

fermacell[®]



**Erdbebengerechte
Holzbauten
mit FERMACELL
Gipsfaser-Platten**



Einleitung

Mit dem Vordringen in den Bereich mehrgeschossiger Bauten und den aktuellen Erdbebenbestimmungen in den schweizerischen SIA-Tragwerksnormen stellt sich für den Holzbau die Frage der Erdbebensicherheit neu.

Die Sensibilität und das Verständnis bezüglich der horizontalen Gebäudeaussteifung für die Lastfälle Wind und Erdbeben haben in den letzten Jahren deutlich zugenommen.

Heute ist bekannt, dass in Abhängigkeit der Baugrundeigenschaften und der Gebäudegeometrie der Lastfall Erdbeben für die horizontale Aussteifung bereits für zweigeschossige Wohnbauten massgebend werden kann. Die erhöhten Anforderungen an das Schwingungsverhalten von Geschossdecken und an den Brand- und Schallschutz im Allgemeinen haben zwangsläufig zu grösseren Eigenmassen von Holzbauten geführt. Aus der zusätzlichen Masse resultieren im Falle eines Erdbebens grössere Trägheitskräfte, die durch die aussteifenden Tragelemente in den Baugrund abzutragen sind.

Unabhängig von der horizontalen Einwirkung werden die aussteifenden Tragelemente von mehrgeschossigen Holzbauten in der Regel durch Wandscheiben in Holzrahmenbauweise realisiert. Diese Bauteile zeichnen sich insbesondere durch ihre vielseitige Anwendung und der, bei richtiger Konzeption, sehr grossen Tragfähigkeit aus. Als Beplankung der Wandscheiben eignen sich neben Holzwerkstoffen insbesondere FERMACELL Gipsfaser-Platten.

Die vorliegende Broschüre ist als Ergänzung zur Publikation **Erdbebenerechte mehrgeschossige Holzbauten (LIGNUM Holzwirtschaft Schweiz 2010) (1)** gedacht, die sich intensiv mit der erdbebengerechten Bemessung von Wandscheiben in Holzbauweise auseinandersetzt. In dieser Publikation wird die Vorgehensweise von der Vorbemessung bis hin zur definitiven Nachweisführung von Tragwänden in Holzrahmenbauweise anhand eines Beispiels aufgezeigt. Die Broschüre von FERMACELL knüpft an die Ausführungen der Publikation zu Tragwänden in Holzrahmenbauweise an.

Sie bietet dem interessierten Holzbauingenieur bzw. Holzbauingenieur wertvolle Zusatzinformationen, um solche aussteifenden Tragwände mit FERMACELL auszuführen.

Neben allgemeinen Informationen zum Thema Erdbeben sind in der Broschüre analog zur Publikation der Lignum Ersatzsteifigkeiten und Tragwiderstände von mit FERMACELL beplankten Wandscheiben enthalten, die für eine vereinfachte Vorbemessung verwendet werden können. Um Wiederholungen zu vermeiden, wird unter dem Begriff **Publikation LIGNUM** vermehrt auf die oben genannte Fachliteratur verwiesen.

Inhalt

1 Erdbebengefährdung in der Schweiz.....	Seite 3
2 Tragwerksanalyse und Bemessung.....	Seite 5
2.1 Erdbebenzonenkarte.....	Seite 5
2.2 Einfluss der Baugrunderklassen.....	Seite 6
2.3 Bemessungsspektren ...	Seite 7
2.4 Tragwerksanalyse der horizontalen Aussteifung.....	Seite 8
2.5 Duktile oder nicht duktile Bemessung.....	Seite 10
2.6 Erdbebenerechte Konzeption des Tragwerks.....	Seite 13
3 Erdbebensicherheit mit FERMACELL.....	Seite 16
3.1 Versuchsprogramm.....	Seite 16
3.2 Einsatz von FERMACELL Gipsfaser-Platten.....	Seite 18
4 Vorbemessung von Wandscheiben.....	Seite 20
4.1 Abschätzung der Grundschnitzzeit.....	Seite 20
4.2 Gebrauchstauglichkeit unter Windeinwirkung ...	Seite 20
4.3 Berechnung der Stockwerkauslenkung für Wind und Erdbeben.....	Seite 21
5 Bemessungswerte des Tragwiderstandes.....	Seite 26
5.1 Kenndaten und Einflussfaktoren für die Bemessung.....	Seite 26
5.2 Berechnung des Bemessungswertes des Tragwiderstandes ...	Seite 27

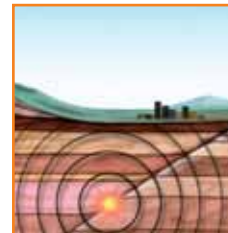
1 Erdbebengefährdung in der Schweiz

In der Schweiz wird die Erdbebengefährdung im mitteleuropäischen Vergleich als schwach bis mässig beurteilt. Ereignisse in der Vergangenheit haben aber aufgezeigt, dass auch hierzulande Erdbeben von mittlerer bis grosser Stärke wahrscheinlich sind. Erdbebengefährdet sind insbesondere die Alpen- und Voralpenregionen und die beiden Kantone Basel Stadt und Basel Land im geologischen Einzugsgebiet des Rheingrabens. Die meisten Erdbeben werden durch natürliche Brüche in der Erdkruste ausgelöst; sie können jedoch auch künstliche Ursachen wie starke Explosionen, Tiefenbohrungen, erstmaliges auf-füllen von Stauseen etc. haben. Die stärksten Erdbeben entstehen entlang der tektonischen Platten. Im Bereich dieser Plattengrenzen gibt es im Untergrund unzählige Trennflächen, die sogenannten Verwerfungen (siehe Abbildung).

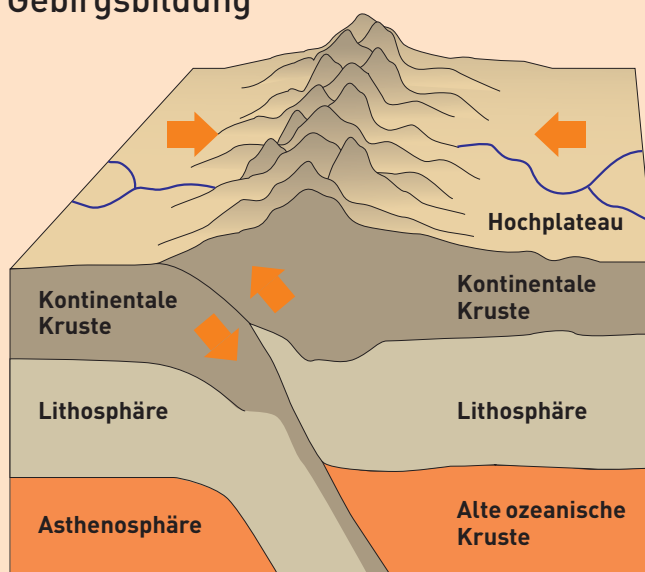
An diesen Stellen kommt es infolge der relativen Verschiebung der benachbarten Gesteinsmassen zu einem Spannungsaufbau. Während Jahrzehnten oder gar Jahrhunderten wird dabei Deformationsenergie aufsummiert und gespeichert. Die Grösse dieser Verwerfungen variiert von wenigen Metern bis zu mehreren hundert Kilometern. Wenn die Spannungen in den benachbarten Gesteinsschichten so gross werden, dass der gegenseitige Reibungswiderstand dieser Schichten überschritten wird, ist eine abrupte Entspannung mit einer ruckartigen Verschiebung im Bereich der Verwerfung die Folge.

Dieser Bewegungsvorgang findet nicht in der gesamten Fläche der Verwerfung gleichzeitig statt. Er entsteht an der Stelle, wo sich der geringste Reibungswiderstand befindet. Diese Stelle wird in der Fachsprache als Erdbebenherd oder Hypozentrum bezeichnet.

Ausgehend vom Hypozentrum breitet sich die Bruchfront mit einer Geschwindigkeit von rund drei Kilometern pro Sekunde aus. Bei diesem Vorgang werden die Gesteinsmassen in Schwingung versetzt. Rund 99 % der gespeicherten Deformationsenergie werden bei der gegenseitigen Verschiebung der Gesteinsmassen in Reibungswärme umgewandelt. Ein Prozent der Energie geben die schwingenden Gesteinsmassen an das umgebende Gestein weiter, indem sie dieses ebenfalls zum Schwingen anregen. Die Folge ist die Entstehung von Erdbebenwellen, die sich vom Hypozentrum aus in alle Richtungen ausbreiten.

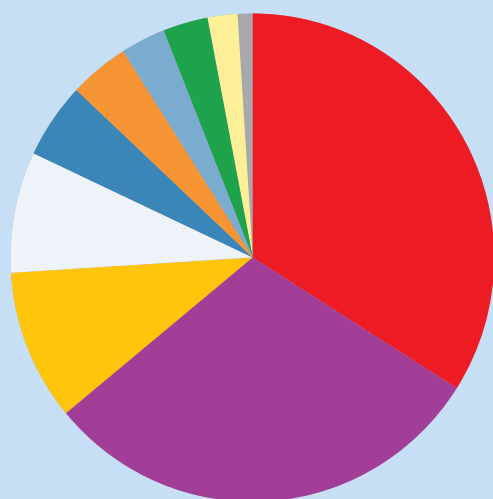
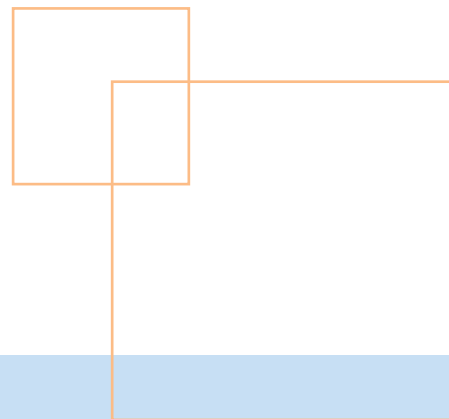


Gebirgsbildung



Bis in die 70er Jahre wurde die Erdbebensicherheit von Bauwerken in der Schweiz vernachlässigt. Das ist einer der Gründe, weshalb rund 90 % der Bauwerke aus dieser Zeit hinsichtlich der Erdbebensicherheit gravierende Mängel aufweisen. Die Schadensanfälligkeit wird durch die Tatsache verstärkt, dass bis zum Jahr 2003 die geologischen Standorteffekte in den Tragwerksnormen unzureichend berücksichtigt worden sind.

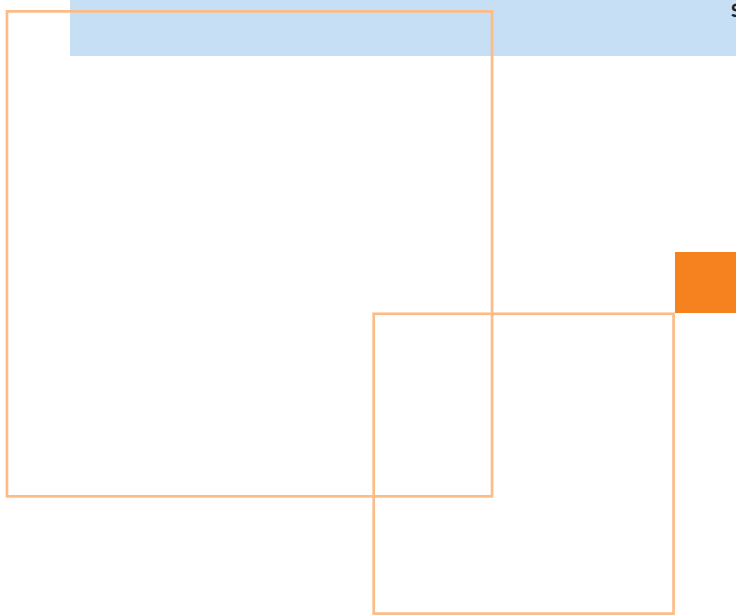
Im Holzbau wurde der Lastfall Erdbeben bis vor kurzem gar gänzlich vernachlässigt. Die Auffassung, dass Holz sich gegenüber Erdbeben gutmütig verhält und der Lastfall Erdbeben nicht bemessungsrelevant ist, war über lange Zeit weitverbreitet. Heute ist bekannt, dass diese Aussage falsch war und der Lastfall Erdbeben gegenüber dem Lastfall Wind schon bei zweigeschossigen Einfamilienhäusern massgebend werden kann.



20 Milliarden Franken pro Jahr

- Erdbeben 34%
- Epidemien 30%
- Überschwemmungen 10%
- Unfälle mit Radioaktivität 8%
- Trockenheit 5%
- Kältewellen 4%
- Stürme 3%
- Migration 3%
- Unfälle mit Talsperren 2%
- Lawinen 1%

Statistische Verteilung der Risiken in der Schweiz (KATARISK 2003) (2)



Die Risikoabschätzung des KATARISK (siehe Grafik) aus dem Jahre 2003 zeigt anschaulich auf, wie gross das Risiko eines mittleren bis grossen Erdbebens im Vergleich mit den übrigen Naturgefahren in der Schweiz tatsächlich ist. Das Schadenspotenzial eines derartigen Ereignisses ist beträchtlich und je nach Stärke des Erdbebens mit enormen Kosten im zwei- bis dreistelligen Milliardenbereich verbunden.

