v1,inst} + U_{v2,inst}$$

Verbindungsmittel K_{ser} , der Verbindungsmittelabstand a_v und die Summe aller Plattenränder (hier: $(2l + 2h)$) berücksichtigt. Das bedeutet, dass jeder Stoß der Platte berücksichtigt werden muss. Beispielsweise bei einem vertikalen Stoß der Beplankung erhöht sich der Vorfaktor zu $(2 \cdot l + 4 \cdot h)$.

2. Die Schubverformung der Beplankung $U_{G,inst}$ berechnet sich zu:

$$U_{G,inst} = \frac{F \cdot h}{G \cdot t \cdot l}$$

Hierbei gehen der Schubmodul der Beplankung G , sowie die Plattendicke t in die Berechnung ein.

Die weiteren Verformungsanteile ergeben sich aus der Längsdehnung der Rippen ($U_{E,inst}$) und den Fußpunktverformungen der Holztafelwand in Form einer Schwellenpressung unter der druckbeanspruchten Randrippe ($U_{v1,inst}$) und einer vorhandenen Zugverankerung ($U_{v2,inst}$), vgl. Abbildung 1. Die genaue Berechnung aller Verformungsanteile kann in [1] nachgelesen werden.

Je nach Wahl der Materialparameter der Bestandteile und der Tafelgeometrie haben

Abb. 1: Verformungsanteile einer Holztafelwand

die Verformungsanteile einen unterschiedlich großen Anteil an der Gesamtverformung. Aus Tabelle 1 wird deutlich, dass der wesentliche Anteil an der Gesamtverformung, wie oben bereits erwähnt, bei den Verbindungsmitteln und der Beplankung liegt. Schon bei einer Wandlänge von 2,50 m beträgt ihr Anteil zusammen über 90%. Die Verformungsanteile der Rippen sowie der der Schwellenpressung schwinden dagegen bei zunehmender Wandlänge immer weiter.

Für die Praxis ist es daher völlig ausreichend und auf der sicheren Seite liegend, lediglich die Verformungsanteile der Verbindungsmittel sowie der Beplankung zur Bestimmung der Steifigkeit zu berücksichtigen. Dies gilt allerdings nur für eine dynamische Berechnung, da aus einer erhöhten Steifigkeit letztlich auch erhöhte Erdbebenlasten resultieren.

Tabelle 1: Prozentuale Verformungsanteile bei unterschiedlichen Wandabmessungen

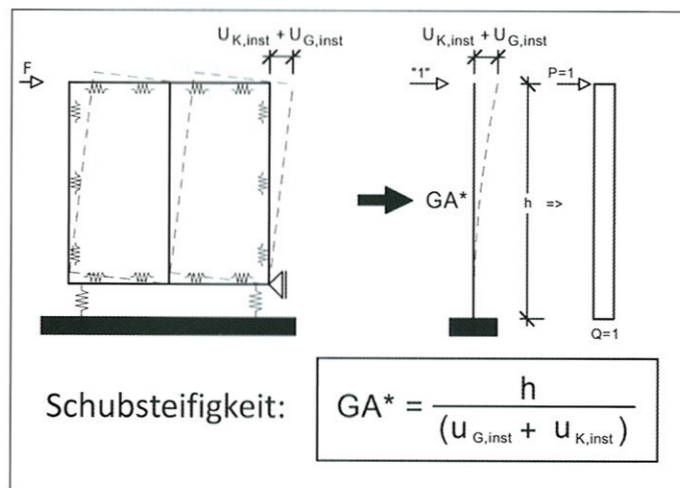
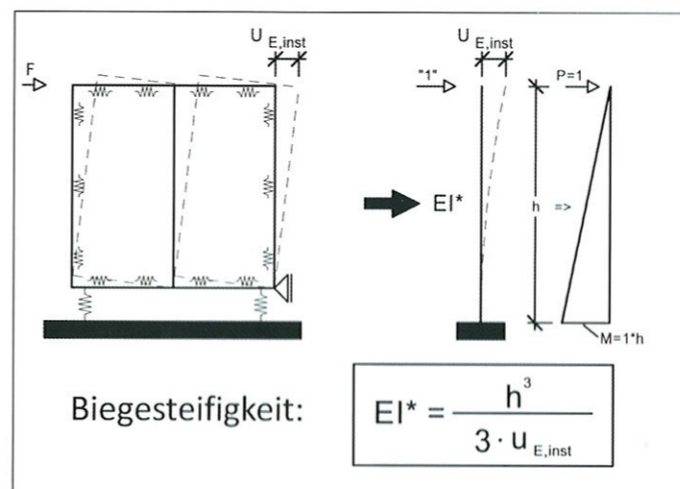
Wandtafelbau OSB/3, t = 18 mm beidseitig Rippen 8/16 cm, C24 Klammern 1,83 x 63 mm, a _v = 75 mm Verformung der Zugverankerung nicht angesetzt	Tafellänge l [m], mit h = 2,75 m			
	1,25	2,50	5,00	7,50
1. Verbindungsmittel $u_{K,inst}$	74,4	81,6	85,8	87,4
2. Beplankung $u_{G,inst}$	7,8	8,6	9,0	9,1
3. Rippen $u_{E,inst}$	8,7	4,7	2,5	1,7
4. Schwellenpressung $u_{v1,inst}$	9,1	5,1	2,7	1,8