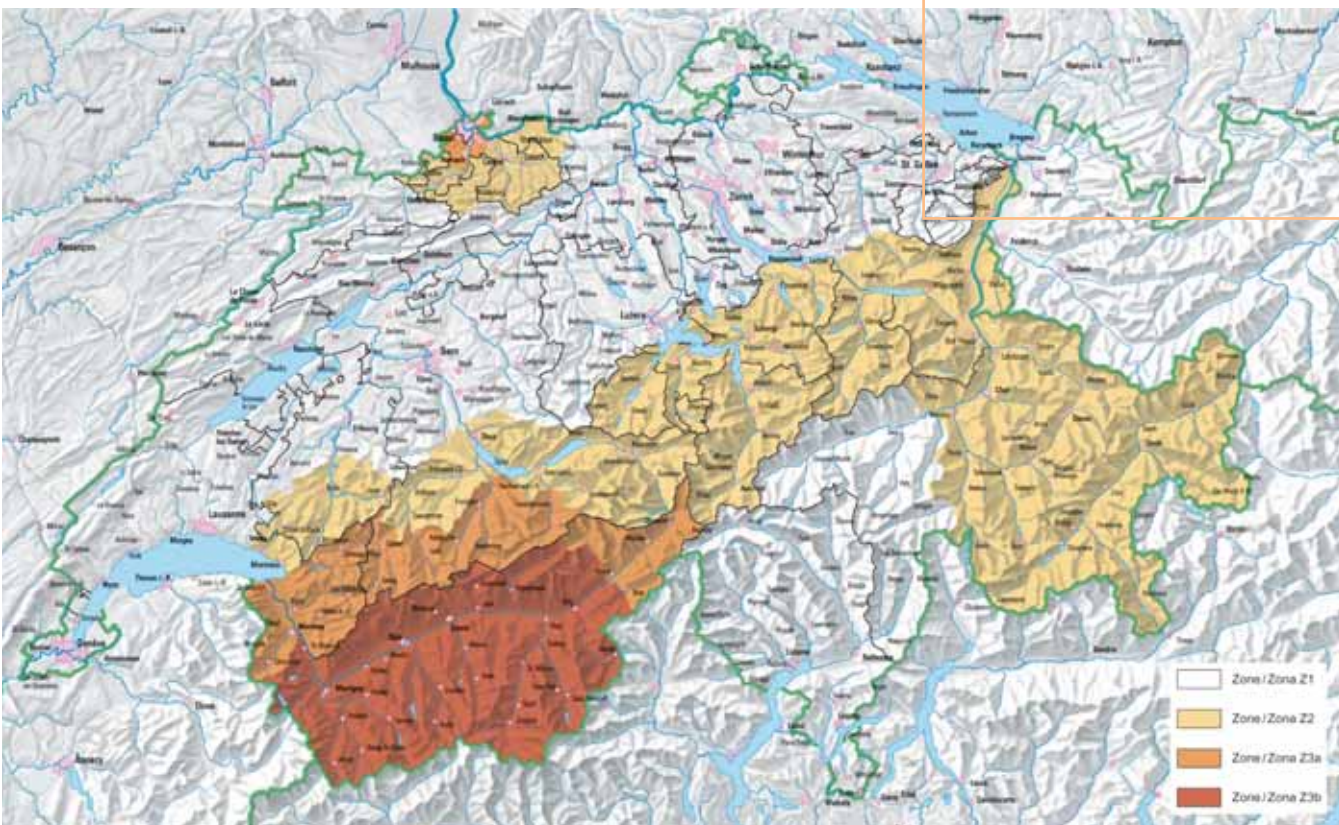
2 Tragwerksanalyse und Bemessung

2.1 Erdbebenzonenkarte der Norm SIA 261 (2003)

Die Intensität eines Erdbebens kann auf unterschiedliche Weise quantifiziert werden. Eine Kenngrösse ist die maximal zu erwartende horizontale Bodenbeschleunigung, die während eines Erdbebens in einer bestimmten Region auftreten kann. Dabei gilt es zu beachten, dass die Intensität der messbaren Bodenbeschleunigung von der Beschaffenheit des Untergrundes abhängig ist. In der Schweiz wird das Risiko der Erdbebengefährdung anhand instrumentell erhobener Messdaten und durch die Aufzeichnungen historischer Erdbeben abgeschätzt. Die dazu verwendeten Berechnungsmodelle werden permanent den aktuellsten Daten und dem neuesten Stand der seismischen Befunde angepasst. Basierend auf solchen

Modellen wurde die Erdbebengefährdungskarte der Norm SIA 261 (2003) mit der zu erwartenden horizontalen Bodenbeschleunigung in hartem Felsgestein festgelegt. Die geographischen Gebiete der Schweiz werden auf dieser Karte in die vier Erdbebenzonen Z1, Z2, Z3a und Z3b mit den dazugehörigen Beschleunigungswerten $0,6 \text{ m/s}^2$, $1,0 \text{ m/s}^2$, $1,3 \text{ m/s}^2$ und $1,6 \text{ m/s}^2$ eingeteilt. Die entsprechenden Bemessungswerte der horizontalen Bodenbeschleunigung fliessen als Faktoren in die Berechnung des elastischen Antwortspektrums und des Bemessungsspektrums ein.

Gefährdungszonen Erdbeben
aus der Norm SIA 261
(2003) Anhang F (5)



2.2 Einfluss der Baugrundklassen

Die lokalen Baugrundverhältnisse haben einen entscheidenden Einfluss auf Stärke und dominanten Frequenzgehalt der Erdbebenanregung. Vor allem bei weicheren Böden kann es lokal, im Vergleich zu felsigem Untergrund, zu massiven grösseren Bodenbewegungen kommen. Die Norm SIA 261 (2003) unterscheidet aus diesem Grunde die sechs verschiedenen Baugrundklassen A bis F. Für die Baugrundklassen A bis E werden die Parameterwerte für die Berechnung des

Bemessungsspektrums angegeben (siehe Tabelle). Für die Baugrundklasse F (strukturempfindliche und organische Ablagerungen) sowie für Standorte, deren Baugrundverhältnisse nicht in die Baugrundklassen A bis E eingeordnet werden können, sind besondere bodendynamische Untersuchungen zur Bestimmung des Bemessungsspektrums erforderlich. Im Allgemeinen kann die Einstufung in eine Baugrundklasse aufgrund eines geotechnischen Berichts ohne weitergehende

Untersuchungen vorgenommen werden. Zurzeit sind in der Schweiz Arbeiten auf dem Gebiet der seismischen Mikrozonierung im Gang. Das Bundesamt für Umwelt BAFU hat Karten der Baugrundklassen gemäss Norm SIA 261 (2003) veröffentlicht, die online freizugänglich sind (http://prod.swiss-topogeodata.ch/kogis_apps/erdbeben/) und in den nächsten Jahren für die Hauptsiedlungsgebiete vervollständigt werden.

Baugrundklasse	Beschreibung	v_s [m/s]	N_{SPT} [cm]	S_u [kN/m ²]	S	T_B [s]	T_c [s]	T_D [s]
A	Harter Fels (z.B. Granit, Gneis, Quarzit, Kieselkalk, Kalk) oder weicher Fels (z.B. Sandstein, Nagelfluh, Juramergel, Opalinuston) unter max. 5 m Lockergesteinsabdeckung	>800	–	–	1.00	0.15	0.5	2.0
B	Ablagerungen von grossräumig zementiertem Kies und Sand und/oder vorbelastetes Lockergestein mit einer Mächtigkeit über 30 m	400...800	>50	>250	1.20	0.15	0.6	2.0
C	Ablagerungen von normal konsolidiertem und unzementiertem Kies und Sand und/oder Moränenmaterial mit einer Mächtigkeit über 30 m	300...500	15...50	70...250	1.15	0.2	0.8	2.0
D	Ablagerungen von nicht konsolidiertem Feinsand, Silt und Ton mit einer Mächtigkeit über 30 m	150...300	<15	<70	1.35	0.2	0.5	2.0
E	Alluviale Oberflächenschicht der Baugrundklassen C oder D mit einer Mächtigkeit zwischen 5 und 30 über einer steiferen Schicht der Baugrundklassen A oder B	–	–	–	1.40	0.15	0.5	2.0
F1	Strukturempfindliche und organische Ablagerungen (z.B. Torf, Seekreide, Rutschmassen) mit einer Mächtigkeit über 10 m	–	–	–	–	–	–	–
F2	Aktive oder reaktivierbare Rutschungen	–	–	–	–	–	–	–

Baugrundklassen und Parameterwerte für das Bemessungsspektrum gemäss Norm SIA 261 (2003) [5]

Die Bedeutung der Baugrundklassen kann verdeutlicht werden, indem die maximalen Verhältnisse zwischen den Bemessungsspektren der Baugrundklassen A und D und den Bemessungswerten der horizontalen Bodenbeschleunigung

der Erdbebenzonen Z1 und Z3b einander gegenübergestellt werden (siehe Abbildung Bemessungsspektren Seite 7). Für die Grundschnitzzeit von 0,80 Sekunden gilt:

$$\frac{S_{d,D}}{S_{d,A}} = \frac{0,229}{0,085} = 2,69 > \frac{a_{gd,Z3b}}{a_{gd,Z1}} = \frac{1,60 \text{ m/s}^2}{0,60 \text{ m/s}^2} = 2,66$$

S_d = Ordinatenwert des Bemessungsspektrums [-]

a_{gd} = Bemessungswert der horizontalen Bodenbeschleunigung [m/s²]

Es zeigt sich, dass bei einer ungünstigen Baugrundklasse die zu berücksichtigende Erdbebeneinwirkung sehr stark ansteigt.

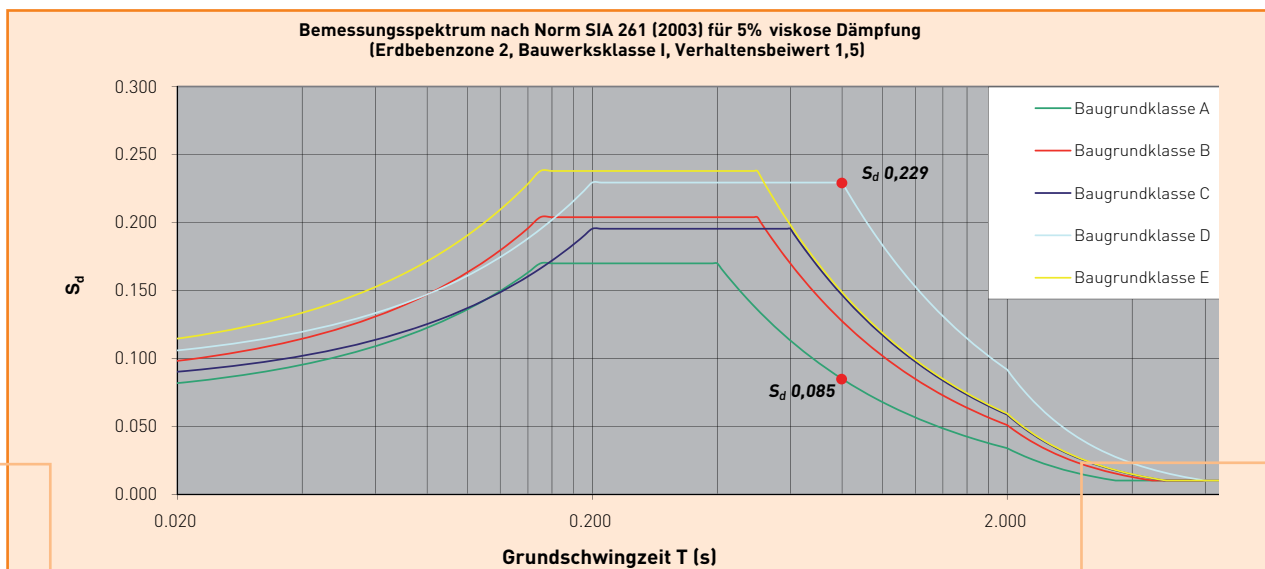
Für eine Grundschnitzzeit von 0,8 s entspricht das Verhältnis der S_d -Werte für die Baugrundklasse D zu A in etwa dem Verhältnis der Erdbebenzone 3b zur Erdbebenzone 1.

2.3 Bemessungsspektren

In der Norm SIA 261 (2003) sind die Funktionen der elastischen Antwortspektren und der Bemessungsspektren in Abhängigkeit der relevanten Parameter definiert. Die elastischen Antwortspektren werden primär für verformungsbasierte Bemessungsverfahren (z.B. Pushover Analyse) verwendet. Für die Erdbebenberechnung nach dem Ersatzkraft- oder dem Antwortspektrenverfahren werden die Bemessungsspektren verwendet. Die Reserven des Tragwerks über das elastische Verhalten hinaus werden bei den Bemessungsspektren mit dem Verhaltensbeiwert q berücksichtigt. Für Holztragwerke ist der Verhaltensbeiwert q abhängig von der Einstufung in die Tragwerkstypen A–D gemäss Norm SIA 265 (2003). Die zugehörigen Verhaltensbeiwerte betragen 1,5, 2,0, 2,5 und 3,0. Für Tragwände in Holzrahmenbauweise

mit aufgekammerter Beplankung kann, unter der Bedingung, dass die Anforderungen unter den Ziffern 4.6.2 bis 4.6.3 der Norm SIA 265 (2003) eingehalten werden, ein Verhaltensbeiwert von 3,0 angesetzt werden. Der Ordinatenwert des Bemessungsspektrums S_d wird in Abhängigkeit der Grundschnitzzeit mit den Formeln (30) bis (33) der Norm SIA 261 (2003) berechnet. Die Grundschnitzzeit ist der Kehrwert der Eigenfrequenz des aussteifenden Tragwerks und entspricht der Zeitspanne eines Schwingungszyklus. Tragwerke aus Holz weisen oft Schwingzeiten über 1 Sekunde auf. Sie befinden sich daher meistens im abfallenden Ast der Bemessungsspektren, d.h. im Bereich, wo die Erdbebeneinwirkung stark abhängig von der Grundschnitzzeit ist. Die Grundschnitzzeit ist somit einer der wichtigsten Einflussgrössen, die in

die Berechnung der Erdbebenanalyse einfliesst. Eine vereinfachte Berechnung der Grundschnitzzeit kann anhand der Formeln (38) und (39) der Norm SIA 261 (2003) erfolgen. Für Holzbauten wird allerdings von der Anwendung der Formel (38) abgeraten, da die Resultate eher ungünstig ausfallen und die Erdbebenersatzkräfte in der Regel zu gross werden. Mit der Formel (39) wird die Steifigkeit des Tragwerks in der Berechnung berücksichtigt. Die benötigten Werte der Schubsteifigkeit $(GA^*)_{\text{Ersatz}}$, die zur Berechnung der Verformung u verwendet wird, kann anhand der Diagramme (siehe Kapitel 4.3.2) in dieser Broschüre abgeschätzt werden. Weitere Ausführungen zur Thematik der Grundschnitzzeit und deren Berechnung sind in der **Publikation LIGNUM** in Kapitel 3.1, 5.2, 5.5 und 6.2 enthalten.



Bemessungsspektren der Baugrundklassen A bis E für 5% viskose Dämpfung nach Norm SIA 261 (2003) (7)

2.4 Tragwerksanalyse der horizontalen Aussteifung

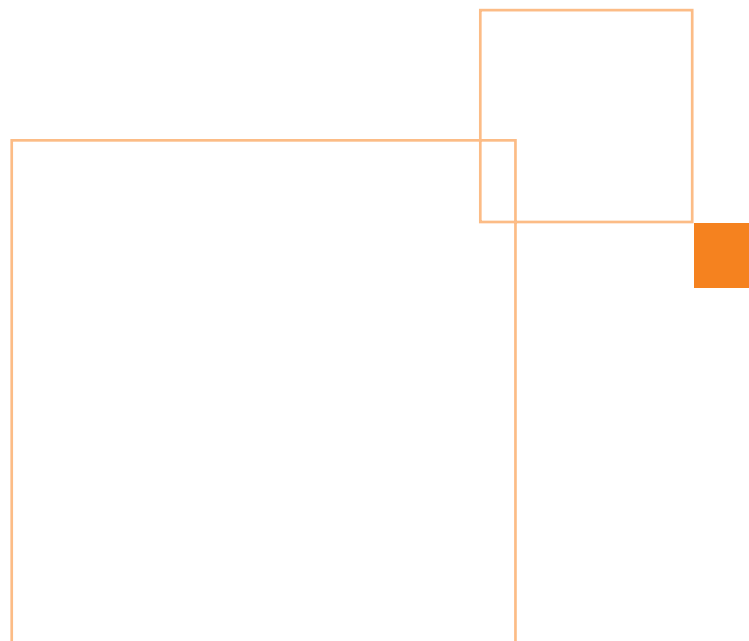
In der Norm SIA 261 (2003) werden in Abhängigkeit der Regelmässigkeit des Tragwerks für die Tragwerksanalyse das Ersatzkraftverfahren und das Antwortspektrenverfahren vorgeschlagen.

Beim Ersatzkraftverfahren wird die dynamische Problemstellung auf eine statische Berechnung zurückgeführt. Die Erdbebeneinwirkung wird durch statische Ersatzkräfte dargestellt. Als einzige dynamische Grösse benötigt man die Grundschwingzeit des Bauwerks. Diese kann am Tragwerksmodell berechnet oder mit Näherungsverfahren abgeschätzt werden. Das Ersatzkraftverfahren führt allerdings nur zu befriedigenden Resultaten, wenn beim Schwingungsverhalten des Bauwerks die Grundschiwingung dominiert und höhere Eigenschwingungsformen vernachlässigt werden können.

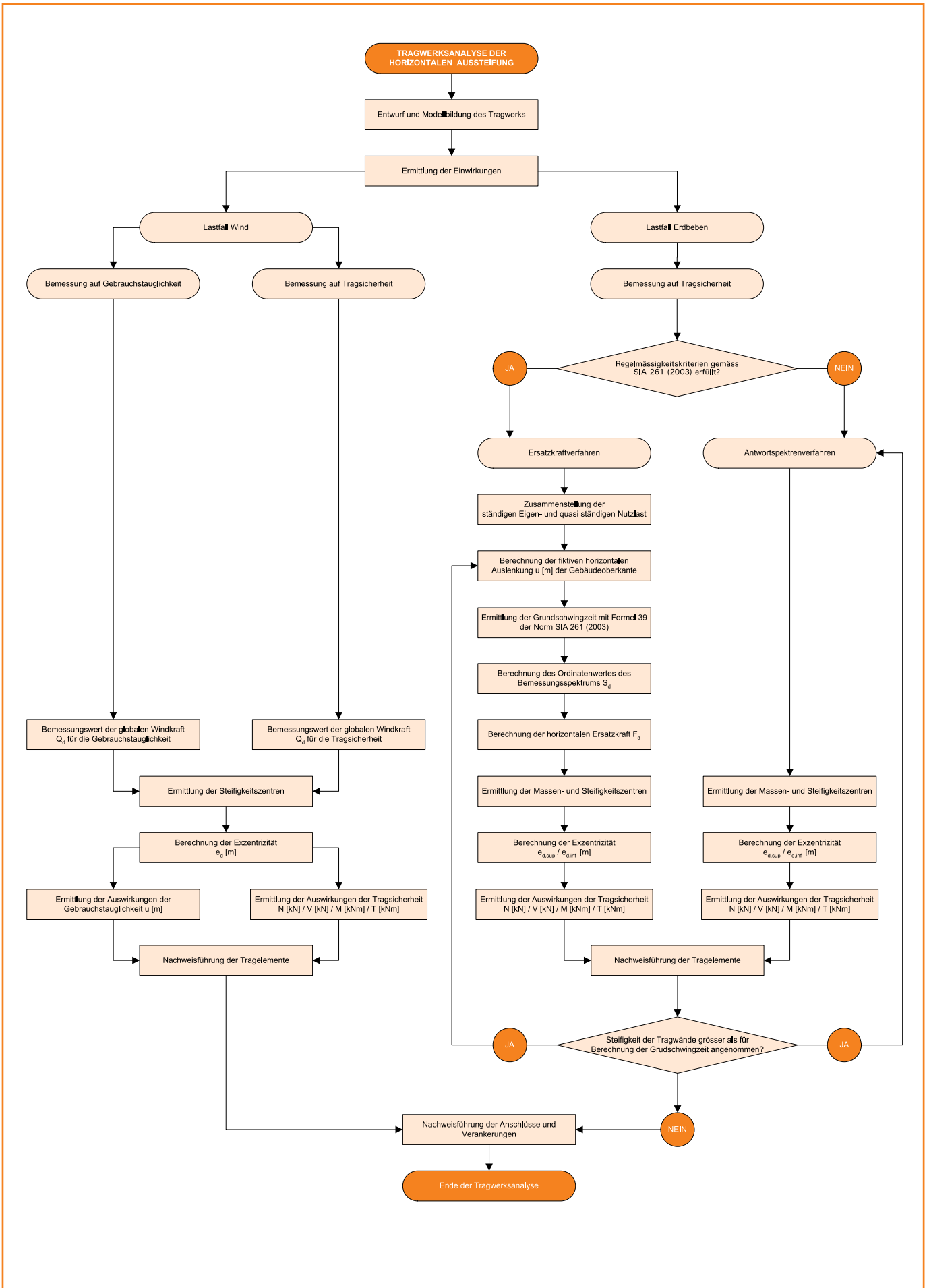
Das ist nur dann der Fall, wenn die Aussteifung im Grund und Aufriss nahezu symmetrisch bzw. der Abstand zwischen Massen- und Steifigkeitszentrum klein ist. Die entsprechenden Regelmässigkeitskriterien in Grund- und Aufriss für die Anwendbarkeit des Ersatzkraftverfahrens sind in Ziffern 16.5.1.3 und 16.5.1.4 der Norm SIA 261 (2003) festgehalten.

Das Antwortspektrenverfahren basiert dagegen auf dem linearen Mehrmassenschwinger und berücksichtigt neben der ersten Eigenform auch die höheren Schwingungsformen. Die Maximalantwort jeder berücksichtigten Eigenform wird schliesslich zur maximalen Gesamtantwort überlagert. Im Rahmen dieser Broschüre wird nicht näher auf das Antwortspektrenverfahren eingegangen. Weitere Ausführungen zum Antwortspektrenverfahren sind in der **Publikation LIGNUM** enthalten.

Parallel zum Lastfall Erdbeben muss in der Tragwerksanalyse der horizontalen Aussteifung der Lastfall Wind berücksichtigt werden. Insbesondere hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit kann Wind für die Bemessung massgebend werden. Auf der anderen Seite wird Erdbeben oftmals für die Tragsicherheit massgebend. Das nachfolgende Ablaufdiagramm zeigt eine mögliche Vorgehensweise zur Tragwerksanalyse der horizontalen Aussteifung auf.



Ablaufdiagramm für die Tragwerksanalyse der Horizontalen Aussteifung für Wind und Erdbeben (7)

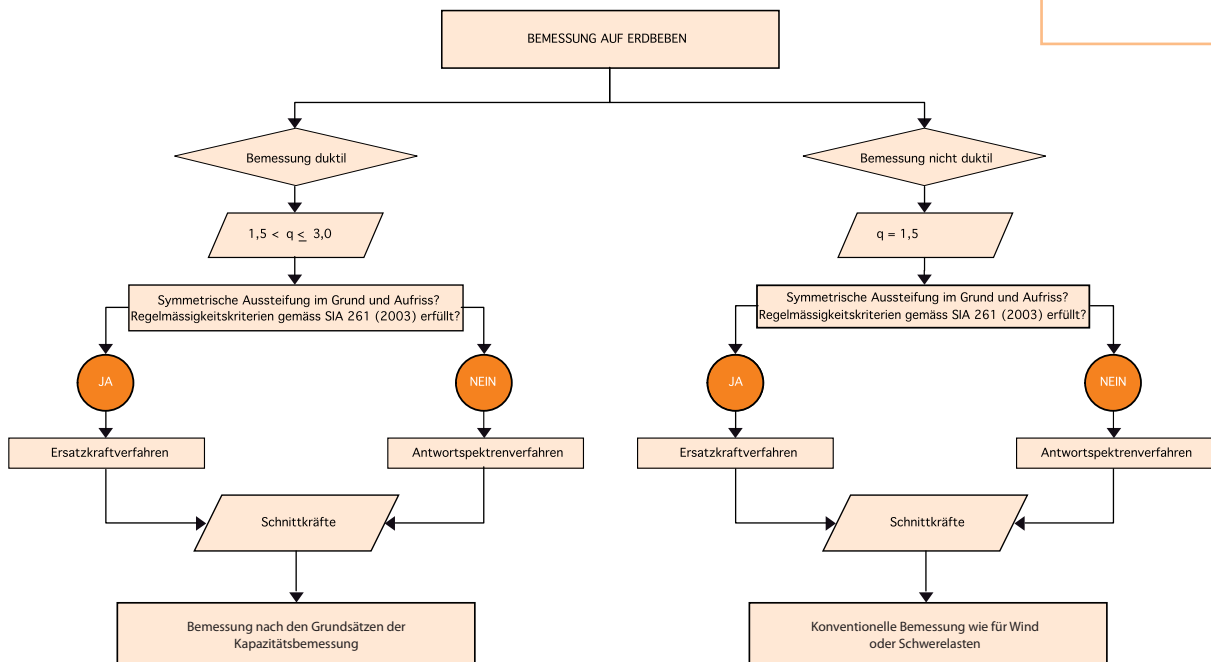


2.5 Duktile oder nicht duktile Bemessung?

In der Norm SIA 261 (2003) stehen grundsätzlich zwei Konzepte der Erdbebenbemessung zur Verfügung: das Konzept des nicht duktilen Tragwerksverhaltens und das Konzept des duktilen Tragwerksverhaltens. Letzteres beruht auf den Erkenntnissen des modernen Erdbebeningenieurwesens (Kapazitätsbemessung). Im Allgemeinen ist das Konzept des nicht duktilen Tragwerksverhaltens nur bei kleinen Erdbebenschnittkräften zu empfehlen, wenn diese gegenüber Wind nicht massgebend werden, d.h. für leichte Bauwerke in den niedrigen Erdbebenzonen und bei günstigen Baugrundverhältnissen. In den übrigen Fällen kann das nicht duktile Tragwerksverhalten zu unwirtschaftlichen Lösungen führen, und es sollte das duktile Tragwerksverhalten gewählt werden.

Die Wahl des duktilen Bemessungskonzeptes erlaubt die Verwendung eines günstigeren q -Faktors. Die Auswirkungen aus dem Lastfall Erdbeben werden dadurch wesentlich kleiner als beim nicht duktilen Bemessungskonzept. Für Holzrahmenbauwände mit aufgeklammerter Beplankung (q -Faktor 3,0) halbieren sich dadurch die Auswirkungen für das Tragwerk im Lastfall Erdbeben gegenüber dem nicht duktilen Bemessungsverfahren (q -Faktor = 1,5). Diesem Vorteil steht die wesentlich aufwendigere Bemessung der Tragwände gegenüber, da die Grundsätze der Kapazitätsbemessung zwingend einzuhalten sind. Das nachfolgende Ablaufdiagramm zeigt die wesentlichen Unterschiede der beiden Bemessungsverfahren auf.