Berechnung der effektiven Steifigkeit

Grundsätzlich sind die Verformungsanteile in zwei Verformungsarten zu unterscheiden: Schub- und Biegeverformungen. Während die Verfor-

mung der Verbindungsmittel und die der Beplankung Schubverformungen darstellen, so ist die Längsdehnung der Rippen als reine Biegeverformung zu betrachten. Aufgrund dessen ergeben sich ebenfalls zwei Steifigkeitsanteile. Unter Ansatz einer Einheitslast können aus den Verformungen diese zwei effektiven Steifigkeiten zurückgerechnet werden: Die Schubsteifigkeit GA^* und die Biegesteifigkeit EI^* (Abbildung 2).

Abb. 2: Ermittlung der effektiven Steifigkeiten



woodtec
Fankhauser GmbH

Maschinentechnik
Für den Holzbau

Fixieren
» Pneumatischer Druck

Ausrichten
» Stahl-Randanschlüsse
» Integrierte Meterskala

Winkeln
» 90° Winkel
» ± 0.1 mm

Innenwände
Aussenwände

Elementbautisch

Ein Bau = Ein Tisch

Decken
Dächer

Kastenelemente pressen
» Pneumatischer Druck

» Garantierte Leimfuge
» Keine Schrauben

woodtec Fankhauser GmbH
Moosweg 1
CH - 4803 Vordemwald
info@woodtec.ch
+41 752 95 80