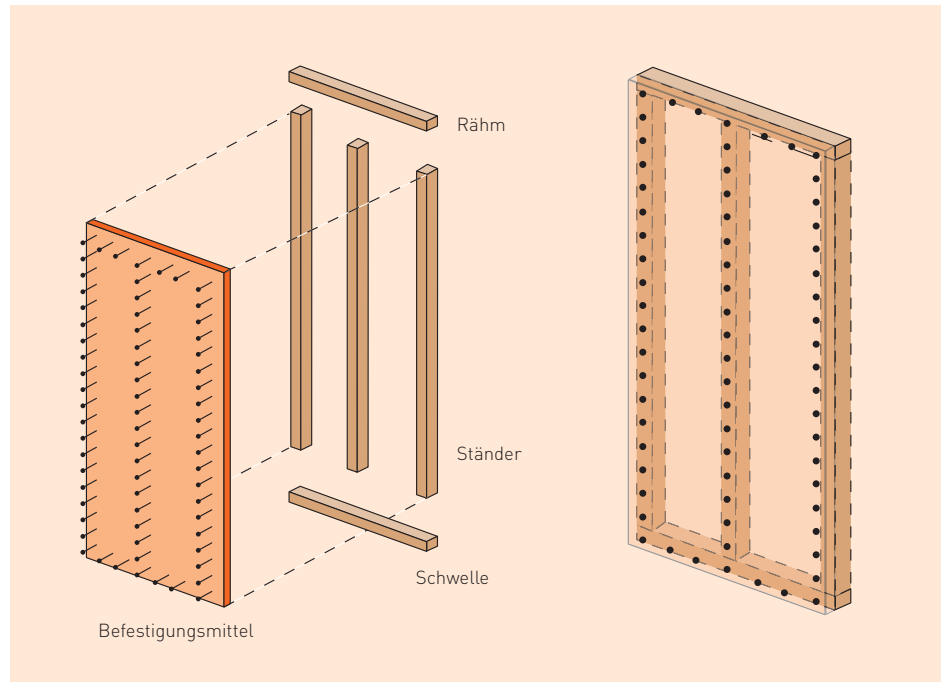
Ablaufdiagramm für die duktile bzw. nicht duktile Tragwerksanalyse für den Lastfall Erdbeben (7)



2.5.1 Duktilität von Holzrahmenbauwänden

Die Duktilität ist neben dem Tragwiderstand der wichtigste Kennwert des Erdbebenverhaltens von Tragwerken. Unter Duktilität versteht man das durch irreversible Verformungen und Energiedissipation charakterisierte plastische Verformungsvermögen. Um ein genügendes Erdbebenverhalten für ein bestimmtes Bemessungsbeben zu erzielen, kann für ein Tragwerk entweder ein hoher Tragwiderstand mit kleiner Duktilität, ein niedriger Tragwiderstand mit hoher Duktilität oder auch ein mittlerer Tragwiderstand mit einer mittleren Duktilität gewählt werden.

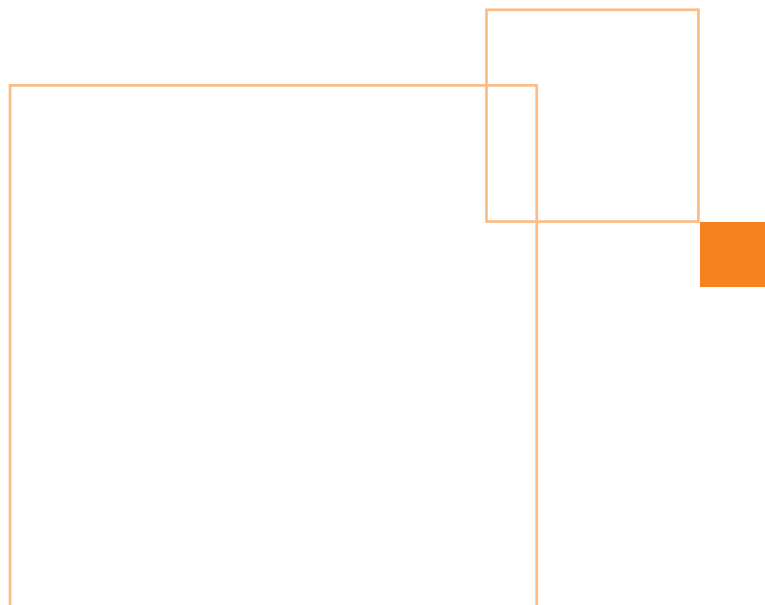
Im Holzbau werden duktile Ketten durch das Koppeln nicht duktiler Tragelemente mit metallischen Verbindungsmitteln gebildet. Um die zyklische Plastifizierung der Verbindungsmittel vollumfänglich für die Transformation der kinetischen Energie in Reibung und Wärme zu nutzen (Energiedissipation), müssen die nicht duktilen Tragelemente (Holz, Holzwerkstoffe, Gipsfaserplatten etc.) gegenüber den duktilen Komponenten (Klammern, Nägel, Stabdübel etc.) entsprechend überbemessen werden. Die Norm SIA 265 (2003) schlägt hierzu eine



Überbemessung von 20 % vor. Wichtig ist, dass für die Überbemessung der elastisch bleibenden Tragelemente nicht die Höhe der Erdbebenauswirkung, sondern die Höhe des Tragwiderstandes der duktilen Verbindungsmittel massgebend ist.

Das duktile Tragverhalten von Holzrahmenbauwänden wird durch die Befestigung der Beplankung mit stiftförmigen, metallischen Verbindungsmitteln erzielt. Das grosse

plastische Verformungsvermögen der metallischen Verbindungsmittel wirkt sich sehr positiv auf das Tragverhalten von aussteifenden Wandscheiben unter Erdbebenbeanspruchung aus. Ein grosser Teil der Energie, die bei einem Erdbeben freigesetzt wird, kann so durch plastische Verformungsarbeit abgebaut werden. Das positive Verhalten wird durch die Wahl des Verhaltensbeiwerts $q = 3,0$ in der Berechnung der Erdbebenkräfte berücksichtigt.



Die nachfolgenden Abbildungen aus einer zyklisch dynamischen Versuchsreihe zeigen die Bildung der Fließgelenke im Übergang zwischen Beplankung und Tragrippen. Durch die zyklisch dynamische Beanspruchung kommt es in der

FERMACELL Platte zu einer Lochausweitung (Bild unten links). Die grosse Lochleibungsfestigkeit der FERMACELL Platten wirkt sich hier besonders günstig auf die plastische Verformung der Verbindungsmittel aus (Bild unten rechts).

Plastische Verformung im Bereich des Verbundes von Beplankung und Holztragrippen



Lochauseitung in FERMACELL Platte
(Lochleibungsfestigkeit gross)



Plastische Verformung in Holzträger
(Lochleibungsfestigkeit klein)



Plastische Verformung des Verbindungsmittels

2.6 Erdbebugerechte Konzeption des Tragwerks

Um Personen und Sachwerte zu schützen, ist ein Gebäude so auszubilden, dass es bei einem Erdbeben möglichst wenig Schaden nimmt. Die erdbebugerechte Konzeption eines Tragwerks beginnt beim ersten Entwurf durch den Architekten.

Für Neubauten bedeutet das, dass bereits in der frühen Planungsphase die erdbebenrelevanten Prinzipien eingehalten werden. Die Beachtung der wichtigsten Grundsätze für die erdbebugerechte Auslegung des Tragwerks wie Einfachheit, Regelmässigkeit und Redundanz lassen

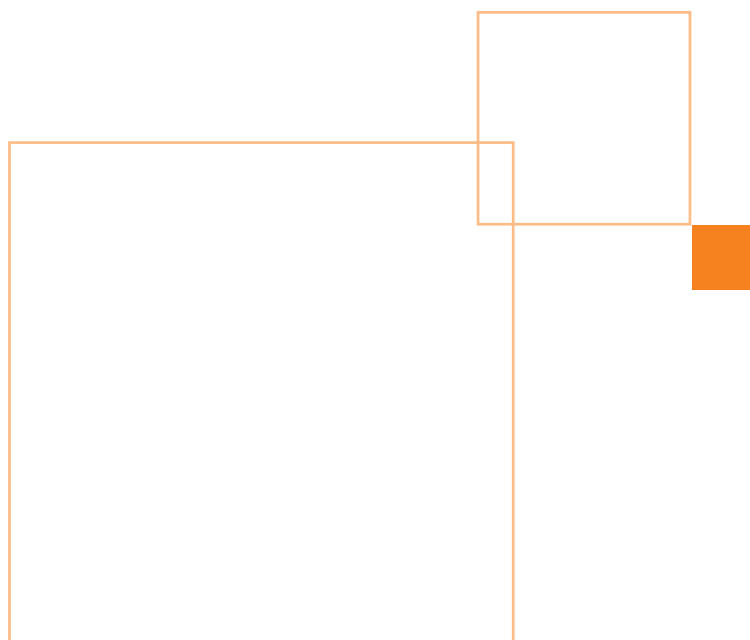
ein robustes Bauwerk mit minimaler Schadensanfälligkeit bei Erdbeben entstehen. Fehler und Mängel im konzeptionellen Entwurf können durch eine noch so ausgeklügelte Berechnung und Bemessung durch den Ingenieur nicht gleichwertig kompensiert werden.

2.6.1 Konstruktiv einfache und robuste Tragwerke

Unter Einfachheit eines Tragwerks versteht man das Vorhandensein von eindeutigen und direkten Wegen für die Abtragung der Erdbebenkräfte in den Baugrund. Modellbildung, Berechnung, Dimensionierung und konstruktive Durchbildung von einfachen Tragwerken sind mit viel weniger Unsicherheiten behaftet. Dadurch ist auch die Voraussage des Verhaltens im Erdbebenfall zuverlässiger.

Ein robustes Tragwerk zeichnet sich durch die Eigenschaft aus, dass beim Versagen eines Tragelements kein übermässiger Schaden als direkte Folge davon eintritt. Robustes Verhalten zeigen definitionsgemäss redundante und duktile Systeme (z.B. mehrere Wandscheiben in Serie mit aufgeklammerter Beplankung). Im Holzbau zeigen die üblichen Materialien meist ein sprödes Bruchverhalten. Duktiles Verhalten kann

bei Holztragwerken einzig durch den Einsatz metallischer Verbindungsmittel (z.B. Nägel, Klammern, Stabdübel etc.) erzielt werden. Die Tragwiderstände der Verbindungen und der übrigen Bauteile müssen allerdings derart aufeinander abgestimmt sein, dass die Verbindungen hohe plastische Verformungen unter Erdbebeneinwirkung erfahren, bevor eines der Holzbauteile spröde versagt.

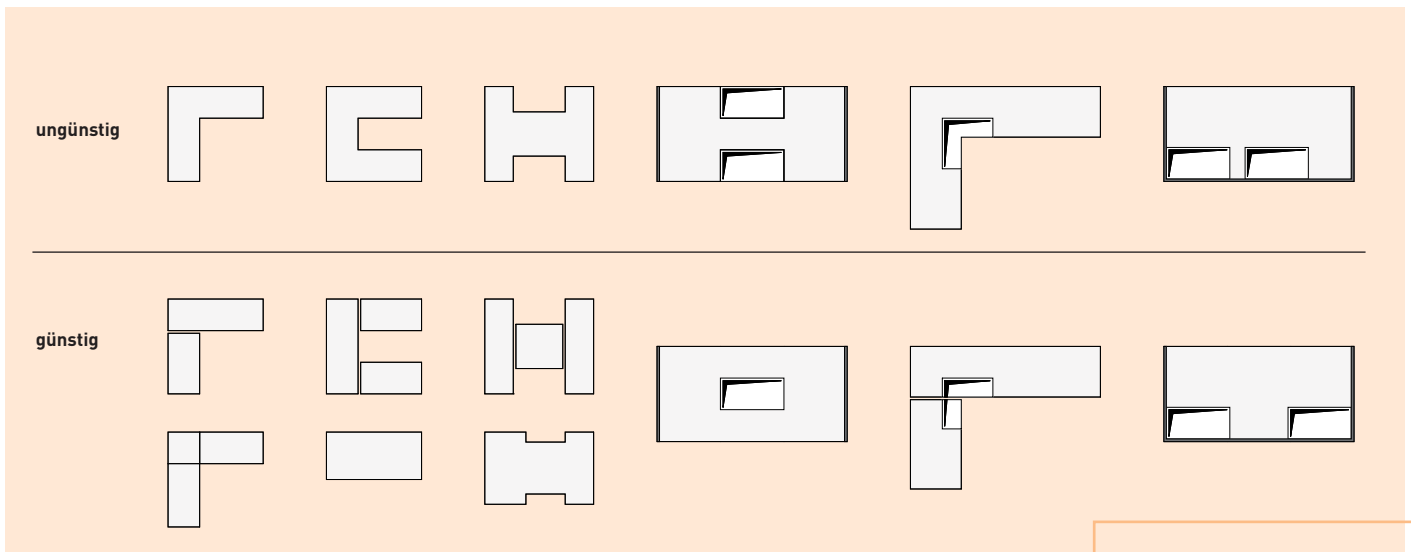


2.6.2 Regelmässigkeit des Tragsystems im Grundriss

Mit einer regelmässigen und kompakten Gestaltung der Gebäude im Grundriss und mit der symmetrischen Ausbildung in beide orthogonale Richtungen kann ein gutes Erdbebenverhalten sichergestellt werden. Ein Tragsystem ist gemäss Norm SIA 261 (2003) als regelmässig zu betrachten, wenn die in Ziffer 16.5.1.3 der Norm definierten Anforderungen eingehalten sind:

- Bezüglich Horizontalsteifigkeit und Massenverteilung ist das Bauwerk hinsichtlich zweier orthogonaler Richtungen ungefähr symmetrisch im Grundriss.
- Der Grundriss des Bauwerks ist kompakt. Die Gesamtabmessungen von rückspringenden Ecken oder Aussparungen sind nicht grösser als 25 % der gesamten äusseren Abmessung des Bauwerks in der entsprechenden Richtung.
- Die Steifigkeit der Decken in ihrer Ebene ist gross im Vergleich zur Horizontalsteifigkeit der vertikal tragenden Bauteile.