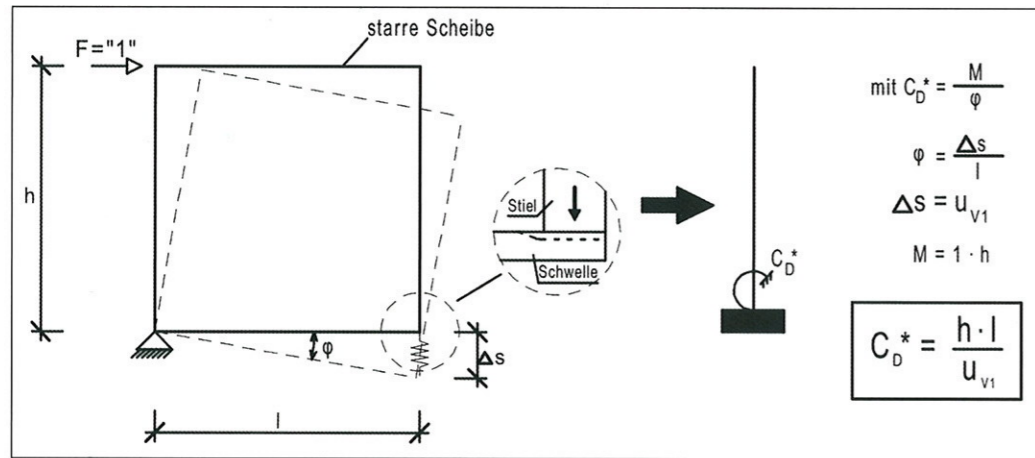


Abb. 3: Ermittlung der Drehfedersteifigkeit C_D^*

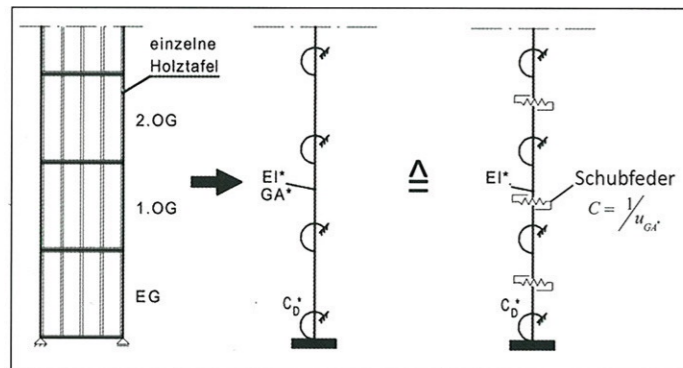


Abb. 4: Aufeinander stapeln der Wandelemente

Der Verformungsanteil aus der Schwellenpressung sowie einer Zugverankerung muss gesondert betrachtet werden. Die Wandtafel würde sich infolge einer Schwellenpressung leicht verdrehen. Ebenso bei abhebenden Kräften auf Seite der Zugverankerung. Dieser Steifigkeitsanteil kann daher über eine äquivalente Drehfeder C_D^* berücksichtigt werden. In Abbildung 3 ist die Berechnung dieser Drehfeder exemplarisch für die Schwellenpressung dargestellt.

Mit diesen Ersatzsteifigkeiten kann die Holztafelwand in ein einfaches System überführt werden. Im hier vorliegenden Fall ist es ein eingespannter Ersatzstab. Das Verformungsverhalten des Stabes würde mit den behafteten Steifigkeiten EI^* , GA^* sowie C_D^* dem Verformungsverhalten der Holztafelwand entsprechen. Manchen Programmen ist es jedoch nicht immer möglich, eine Schubsteifigkeit GA^* bei der Berechnung zu berücksichtigen. Alternativ zu einem GA^* kann auch eine äquivalente Schubfeder für den Verformungsanteil der Verbindungsmittel sowie der Beplankung verwendet werden.

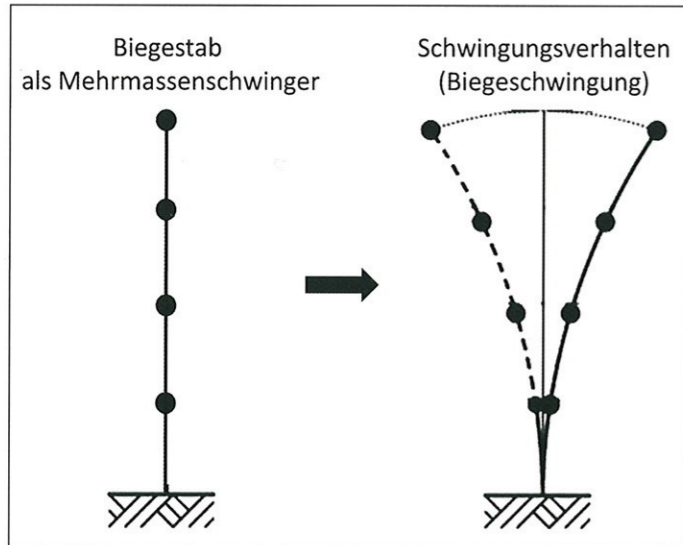


Abb. 5: Schwingungsverhalten eines Biegestabes

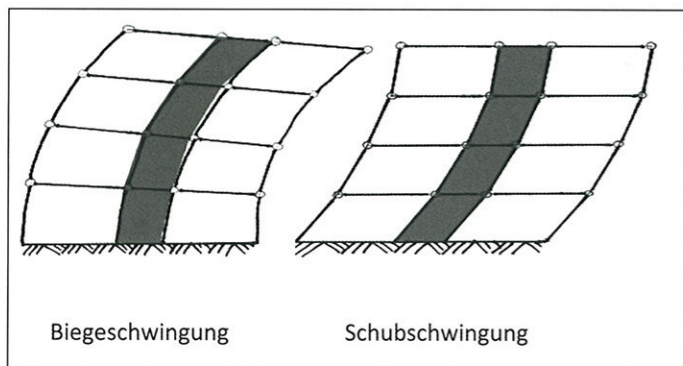


Abb. 6: Verformungsfiguren Biege- und Schubschwingung

Bei mehrgeschossigen Systemen können die Ersatzstäbe der Einzelwände dann einfach aufeinander gestapelt werden (Abbildung 4). Eine aufwendige Verformungsberechnung am Gesamttragwerk bleibt dadurch erspart. Bevor mithilfe dieses Ersatzsystems die Ermittlung der Schwingdauer erfolgen kann, muss zunächst das prinzipielle dynamische Verhalten der Holztafelbauweise erläutert werden.