Optimierte Gebäudeformen im Grundriss und Anordnungen von Aussparungen in Deckenscheiben (1)

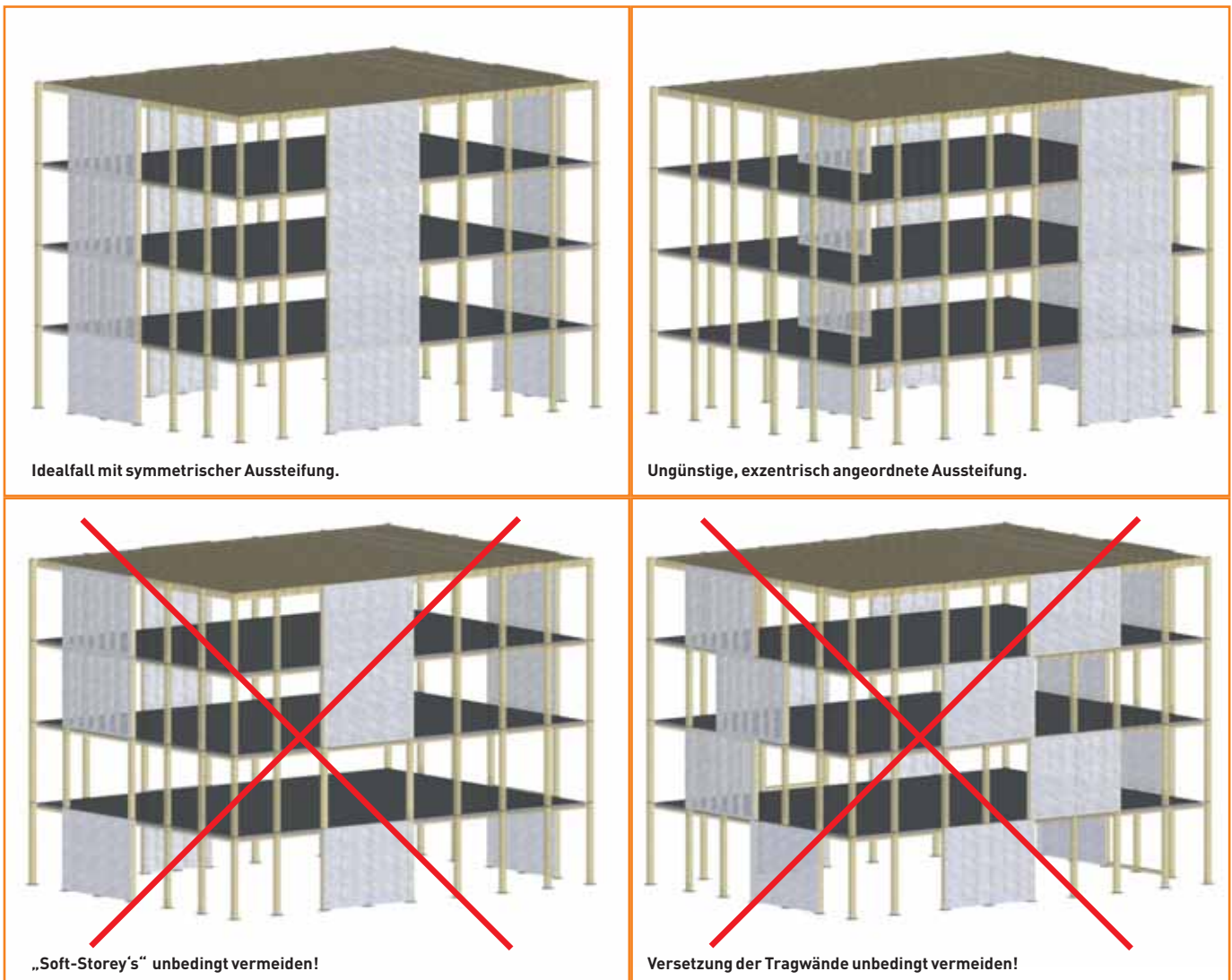


2.6.3 Regelmässigkeit des Tragsystems im Aufriss

Eine regelmässige Gestaltung der Aussteifungselemente im Aufriss ist für eine erdbebengerechte Gebäudeaussteifung von zentraler Bedeutung. Viele Einstürze von Gebäuden im Erdbebenfall sind darauf zurückzuführen, dass Aussteifungselemente wie Wandscheiben zwar vorhanden waren, im Erdgeschoss oder in einem der Obergeschosse aber durch Stützen ersetzt worden sind. Solche, in horizontaler Richtung weichen, „Soft-Storey’s“ sind unbedingt zu vermeiden. Weiter dürfen aussteifende Elemente gegen horizontale Kräfte weder geschwächt oder weggelassen noch in ihrer Ebene oder aus ihrer Ebene versetzt werden. Die Norm SIA 261 (2003) definiert die Anforderungen, die Regelmässigkeit im Aufriss betreffend, in Ziffer 16.5.1.4, wie folgt:

- Alle an der Aussteifung beteiligten Bauteile wie Kerne, Tragwände oder Rahmen verlaufen ohne Unterbrechung vom Fundament bis zur Oberkante des Bauwerks oder Bauwerkteils.
- Die Horizontalsteifigkeit, der Tragwiderstand für Horizontalkräfte und die Masse der einzelnen Geschosse bleiben über die Höhe des Bauwerks konstant oder verringern sich allmählich ohne sprunghafte Veränderungen von unten nach oben (Ausnahme: Übergang in Untergeschosse bzw. Übergang zwischen Massiv- und Holzbau).

Die horizontale Aussteifung von mehrgeschossigen Gebäuden in Holzbauweise erfolgt in der Regel durch einzelne Wandscheiben. Im Idealfall verlaufen diese kontinuierlich über die gesamte Gebäudehöhe und sind im Grundriss symmetrisch zueinander angeordnet. Die nachfolgende Abbildung zeigt den Idealfall einer horizontalen Aussteifung mit weit auseinander liegenden Tragwänden, die kontinuierlich über die Geschosse durchlaufen und im Grundriss symmetrisch zueinander angeordnet sind. Weiter den ungünstigen Fall einer im Grundriss exzentrischen Aussteifung, die zu grossen Torsionskräften führt und die unbedingt zu vermeidenden Fälle eines „Soft-Storey’s“ und von nicht durchlaufenden versetzten Tragwänden.



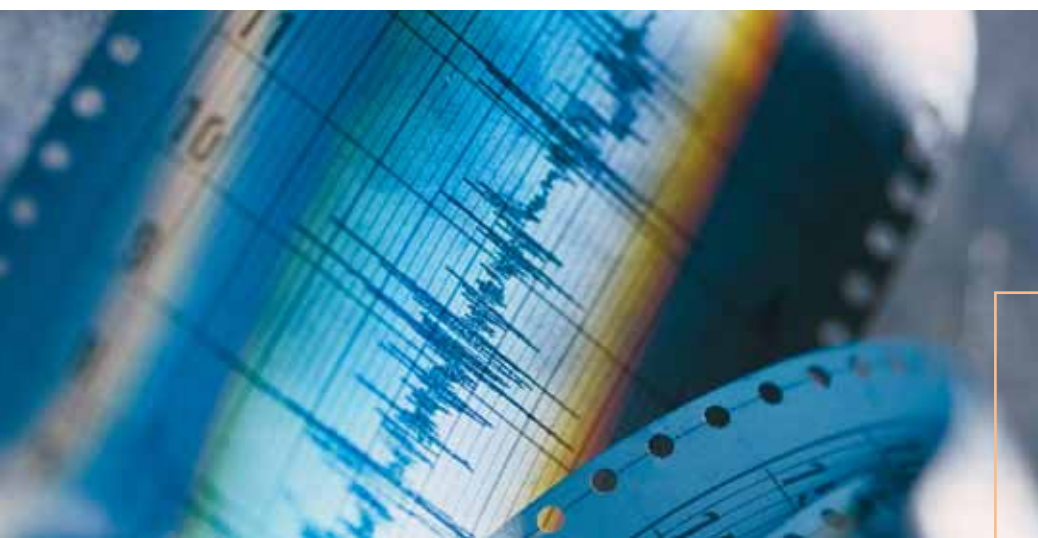
Idealfall und problematische Fälle zur Anordnung der horizontalen Aussteifung im Grund- und Aufriss

3 Erdbebensicherheit mit FERMACELL

Bereits seit 2004 beschäftigt sich FERMACELL mit dem Thema „Seismische Beanspruchung und Bemessungen von Bauteilen im Holzbau mit FERMACELL Gipsfaser-Platten“. Die Konzeption von Bauwerken in Erdbebengebieten mit der richtigen Wahl der einzusetzenden

Baustoffe gibt Planungs- und Nutzungssicherheit. FERMACELL Gipsfaser-Platten können für die erdbebengerechte Aussteifung von Holzrahmenelementen verwendet werden.

Anfang 2005 begannen unter der Leitung der Materialprüfungsanstalt Stuttgart (Universität Stuttgart) zahlreiche Untersuchungen sowie Prüfungen im material- und bautechnologischen Bereich. Damit stellen wir die Leistungsfähigkeit der FERMACELL Gipsfaser-Platten für die seismische Bemessung sicher.



3.1 Versuchsprogramm

Mit den Vorteilen eines nicht brennbaren Baustoffs für den statischen Einsatz wurde ein umfangreiches Versuchsprogramm mit FERMACELL Gipsfaser-Platten absolviert.

Im Rahmen der Untersuchungen wurden verschiedene Aspekte berücksichtigt, um das komplexe System-Zusammenspiel der Konstruktion aufzuzeigen:

- FERMACELL Gipsfaser-Platten
- Holzunterkonstruktion
- Befestigungsmittel

Für das Versuchsprogramm wurde ein mehrstufiger Ablauf (siehe I-III) koordiniert, bei dem die Erkenntnisse sowie Ergebnisse die ganzheitlichen Möglichkeiten darstellen. Hierbei wird deutlich, dass bei belasteten zyklisch/dynamischen Beanspruchungen die Leistungsfähigkeit des Gesamtbauteils die Optimierung der oben genannten drei Systembestandteile darstellt.

3.1.1 Fazit

Die Standsicherheit und Stabilität an den untersuchten Bauteilen mit FERMACELL Gipsfaser-Platten war bei allen durchgeführten Erdbebenbelastungen in vollem Umfang gewährleistet.

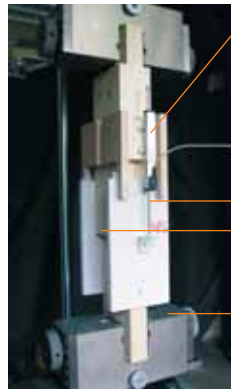
Dieses komplexe Versuchsprogramm bildet somit in erster Linie die Basis für die erweiterten Möglichkeiten von FERMACELL Gipsfaser-Platten zur Bemessung in seismisch beanspruchten Gebieten. Die Versuchsreihen haben viel über das Wissen

zum Verhalten von FERMACELL Gipsfaser-Platten unter Erdbebenbelastung beigetragen. Die entsprechenden statischen Werte wurden gem. SIA 265 umgerechnet und sind im Kapitel 5 aufgeführt.

I. Kleinbauteile und Einfluss der Verbindungsmittel

In der ersten Stufe wurden an Kleinproben folgende Einflüsse untersucht und Belastungsprotokollen nach DIN EN 12512 ausgesetzt:

- Verbindungsmittel bezüglich Durchmesser und Abstände
- Einschlagtiefe und Randabstände

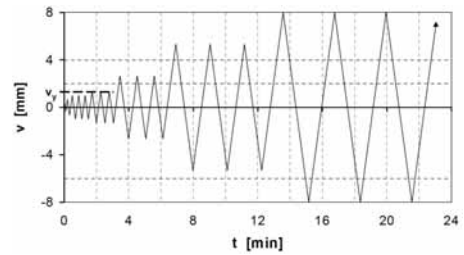


Ohmscher Wegaufnehmer

Nagel

Kantholz

Spannstock



Belastungsprotokoll nach DIN 12512

II. Realbauteilversuche an Wandtafeln

In der zweiten Stufe wurden vergleichende Untersuchungen an statisch monoton und statisch zyklisch beanspruchten Wandtafeln durchgeführt.

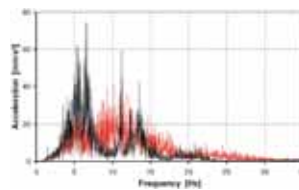


Zyklisch dynamische Wandtafelversuche (belastet). Herausziehen und niederzyklisches Versagen der Klammern.



III. Realbauteilversuche Shake Table

Anhand von Shake Table Versuchen wurden Erdbebenbeanspruchungen und deren Auswirkungen an belasteten Bauteilen, die mit FERMACELL Gipsfaser-Platten beplankt waren, mit folgenden Amplitudenspektren unter anderem durchgeführt:



Shake Table Versuche (belastet). Herausziehen der Klammern nach Petrovac.

Erdbebenort / Jahr	Magnitude	Intensität
D Albstadt (1978)	5,7	VII-VIIIJ Kobe
(1995)	6,8	X-XI
MNE Petrovac (1979)	6,9	VIII-IX

3.2 Einsatz von FERMACELL Gipsfaser-Platten



3.2.1 Das Material

FERMACELL war die erste Gipsfaser-Platte im Markt und wird seit über 30 Jahren im Holzbau eingesetzt. Die Platten bestehen aus recycelten Papierfasern, Gips und Wasser und werden – ohne weitere Bindemittel – unter hohem Druck zu stabilen und geruchsneutralen Platten gepresst. Ständige Qualitäts- und Gütekontrollen durch Eigenüberwachung,

Labortests und amtliche Materialprüfanstalten sorgen für eine gleichbleibende hohe Qualität.

Das spezielle Herstellungsverfahren und die homogene Mischung der natürlichen Rohstoffe machen die Gipsfaser-Platten stabil, belastbar und widerstandsfähig gegen mechanische Belastungen.

3.2.2 FERMACELL im Holzbau

Langjährige Praxiserfahrungen spiegeln sich in den vielfältigen FERMACELL Konstruktionen und Anwendungen wider, die verschiedenste Anforderungen wie Wärme-/

Brandschutz, Luft-/Winddichtheit und Lichtbogenfestigkeit erfüllen. Zudem sorgen FERMACELL Gipsfaser-Platten für ein gutes Raumklima – baubiologisch geprüft.

3.2.3 Statisch wirksam – auch im mehrgeschossigen Holzbau

In Holzbauten dient FERMACELL als statisch wirksame Beplankung von Wand-, Decken- und Dachscheiben. FERMACELL Gipsfaser-Platten können als mittragende und aussteifende Beplankung für Wände in Holztafelbauart eingesetzt werden. Erlaubt ist z.B. auch der Einsatz von Doppel-T-Trägern – wichtig bei Passivhausbebauung.