Dynamisches Verhalten von Holztafeln

Zur Veranschaulichung des dynamischen Verhaltens soll zunächst das Schwingverhalten eines reinen Biegestabes (z.B. eine eingespannte Stütze) in Abbildung 5 verdeutlicht werden. Die resultierende Schwingung ist dabei eine reine Biegeschwingung.

Im Gegensatz zu dem reinen Biegestab, weist ein System mit Holztafelwänden ein deutlich anderes Schwingverhalten auf. Aus den zuvor gezeigten wesentlichen Schubverformungen aus den Verbindungsmitteln und der Beplankung sind bei Gebäuden der Holztafelbauweise wesentliche Schubschwingungen vorhanden. Der Unterschied der beiden Schwingungsfiguren ist in Abbildung 6 dargestellt. In der Realität überlagern sich diese beiden Schwingungen.

Um diese Schubschwingung rechnerisch beurteilen zu können, muss bei der Bestimmung der Schwingdauer insbesondere die Schubsteifigkeit GA^* berücksichtigt werden.

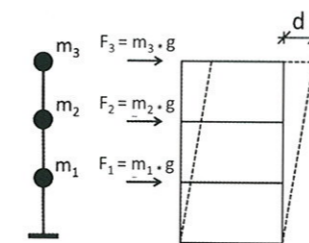
Bestimmung der Eigenschwingzeit

Die genaue Bestimmung der Eigenschwingzeit ist insbesondere für mehrgeschossige Gebäude ohne programmtechnische Unterstützung kaum zu bewältigen. Um dem praktischen Ingenieur dennoch eine Abschätzung der ersten Eigenschwingzeit eines Bauwerkes zu ermöglichen, gibt der EC8 dazu zwei Schätzformeln an. Zahlreiche Vergleichsrechnungen haben gezeigt, dass nur eine dieser Schätzformeln zu sinnvollen Ergebnissen der Schwingdauer führt.

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

(Gleichung 4.9 nach EC8)

Diese Schätzformel ist auf Grundlage des Rayleigh-Verfahrens entwickelt worden. Auf das Gebäude sind die Geschossmassen aus der quasi-ständigen Bemessungssituation als Horizontallasten anzusetzen. Die sich aufgrund dieser Belastung einstellende Verformung auf Höhe des Daches liefert den Wert d . Für die Berechnung von d kann ebenfalls der mit den effektiven Ersatzsteifigkeiten behaftete Ersatzstab verwendet



werden; somit sind in der Verformung d alle Anteile enthalten. Vergleichsrechnungen haben gezeigt, dass die tatsächliche Schwingdauer geringfügig überschätzt wird; es resultieren zu kleine Erdbebenlasten auf der unsicheren Seite. Es wird daher empfohlen die Schätzformel wie folgt zu verwenden:

$$T_1 = 1,7 \cdot \sqrt{d}$$

Neben der oben genannten Schätzformel nach EC8 existiert noch eine weitere (nach

Müller/Keintzel), die besonders auch die Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel in Form der Schubsteifigkeit GA^* berücksichtigt.

$$T_1 = \frac{2\pi \cdot h^2}{1,8^2} \cdot \sqrt{\frac{\mu}{EI} \cdot \left(1 + \frac{EI}{GA \cdot h^2} \cdot 1,8^2\right)}$$

Dabei ist h die Gebäudehöhe und μ die über die Höhe gleichmäßig verteilte Geschossmasse. EI und GA sind

dabei die oben beschriebenen effektiven Steifigkeiten der aussteifenden Wände. Die von Müller/Keintzel angegebene Formel ist nach derzeitiger

Stand die einzige Möglichkeit die Eigenschwingdauer einschließlich der Berücksichtigung der Schubsteifigkeit GA^*

abzuschätzen. Diese Schätzformel liefert praxistaugliche Ergebnisse, die auf der sicheren Seite liegen.

Natürlich kann die genaue Eigenschwingzeit auch mit Hilfe eines geeigneten Programmes ermittelt werden. Für regelmäßige Gebäude ist es sowohl nach DIN 4149 als auch nach EC8 erlaubt, das Gebäude als ebenes System (Ersatzstab als Mehrmassenschwinger) je Haupttrichtung zu betrachten.

Anzeige

DIE BESTE HK-LASUR ALLER ZEITEN

Dank 40 Jahren Praxiserfahrung

Remmers Aqua HK-Lasur Der effizientere Holzschutz

- Zeit- und Geldersparnis dank 3 in 1 – Imprägnierung, Grundierung & Lasur
 - Wasserbasiert und noch langlebiger
 - Extrem schnelle Trocknung: mehrere Anstriche an einem Tag
 - Keine Verdünnung für die Reinigung der Arbeitsgeräte erforderlich
 - Bei Renovierungen i.d.R. kein Anschleifen erforderlich
- Holzschutzmittel vorsichtig verwenden. Vor Gebrauch stets Etikett und Produktinformationen lesen.



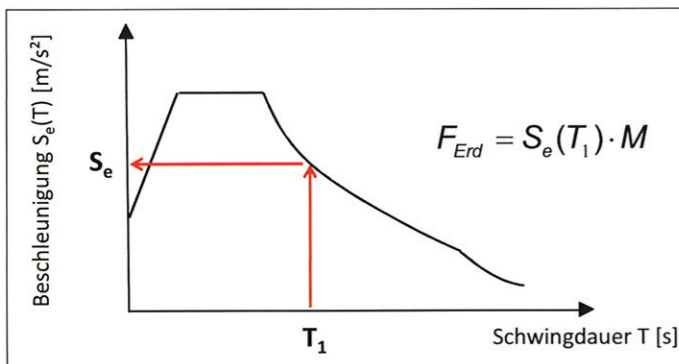


Tabelle 2: Wandaufbau

Rippen	8/16 cm, C24
Beklankung	OSB/3, t = 12,5 mm einseitig
Verbindungsmitel	Klammern 1,83x63 mm, a _v = 75 mm

Die aussteifenden Wände sind über die Decke gekoppelt. Für die Berechnung der Schwingdauer können die Wandsteifigkeiten in gleicher Richtung und je Geschoss aufaddiert werden. Wie oben bereits beschrieben, kann hier vereinfachend nur die effektive Schubsteifigkeit GA* der Wände berücksichtigt werden. Die Vernachlässigung der Verformungsanteile aus den Rippen und der Schwellenpressung liegt auf der sicheren Seite.

Für dieses Beispielgebäude ergeben sich die in der folgenden Tabelle ermittelten Eigenschwingzeiten mit den oben genannten Schätzformeln. Darüber hinaus wurde die genaue Eigenschwingdauer des Gebäudes mithilfe eines Programmes bestimmt. Die Ergebnisse wurden dem Plateauwert des Antwortspektrums gegenübergestellt.

Tabelle 3: Vergleich der Eigenschwingzeiten

Berechnungsmethode	Schwingdauer T ₁ [s]	Erdbebenersatzlast F _b [kN]	Erdbebenersatzlast F _b [%]
Plateauwert	-	200,25	100
1. Schätzformel T ₁ = 1,7 · √d	0,41	146,5	73
2. Schätzformel Müller/Keintzel	0,33	182,0	90
3. Programm-ermittlung	0,42	143,0	71

trums aus dem ersten Teil gegenübergestellt.

Für zweigeschossige Gebäude reicht es in der Regel aus, wie in Teil 1, den Erdbebennachweis mit Ansatz des Plateauwertes zu führen. Tabelle 3 zeigt jedoch, dass die Berücksichtigung des dynamischen Verhaltens der Holztafelbauweise auch hier zu reduzierten Erdbebenlasten führt. Die genaue programmtechnische Ermittlung der Schwingdauer ergibt knapp 30% geringere Erdbebenlasten. Auch die Schätzformel des EC8 sowie die nach Müller/Keintzel ergebene deutlich geringere Erdbebenlasten im Vergleich zum Plateauwert. Die Abweichungen der Schätzformeln zur genauen dynamischen Analyse liefern Ergebnisse auf der sicheren Seite. Für die Praxis ist die Schätzformel nach Müller/Keintzel zu empfehlen. Diese

Abb. 7: Erdbebenbeanspruchung in Abhängigkeit von T₁

Mit der Eigenschwingdauer kann, wie in Teil 1 beschrieben, die Bemessungsbeschleunigung aus dem Antwortspektrum abgelesen bzw. berechnet werden und ergibt mit Multiplikation mit der Gebäudemasse die Gesamterdbebenlast.