Wird FERMACELL als Aussenbeplankung von Holzständerwänden eingesetzt, ist ein zusätzliches Wetterschutzsystem (Holzfassaden, Wärmedämm-Verbundsysteme) erforderlich.

Eine speziell wirtschaftliche Bauweise ist mit dem Einsatz der FERMACELL Vapor möglich. Diese FERMACELL Gipsfaser-Platte ist auf der Rückseite mit einer Dampfbremse beschichtet. Somit übernimmt sie zusätzlich zu den bekannten Aufgaben diejenige der dampfhemmenden Schicht.

Mehr Infos finden Sie in der Broschüre „FERMACELL Vapor – Ausführungsdetails mit dampfhemmender Gipsfaserplatte“.

3.2.4 Vor Ort und in Werkhallen

FERMACELL Gipsfaser-Platten eignen sich sowohl für die Vor-Ort-Montage auf der Baustelle als auch für die witterungsunabhängige Fertigung von Wandtafeln in der

Werkhalle. Dazu trägt auch das besonders rationelle Verarbeiten durch die Klammertechnik sowie die eigens entwickelte Klebefugentechnik bei.



Mehrgeschossiges Gebäude in Holztafelbauweise mit FERMACELL Gipsfaser-Platten.

Fertigung einer Wand in Holztafelbauweise mit FERMACELL Gipsfaser-Platten.

3.2.5 Aufstockung

Der Holzbau bietet viele Möglichkeiten bei Aufstockungen im Bestand. Hier können die Vorteile von FERMACELL umfassend genutzt werden:

- hoher Vorfertigungsgrad
- kurze Bauzeiten und schnelle Nutzung
- geringes Gewicht
- trockene Bauweise
- nachhaltige Bauweise
- hohe Energieeinsparungspotenziale
- schlanke Konstruktionen = Raumgewinn

3.2.6 Fertighäuser und Modulbau

Unser besonderes Know-how und die überzeugenden Eigenschaften von FERMACELL Gipsfaser-Platten

- hohe Stabilität
- hoher Schallschutz
- sicherer Brandschutz
- unterstützende Statik
- Eignung auch für Feuchträume
- geprüfte Baubiologie
- wirtschaftliche Verarbeitung
- Oberflächengestaltung

haben dazu geführt, dass neben dem Holzbau auch viele namhafte Fertighaushersteller FERMACELL einsetzen.

Da die industrielle Vorfertigung beim Bau von hochwertigen Modul-/Raumzellenbau heute vergleichbar mit der Produktion von Fertighäusern ist, gewinnt FERMACELL auch in diesem Bereich immer mehr an Bedeutung.

4 Vorbemessung von Wandscheiben

Die horizontale Aussteifung eines Gebäudes muss neben der Erdbeben- auch die Windeinwirkung aufnehmen können. Vergleichsrechnungen für typische Standorte in der Schweiz haben gezeigt, dass in Abhängigkeit der bestimmenden Parameter der Einwirkung Erdbeben,

Gebäudeabmessungen und konstruktiver Ausführung des Tragwerks sowohl Wind- als auch Erdbebenauswirkungen für die Bemessung massgebend werden. Je grösser das Verformungsvermögen eines Tragwerks, desto günstiger ist sein Erdbebenverhalten, da mehr Energie durch Deformationsarbeit abgebaut

werden kann. Auf der anderen Seite wird das Verformungsvermögen durch die Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit unter Windeinwirkung begrenzt. Ob letztendlich Wind oder Erdbeben für die Bemessung massgebend wird, zeigt sich erst am Ende der Tragwerksanalyse.

4.1 Abschätzung der Grundschwingzeit

Für die Vorbemessung von Holzrahmenbauwänden hinsichtlich Erdbeben muss die Grundschwingzeit des aussteifenden Tragwerks ermittelt werden. Wie bereits früher erwähnt, sollte die einfache Schätzformel (38) der Norm SIA 261 [2003] nicht verwendet werden. Die Berechnung erfolgt einzig in Abhängigkeit der Gebäudehöhe und vernachlässigt die effektive Steifigkeit des Tragwerks gänzlich. In der Folge wird die Höhe der Grund-

schwingzeit meistens unterschätzt, und man erhält massiv höhere Erdbebenkräfte als bei den Berechnungsverfahren, welche die Steifigkeit des Tragwerks in der Berechnung berücksichtigen. Dagegen liefert die auf dem Rayleigh-Quotienten basierende Schätzformel (39) auch für Holzbauten zumindest für die Vorbemessung brauchbare Resultate und leistet gute Dienste bei der Kontrolle von Computerberechnungen. Wichtig dabei ist, dass

die Auslenkung u der Gebäudeoberkante infolge horizontal angesetzter ständiger und quasi-ständiger Lasten mit realistischen Steifigkeiten bestimmt wird. Die Formeln zur Berechnung der Auslenkung der Gebäudeoberkante und die entsprechenden Steifigkeitswerte werden später in diesem Kapitel aufgezeigt. Weitere Ausführungen zur Grundschwingzeit und deren Berechnung sind die in der **Publikation LIGNUM** enthalten.

$$T_1 = 2 \cdot \sqrt{u} \quad \text{Formel 39 SIA261 (2003)}$$

T_1 = Grundschwingzeit [s]

u = fiktive Auslenkung der obersten Gebäudekante [m]

4.2 Gebrauchstauglichkeit unter Windeinwirkung

Für die Gebrauchstauglichkeit der horizontalen Aussteifung muss einzig der Lastfall Wind berücksichtigt werden. Für den Lastfall Erdbeben ist die Gebrauchstauglichkeit nur für Bauwerke in der Bauwerksklasse III zu berücksichtigen, die in

der Regel nicht in Holzbauweise erstellt werden. Für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis unter Windeinwirkung wird meistens die Bedingung der Stockwerksauslenkungen kleiner als $u \leq h/500$ gemäss Norm SIA 260 (2003) massgebend.

Wird die horizontale Auslenkung hauptsächlich durch Schubverformungen erzeugt, ist es ausreichend, die Gebrauchstauglichkeit im Erdgeschoss, wo die Querkraft am grössten ist, nachzuweisen. Hierzu muss die Auslenkung des Erdgeschosses unter der globalen Windkraft auf dem Bemessungsniveau für beide orthogonalen Hauptrichtungen berechnet werden.

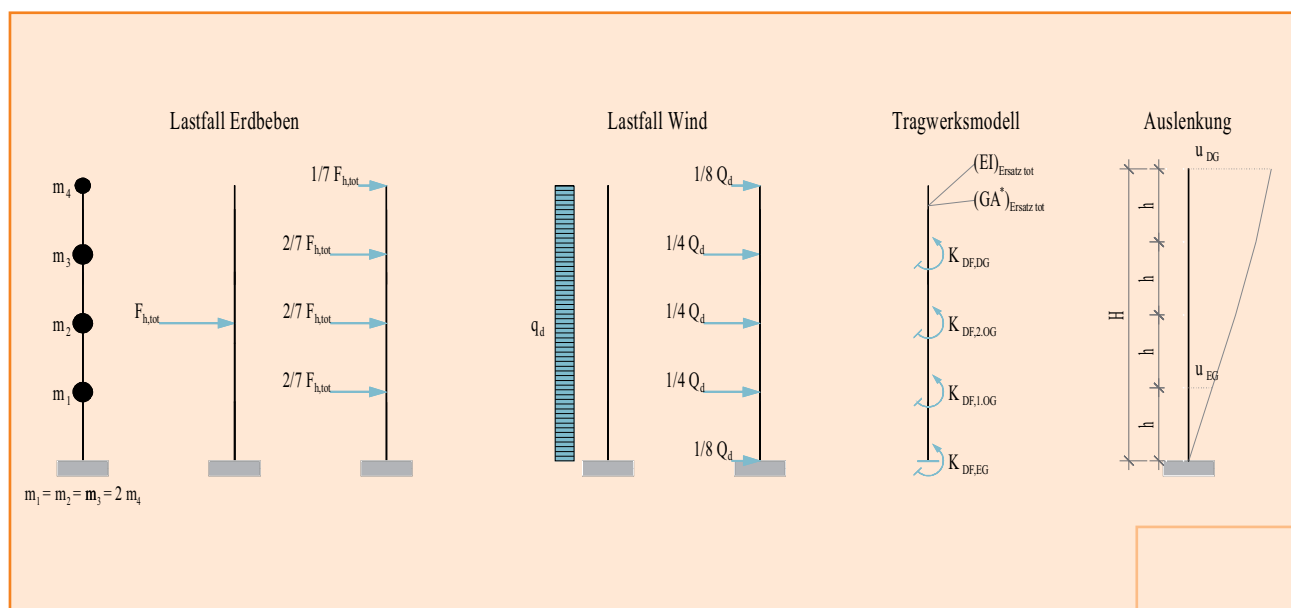
4.3 Berechnung der Stockwerkauslenkung für Wind und Erdbeben

Die Vorgehensweise zur Berechnung der horizontalen Stockwerkauslenkung für die Lastfälle Wind (Auslenkung des Erdgeschosses) und Erdbeben (Auslenkung der Gebäudeoberkante) ist in der **Publikation LIGNUM** in Kapitel 5 und 6 ausführlich beschrieben. In dieser Broschüre wird ausschliesslich die Berechnung der horizontalen Verformungsanteile in Abhängigkeit der Verklammerung und der Beplankung (Ersatzsteifigkeit $(GA^*)_{\text{Ersatz}}$) von Holzrahmenbauwänden mit FERMACELL Beplankung behandelt. Die Verformungsanteile der Randrippen und der Nachgiebigkeit der Verankerungen werden hier bewusst weggelassen, sind aber in jedem Falle mit zu berücksichtigen.

Um ein optimales Tragverhalten einer Holzrahmenbauwand zu gewährleisten, müssen sämtliche Plattenstösse der Wandbeplankung schubsteif ausgebildet werden. Das heisst, dass sämtliche Plattenstösse mit Rippen hinterlegt sein müssen und die Verklammerung entlang der Plattenränder mit gleichbleibendem Klammerabstand auszuführen ist. Auf diesem Ansatz basieren auch die Steifigkeitswerte in den Diagrammen mit den $(GA^*)_{\text{Ersatz}}$ -Werten, die nachfolgend beschrieben werden. Weiter ist zu beachten, dass in Abhängigkeit der Anzahl Plattenstösse die Gesamtsteifigkeit der Tragwände abnimmt. Für die hier vorgestellten Berechnungsansätze wurde angenommen, dass die FERMACELL Platten vertikal auf der gesamten Wandhöhe ohne Horizontalstösse durchlaufen. Die berücksichtigte Plattenbreite zum berechnen der vertikalen Plattenstösse wurde auf 1,25 m festgelegt.

Die Berechnung der horizontalen Auslenkung im Erdgeschoss ist von der Geschosshöhe des Gebäudes, der Stockwerkhöhe, der Steifigkeit des Tragwerks und der Höhe der Einwirkungen abhängig. Nachfolgend sind die entsprechenden Formeln zur Berechnung des Anteils der Schubverformung einer Holzrahmenbauwand aufgeführt. Die Formeln gelten, wie in untenstehender Abbildung links dargestellt, für das Modell des eingespannten Kragarms. Die Auslenkung des Erdgeschosses wird in Abhängigkeit der Globalen Windkraft Q_d berechnet. Die Auslenkung der obersten Gebäudekante berechnet sich in Abhängigkeit der gesamten horizontalen Einwirkung aus ständigen und quasi-ständigen Lasten, die für die Erdbebeneberechnung zu berücksichtigen ist. Zur Vereinfachung wurde angenommen, dass die Massenverteilung der Stockwerkmassen vom Erd- bis zum Dachgeschoss in etwa dem Verhältnis von 1:1:....:0,5 entspricht.

Modell des eingespannten Kragarms einer viergeschossigen Tragwand



4.3.1 Formeln für die Berechnung der horizontalen Auslenkung

Nachfolgend sind die Formeln zur Berechnung der Querkraftanteile an der horizontalen Auslenkung für die Lastfälle Wind und Erdbeben für ein- bis sechsgeschossige Tragwerke

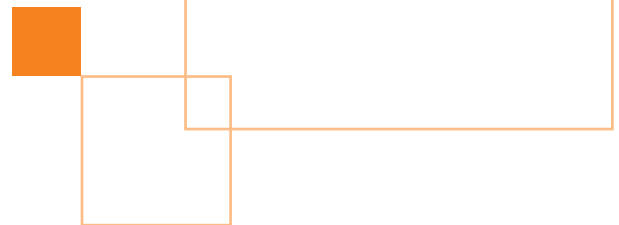
aufgeführt. Die Verformungsanteile der Biegesteifigkeit $u_{EI \text{ Ersatz}}$ und die Verformungsanteile der Nachgiebigkeit der Wandverankerung und Anschlüsse am Stockwerkübergang

u_{DF} sind gemäss den Angaben in Kapitel 6.2 der **Publikation LIGNUM** zu berechnen.