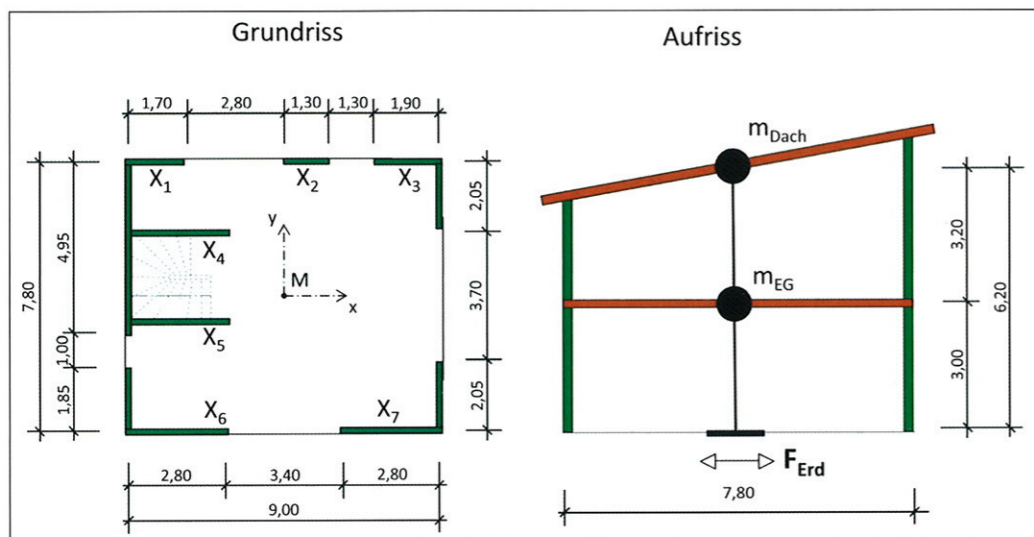
Unter Berücksichtigung des dynamischen Verhaltens können die Erdbebenlasten im Gegensatz zum Plateauwert in der Regel reduziert werden. Dies soll das nachfolgende Kurzbeispiel verdeutlichen.

Berechnungsbeispiel

Die Berechnung der Eigenschwingzeit soll vergleichend für das Beispielgebäude aus dem ersten Teil des Beitrages durchgeführt werden. Die maximale Erdbebenbelastung aus dem entsprechenden Antwortspektrum (Plateauwert) ergab sich zu F_{Erd} = 200,25 kN.

Es soll hier nur die x-Richtung betrachtet werden. Alle aussteifenden Holztafelwände in dieser Richtung haben einen identischen Aufbau nach Tabelle 2.

Abb. 8: Grundriss und Aufriss des Beispielgebäudes



führt auf verhältnismäßig einfache Weise zu ausreichend genauen Ergebnissen.

In diesem Beispiel wurden die Erdbebenlasten allein durch die Berücksichtigung des dynamischen Verhaltens reduziert. Weitere Reserven liegen im günstigen duktilen Verhalten der Holztafelbauweise. Wie in Teil 1 bereits ausführlich beschrieben, kann die Holztafelbauweise aufgrund der Vielzahl von stiftförmigen Verbindungsmitteln in die höchste Duktilitätsklasse 3 (DCH) mit einem maximalen Verhaltensbeiwert von

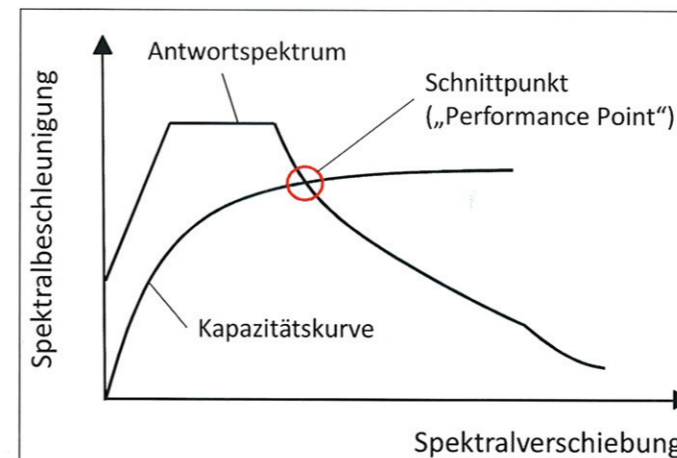


Abb. 9: Nachweisprinzip der Kapazitätsspektrum-Methode

q = 4,0 eingestuft werden. Das bedeutet die Erdbebenlast kann noch weiter um den Faktor 4 abgemindert werden.

$$F_{Erd,d} = \frac{143,0}{4,0} = 35,75 \text{ kN}$$

Jedoch ist bei dem Ansatz der höheren Duktilitätsklassen vom Ingenieur immer eine Kapazitätsbemessung erforderlich (siehe Teil 1).