Anzahl Geschosse	Verformungsberechnung für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit für den Lastfall Wind	Verformungsberechnung zur Abschätzung der Grundschwingzeit für den Lastfall Erdbeben
	Formel zur Berechnung der horizontalen Stockwerkauslenkung im Erdgeschoss	Formeln zur Berechnung der fiktiven horizontalen Auslenkung der Gebäudeoberkante
1	$u = u_{EI \text{ Ersatz}} + \frac{Q_d \cdot h}{2 \cdot \sum(GA^*)_{\text{Ersatz}}} + u_{DF}$	$u = u_{EI \text{ Ersatz}} + \frac{F_{h,tot} \cdot h}{\sum(GA^*)_{\text{Ersatz}}} + u_{DF}$
2	$u = u_{EI \text{ Ersatz}} + \frac{3 \cdot Q_d \cdot h}{4 \cdot \sum(GA^*)_{\text{Ersatz}}} + u_{DF}$	$u = u_{EI \text{ Ersatz}} + \frac{4 \cdot F_{h,tot} \cdot h}{3 \cdot \sum(GA^*)_{\text{Ersatz}}} + u_{DF}$
3	$u = u_{EI \text{ Ersatz}} + \frac{5 \cdot Q_d \cdot h}{6 \cdot \sum(GA^*)_{\text{Ersatz}}} + u_{DF}$	$u = u_{EI \text{ Ersatz}} + \frac{9 \cdot F_{h,tot} \cdot h}{5 \cdot \sum(GA^*)_{\text{Ersatz}}} + u_{DF}$
4	$u = u_{EI \text{ Ersatz}} + \frac{7 \cdot Q_d \cdot h}{8 \cdot \sum(GA^*)_{\text{Ersatz}}} + u_{DF}$	$u = u_{EI \text{ Ersatz}} + \frac{16 \cdot F_{h,tot} \cdot h}{7 \cdot \sum(GA^*)_{\text{Ersatz}}} + u_{DF}$
5	$u = u_{EI \text{ Ersatz}} + \frac{9 \cdot Q_d \cdot h}{10 \cdot \sum(GA^*)_{\text{Ersatz}}} + u_{DF}$	$u = u_{EI \text{ Ersatz}} + \frac{25 \cdot F_{h,tot} \cdot h}{9 \cdot \sum(GA^*)_{\text{Ersatz}}} + u_{DF}$
6	$u = u_{EI \text{ Ersatz}} + \frac{11 \cdot Q_d \cdot h}{12 \cdot \sum(GA^*)_{\text{Ersatz}}} + u_{DF}$	$u = u_{EI \text{ Ersatz}} + \frac{36 \cdot F_{h,tot} \cdot h}{11 \cdot \sum(GA^*)_{\text{Ersatz}}} + u_{DF}$

Berechnungsformel der horizontalen Auslenkung für konstante Stockwerkhöhen

- u = totale horizontale Auslenkung [m]
- $u_{EI \text{ Ersatz}}$ = Horizontaler Verformungsanteil der Randstützen in Funktion von $(EI)_{\text{Ersatz}}$ [m]
- u_{DF} = Horizontaler Verformungsanteil der Wandverankerung in Funktion von DF [m]
- Q_d = Globale Windeinwirkung [auf Niveau der Gebrauchstauglichkeit] [kN]
- $F_{h,tot}$ = totale horizontale Einwirkung aus ständigen und quasi-ständigen Lasten [kN]
- h = Stockwerkhöhe (in allen Geschossen konstant) [m]
- $(GA^*)_{\text{Ersatz}}$ = Summe der Ersatzschubsteifigkeiten aller Tragwände in Einwirkungsrichtung [kN]



4.3.2 Ersatzsteifigkeit $(GA^*)_{\text{Ersatz}}$

Die benötigten Ersatzsteifigkeiten $(GA^*)_{\text{Ersatz}}$ der Beplankung aus FERMACELL und der Verklammerungen können den nachfolgenden Diagrammen entnommen werden. Da die Angaben jeweils nur für eine einreihige Verklammerung bzw. für eine Beplankung gelten, muss die

Ersatzsteifigkeit $(GA^*)_{\text{Ersatz}}$ für zweiseitig beplankte Tragwände mit mehrreihigen Verklammerungen mit der nachfolgenden Formel berechnet werden.

Das Diagramm der Verklammerungen zeigt nur die $(GA^*)_{\text{Ersatz}}$ -Werte

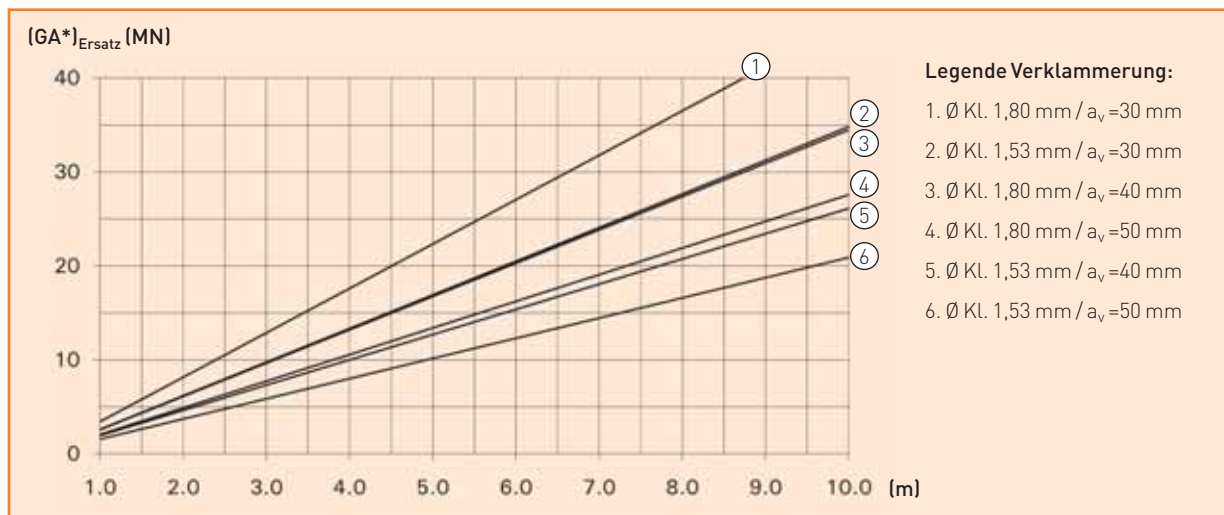
für die Klammerabstände 30 mm, 40 mm, 50 mm. Halbiert man diese, erhält man so die $(GA^*)_{\text{Ersatz}}$ -Werte für die Klammerabstände 60 mm, 80 mm, 100 mm. Um Zwischenwerte zu erhalten kann alternativ linear interpoliert werden.

$$(GA^*)_{\text{Ersatz}} = \frac{1}{\frac{1}{\sum (GA^*)_{\text{Ersatz, G, inst, i}}} + \frac{1}{\sum (GA^*)_{\text{Ersatz, K, inst, i}}}}$$

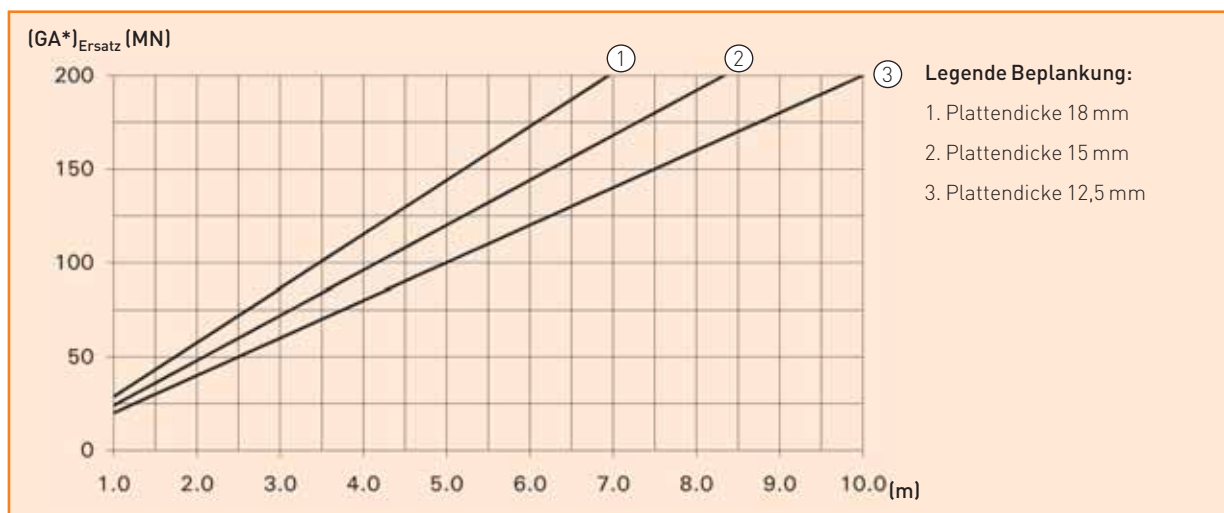
$(GA^*)_{\text{Ersatz}}$ = Ersatzschubsteifigkeiten einer Tragwand [MN]

$(GA^*)_{\text{Ersatz, G, inst, i}}$ = Ersatzschubfestigkeit einer einzelnen Beplankung [MN]

$(GA^*)_{\text{Ersatz, K, inst, i}}$ = Ersatzschubfestigkeit einer einreihigen Verklammerung [MN]



Ersatzsteifigkeit $(GA^*)_{\text{Ersatz}}$ verschiedener Verklammerungen in Abhängigkeit von der Tragwandlänge zur Modellierung von Holzrahmenbauwänden als eingespannte Kragarme



Ersatzsteifigkeit $(GA^*)_{\text{Ersatz}}$ verschiedener FERMACELL Platten in Abhängigkeit von der Tragwandlänge zur Modellierung von Holzrahmenbauwänden als eingespannte Kragarme

Zum besseren Verständnis ist nachfolgend ein Beispiel für die Berechnung der Ersatzschubsteifigkeit $(GA^*)_{\text{Ersatz}}$ einer beidseitig beplankten Tragwand mit einer

Wandlänge von 5,0 m aufgeführt. Die Tragwand wird beidseitig mit FERMACELL Platten beplankt. Die Verklammerung entlang den Plattenrändern wird zweireihig

ausgeführt. In der Berechnung der Schubsteifigkeit $(GA^*)_{\text{Ersatz}}$ wird somit die Steifigkeit zweier Beplankungen und von vier Klammerreihen berücksichtigt.

Wandseite A	Beplankung FERMACELL 15 mm mit Platten 1,25 x 2,9 m	Verklammerung zweireihig mit Klammer 1,53 mm / $a_v = 40$ mm
$(GA^*)_{\text{Ersatz}}$	120 MN	2 · 13,5 MN
Wandseite B	Beplankung FERMACELL 12,5 mm mit Platten 1,25 x 2,9 m	Verklammerung zweireihig mit Klammer 1,53 mm / $a_v = 40$ mm
$(GA^*)_{\text{Ersatz}}$	100 MN	2 · 13,5 MN

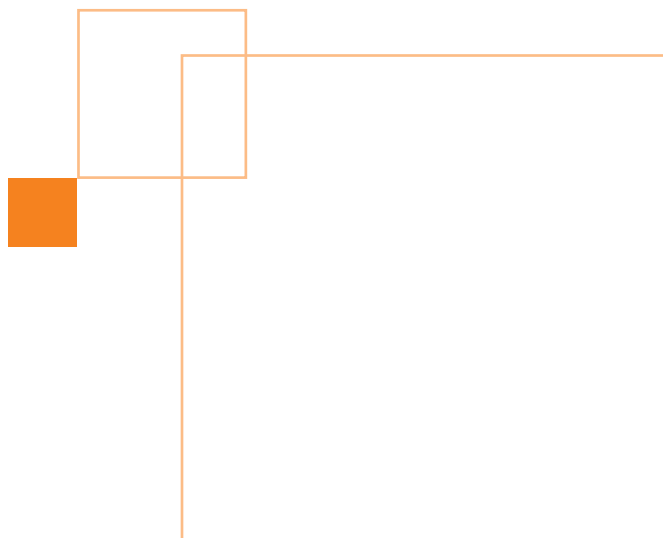
Aufbau der Tragwand mit den entsprechenden Ersatzschubsteifigkeiten $(GA^*)_{\text{Ersatz}}$

$$(GA^*)_{\text{Ersatz}} = \frac{1}{\frac{1}{120 \text{ MN} + 100 \text{ MN}} + \frac{1}{4 \cdot 13 \text{ MN}}} = 42,1 \text{ MN}$$

Sind alle Ersatzsteifigkeiten der beteiligten Tragewände in den beiden orthogonalen Hauptrichtung bekannt, können diese addiert und die $(GA^*)_{\text{Ersatz}}$ -Werte in die Formeln zur Berechnung der

horizontalen Auslenkung des Erdgeschosses bzw. der Gebäudeoberkante eingesetzt werden. Sind die horizontalen Auslenkungen bekannt, folgen der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit für den

Lastfall Wind, bzw. die Berechnung der Grundschwingzeit und die Weiterführung der Tragwerksanalyse für den Lastfall Erdbeben. Ausführlichere Informationen dazu sind in der **Publikation Lignum** enthalten.



5 Bemessungswerte des Tragwiderstandes

In diesem Kapitel sind die Bemessungswerte des Tragwiderstandes von mit FERMACELL beplankten Holzrahmenbauwänden dargestellt.

Der erste Abschnitt beinhaltet die materialspezifischen Kenndaten von FERMACELL und die normenbezogenen Einflussfaktoren für die Berechnung der Tragwiderstände.

Im zweiten Abschnitt sind die zu führenden Nachweise dargestellt und die relevanten Tragwiderstände in Tabellenform aufgeführt.

5.1 Kenndaten und Einflussfaktoren für die Bemessung

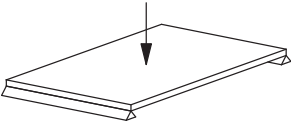
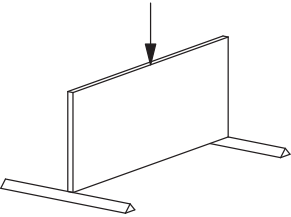
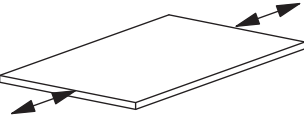
5.1.1 Kennzeichnende Eigenschaften von FERMACELL Platten

Die kennzeichnenden Eigenschaften von FERMACELL werden für die Berechnung der Tragwiderstände und Steifigkeitswerte von mit FERMACELL beplankten Wandscheiben verwendet. Die Berechnung der Tragwiderstände erfolgt

nach den Vorgaben der Norm SIA 265/1 (2009) bzw. DIN 1052: 2004-08. Dazu sind die charakteristischen Festigkeitswerte gemäss der Europäischen Technischen Zulassung ETA-03/0050 zu verwenden, die der nachfolgenden Tabelle entnommen

werden können. Neben den charakteristischen Festigkeitswerten sind die Mittelwerte der Steifigkeitswerte aufgeführt, die für die Berechnung der Schubsteifigkeiten in Kapitel 4.3.2 verwendet wurden.