Zusammenfassung

Der zweiteilige Beitrag hat gezeigt, wie Gebäude in der Holztafelbauweise erdbebensicher konstruiert und bemessen werden können. Insbesondere durch die Nachgiebigkeit in den Verbindungsmitteln besitzt die Holztafelbauweise ein gutmütiges Schwingungsverhalten. Dieses sinnvoll abzuschätzen kann durch gegebene Schätzformeln unter Berücksichtigung der Ersatzsteifigkeiten zu reduzierten Erdbebenlasten führen. Bei stärker beanspruchten Gebäuden können durch den Ansatz des Verhaltensbeiwertes q, welcher plastisches Verformungsverhalten berücksichtigt, weitere Tragreserven berücksichtigt werden.

Ausblick

In den beiden Teilen des Beitrags wurde ausschließlich das Antwortspektrum-Verfahren behandelt, welches auf einer linear-elastischen Ver-

formung der aussteifenden Bauteile beruht. Daneben existiert noch eine weitere nicht-lineare Methode, um die Erdbebensicherheit eines Gebäudes nachzuweisen: Die Kapazitätsspektrum-Methode. Dabei wird zunächst auf Grundlage von Wandversuchen von Holztafeln der Widerstand des Gebäudes in Form einer Last-Verformungskurve des Gesamttragwerks ermittelt. Anschließend wird diese Lastverformungskurve (auch „Kapazitätsspektrum“ genannt) mit der Erdbebenbelastung in Form des entsprechenden Antwortspektrums in ein gemeinsames Diagramm transformiert. Ergibt sich in dem Diagramm ein Schnittpunkt der beiden Kurven, so ist der Erdbebennachweis erfüllt.

Bei dieser Methode wird das duktile Verhalten der Holztafelbauweise genauer berücksichtigt, als bei einer pauschalen Abminderung der Lasten durch den Verhaltensbeiwert q. Diese Nachweismethodik könnte die Zukunft stärker beanspruchter Erdbebenzonen darstellen, um dort die Erdbebensicherheit mehrgeschossiger Holzbauten wirtschaftlicher nachzuweisen. ■

Literaturverweise

[1] Kessel, M. H.: Scheibenbeanspruchung von Tafeln, Erläuterungen zu den Abschnitten 8.7 und 10.6 der DIN 1052-08/2004, Deutsche Gesellschaft für Holzforschung DGfH

[2] Hoffmeister, B., Roeser, W., Walter, B.: Erdbeben nach DIN 4149 und EC8- Konstruktive Durchbildung von Bauwerken in Massiv-, Stahl- und Holzbauteile, Seminarreihe der Ingenieurakademie West e.V.

best wood SCHNEIDER

vorverputzte WALL 140/180

Mit Klebe- und Armierungsmörtel (UP) vorverputzte Holzfaser-Dämmplatte WALL 140/180

- bis zu 5 Monate frei bewitterbar
- erspart die Zahnpachtelung auf der Baustelle (das bedeutet 1 Arbeitsgang weniger)
- gleichmäßige Schichtstärke durch maschinellen Auftrag
- zulassungskonform im best wood WDVS

NEU!

best wood Produktpalette

Holzfaser-Dämmstoffe:

- FLEX 50
- MULTITHERM 110/140
- TOP 140/160/180/220
- WALL 140/180, ROOM 140
- FLOOR 140/220
- Zubehör
- WDVS

Holz für den modernen Hausbau:

- BSH Brettschichtholz
- DUO-/TRIO-BALKEN®
- Wandholz
- KVH®
- Deckensysteme
- Blockhausbohlen

Anwenderbroschüren!

Nützliche Hilfen zu Aufbau und Verarbeitung der best wood Aufdachdämmung und dem Wärmedämmverbundsystem (WDVS).



NEU!

Gleich anfordern!

Holzwerk Gebr. Schneider GmbH

Kappel 28
88436 Eberhardzell
Tel +49 (0)7355 9320-0
Fax +49 (0)7355 9320-300
info@schneider-holz.com
www.schneider-holz.com