Charakteristische Festigkeitswerte und Mittelwerte der E- und G-Moduli für FERMACELL Gipsfaser-Platten

FERMACELL Gipsfaser-Platten							
	Neandicke der Platten	d	mm	10	12.5	15	18
	Rohdichte	δ_k	kg/m ³	1'150	1'150	1'150	1'150
Charakteristische Festigkeitswerte und Mittelwerte der E- und G-Moduli							
Plattenbeanspruchung							
	Festigkeit						
	Biegung	$f_{m,k}$	N/mm ²	4.6	4.3	4.0	3.6
	Schub	$f_{v,k}$	N/mm ²	1.9	1.8	1.7	1.6
	Verformung						
	Elastizitätsmodul	$E_{m,mean}$	N/mm ²	3'800	3'800	3'800	3'800
Schubmodul	G_{mean}	N/mm ²	1'600	1'600	1'600	1'600	
Scheibenbeanspruchung							
	Festigkeit						
	Biegung	$f_{m,k}$	N/mm ²	4.3	4.2	4.1	4.0
	Schub	$f_{v,k}$	N/mm ²	3.7	3.6	3.5	3.4
	Verformung						
	Elastizitätsmodul	$E_{m,mean}$	N/mm ²	3'800	3'800	3'800	3'800
Schubmodul	G_{mean}	N/mm ²	1'600	1'600	1'600	1'600	
	Festigkeit						
	Zug	$f_{t,k}$	N/mm ²	2.5	2.4	2.4	2.3
	Druck	$f_{c,k}$	N/mm ²	8.5	8.5	8.5	8.5
	Verformung						
	Elastizitätsmodul	$E_{t,mean}$ $E_{c,mean}$	N/mm ²	3'800	3'800	3'800	3'800

5.1.2 Modifikationsbeiwerte η_{mod}

Die Beiwerte η_{mod} werden zur Erfassung des Einflusses der Dauer der Einwirkung und des Feuchtegehalts verwendet. Sie sind von der

Feuchteklasse (Norm SIA 265 (2003) Tabelle 3) und der Klasse der Lasteinwirkungsdauer (KLED) (Norm SIA 265/1 (2009) Tabelle 14) abhängig.

Die nachfolgend aufgeführten Beiwerte entstammen der Europäischen Technischen Zulassung ETA-03/0050 für FERMACELL Platten.

Modifikationsbeiwerte η_{mod}		
KLED	Feuchteklasse 1	Feuchteklasse 2
ständig	0.2	0.2
lang	0.4	0.3
mittel	0.6	0.5
kurz	0.8	0.6
sehr kurz	1.1	0.8

Modifikationsbeiwerte η_{mod} für FERMACELL in Abhängigkeit der Feuchteklassen

5.1.3 Widerstandsbeiwert γ_M

Zur Ermittlung des Bemessungswertes der Festigkeiten f_d bzw. des Tragwiderstandes R_d wird der Widerstandsbeiwert γ_M verwendet.

Gemäss der Europäischen Technischen Zulassung ETA-03/0050 ist dieser für FERMACELL Platten mit 1.3 anzusetzen.

Widerstandsbeiwert γ_M	1.30
-------------------------------	------

Widerstandsbeiwerte γ_M für FERMACELL

5.1.4 Geometrische Beiwerte zur Berechnung des Tragwiderstandes von Plattenwerkstoffen

Die Normen SIA 265 (2003) und 265/1 (2009) beschränken sich beim Nachweis der Tragsicherheit von tragenden Wandscheiben auf den Tragsicherheitsnachweis der Verbindungsmittel. In Abhängigkeit der Ausführung der Verklammerung (kleiner Verbindungsmittelabstand bzw. mehrreihige Verklammerungen)

kann für die Wandscheiben aber auch Schub oder Beulen massgebend werden. Aus diesem Grund wird hier der Tragsicherheitsnachweis auf Schub- bzw. Beulversagen der Beplankung gemäss der Norm DIN 1052:2004-08 geführt. Die DIN Norm verwendet für diese Nachweise die Beiwerte $k_{v,1}$ und $k_{v,2}$. Beiwert $k_{v,1}$

berücksichtigt die Anordnung der Verbindungsart der Platten (alleschubsteife oder teilweise freie Plattenränder). Beiwert $k_{v,2}$ berücksichtigt in Abhängigkeit, ob einseitig oder beidseitig eine Beplankung ausgeführt wird, geometrische Zusatzbeanspruchungen.

Einfluss der Plattenränder	$k_{v,1}$
allseitig schubsteif	1.00
teilweise schubsteif	0.66
Einfluss der Beplankung	$k_{v,2}$
Zweiseitig	0.50
Einseitig	0.33

Beiwerte zur Bestimmung des Tragwiderstandes einer Beplankung gemäss DIN 1052:2004-08

5.1.5 Beiwerte zur Berücksichtigung der Einwirkungsdauer und der Feuchtigkeit

Die Beiwerte zur Berücksichtigung der Holzfeuchte η_w und der Einwirkungsdauer η_t sind für Holzwerkstoffe bereits im Modifikationsbeiwert η_{mod} enthalten.

Für die Berechnung des Tragwiderstandes eines Verbindungsmittels (Klammer, Nägel, Stabdübel etc.) werden an Stelle eines Modifikationsbeiwertes direkt die Beiwerte η_w und

η_t verwendet, die in der Norm SIA 265 (2003) festgelegt sind.

Reduktionsbeiwert η_w Holz	
Feuchtklasse 1	1.00
Feuchtklasse 2	0.80
Reduktionsbeiwert η_t Holz	
Erdbeben	1.40
Wind	1.00

Reduktionsbeiwerte η_t und η_w zur Bestimmung des Tragwiderstandes einer Verklammerung

5.2 Berechnung des Bemessungswertes des Tragwiderstandes

Zur Ermittlung des Bemessungswertes des Tragwiderstandes einer mit FERMACELL beplankten Holzrahmenbauwand müssen die Tragwiderstände unterschiedlicher Beanspruchungsarten bzw. Bauteilkomponenten einander gegenübergestellt werden.

Meistens wird der Tragwiderstand der Verbindungsmittel massgebend. Schub- oder Beulversagen kann, wie die unter 5.2.1 tabellierten Tragwiderstände aufzeigen, dennoch nicht ganz ausser acht gelassen werden.

Der Tragwiderstand von Holzrahmenbauwänden ist von der Art der Einwirkung abhängig. Mit Wandscheiben werden primär die Auswirkungen aus Wind und Erdbeben in den Baugrund abgetragen.

Da die Einwirkungsdauer der beiden Lastfälle verschieden ist (Wind kurz, Erdbeben sehr kurz), resultieren aus der Berechnung für Wind und Erdbeben unterschiedliche Tragwiderstände. Aus diesem Grunde sind die Tragwiderstände jeweils für den Lastfall Wind und Erdbeben in einer separaten Tabelle aufgeführt. Die Tragwiderstände, die pro Laufmeter Wandlänge tabelliert sind, gelten für die folgenden Voraussetzungen:

- Sämtliche Plattenränder der Beplankung sind schubsteif mit den Tragrippen (Ständer Kopfholz und Schwelle) schubsteif verbunden. D.h., freie Plattenränder bzw. nicht hinterlegte Plattenstösse sind nicht zulässig.
- Das Sprungmass der Tragrippen muss ≤ 625 mm betragen.
- Die Verklammerung ist nach den Grundsätzen der Norm SIA 265/1 (2009) ausgeführt. Der Winkel α zwischen Klammerrücken und Faserrichtung des Holzes ist $\geq 30^\circ$.

- Die Klammerabstände untereinander und zu den Platten- und Rippenrändern entsprechen den Anforderungen der Norm SIA 265/1 (2009).
- Die Mindesteinschlagtiefe der Klammern gemäss der Angaben der Norm SIA 265/1 (2009) werden eingehalten.

Weiter wird darauf hingewiesen, dass in dieser Zusammenstellung nur die Bemessungswerte der Tragwiderstände der Beplankung und der Verklammerung aufgeführt sind. Sämtliche Tragwiderstände für die Tragrippen und die Verankerung der Wandscheiben sind darin nicht enthalten. Die entsprechenden Nachweise müssen durch den Holzbauingenieur oder Fachplaner zusätzlich geführt werden!

5.2.1 Bemessungswert des Tragwiderstandes der Verklammerung nach SIA 265/1 (2009)

Der Bemessungswert des Tragwiderstandes einer Verklammerung entspricht dem kleineren Wert der Gleichungen (20) und (21) der Norm SIA 265/1 (2009). Für mit FERMACELL beplankte Holzrahmenbauwände kann die Gleichung (21) vernachlässigt werden, da die Lochleibungsfestigkeit für FERMACELL-Platten nicht massgebend wird. Der Bemessungswert des Tragwiderstandes einer

Verklammerung kann pro Meter Wandlänge, basierend auf der Gleichung (24) der Norm SIA 265/1

(2009), in Abhängigkeit des Verbindungsmittelabstandes direkt wie folgt berechnet werden:

$$R_d = 110 \cdot d^{1,7} \cdot 1,5 \cdot \frac{1}{a_v} \cdot \eta_t \cdot \eta_w \quad [\text{SIA 265/1 Gleichung 24}]$$

R_d = Bemessungswert des Tragwiderstandes einer einreihigen Verklammerung [kN/m¹]

d = Durchmesser des Drahtes [mm]

a_v = Verbindungsmittelabstand zwischen den Klammern [mm]

η_t = Beiwert zur Berücksichtigung der Einwirkungsdauer [-]

η_w = Beiwert zur Erfassung des Einflusses der Holzfeuchte [-]

Lastfall Erdbeben

Rippenabstand 625 mm						
Beplankung	Verbindungsmittel	Feuchteklasse	Plattendicke [mm]	R_d [kN/m] für Verbindungsmittelabstand		
				30	40	50
Einseitig	Klammer d=1,53 mm	1	12,5	8.7 [15.8]	8.7 [11.8]	8.7 [9.5]
			15	12.3 [15.8]	11.8	9.5
			18	15.8	11.8	9.5
		2	12,5	6.3 [11.8]	6.3 [8.9]	6.3 [7.1]
			15	8.9 [11.8]	8.9	7.1
			18	11.8	8.9	7.1
	Klammer d=1,80 mm	1	12,5	8.7 [20.9]	8.7 [15.6]	8.7 [12.5]
			15	12.3 [20.9]	12.3 [15.6]	12.3 [12.5]
			18	17.0 [20.9]	15.6	12.5
		2	12,5	6.3 [15.6]	6.3 [11.7]	6.3 [9.4]
			15	8.9 [15.6]	8.9 [11.7]	8.9 [9.4]
			18	12.4 [15.6]	11.7	9.4
Zweiseitig	Klammer d=1,53 mm	1	12,5	26.6 [31.6]	23.6	19.0
			15	31.6	23.6	19.0
			18	31.6	23.6	19.0
		2	12,5	19.3 [23.6]	17.8	14.2
			15	23.6	17.8	14.2
			18	23.6	17.8	14.2
	Klammer d=1,80 mm	1	12,5	26.6 [41.8]	26.6 [31.2]	25.0
			15	37.3 [41.8]	31.2	25.0
			18	41.8	31.2	25.0
		2	12,5	19.3 [31.2]	19.3 [23.4]	18.8
			15	27.1 [31.2]	23.4	18.8
			18	31.2	23.4	18.8
- Nachweis der Verklammerung wird bemessungsrelevant						
- Nachweis der Schubfestigkeit der Beplankung wird bemessungsrelevant						
- Beulnachweis der Beplankung wird bemessungsrelevant						

Bemessungswert des Tragwiderstandes R_d der Verklammerung pro Meter Wandlänge nach SIA 265/1 (2009) für den Lastfall Erdbeben

Lastfall Wind

Rippenabstand 625 mm						
Beplankung	Verbindungs- mittel	Feuchte- klasse	Plattendicke [mm]	R_d [kN/m] für Verbindungsmittelabstand		
				30	40	50
Einseitig	Klammer $d=1,53$ mm	1	12,5	6.3 (11.3)	6.3 (8.4)	6.3 (6.7)
			15	8.9 (11.3)	8.4	6.7
			18	11.3	8.4	6.7
		2	12,5	4.7 (8.4)	4.7 (6.3)	4.7 (5.0)
			15	6.7 (8.4)	6.3	5.0
			18	8.4	6.3	5.0
	Klammer $d=1,80$ mm	1	12,5	6.3 (14.9)	6.3 (11.2)	6.3 (8.9)
			15	8.9 (14.9)	8.9 (11.2)	8.9
			18	12.4 (14.9)	11.2	8.9
		2	12,5	4.7 (11.2)	4.7 (8.4)	4.7 (6.7)
			15	6.7 (11.2)	6.7 (8.4)	6.7
			18	9.3 (11.2)	8.4	6.7
Zweiseitig	Klammer $d=1,53$ mm	1	12,5	19.3 (22.6)	16.8	13.4
			15	22.6	16.8	13.4
			18	22.6	16.8	13.4
		2	12,5	14.5 (16.8)	12.6	10.0
			15	16.8	12.6	10.0
			18	16.8	12.6	10.0
	Klammer $d=1,80$ mm	1	12,5	19.3 (29.8)	19.3 (22.4)	17.8
			15	27.1 (29.8)	22.4	17.8
			18	29.8	22.4	17.8
		2	12,5	14.5 (22.4)	14.5 (16.8)	13.4
			15	20.3 (22.4)	16.8	13.4
			18	22.4	16.8	13.4
- Nachweis der Verklammerung wird bemessungsrelevant						
- Nachweis der Schubfestigkeit der Beplankung wird bemessungsrelevant						
- Beulnachweis der Beplankung wird bemessungsrelevant						

Bemessungswert des Tragwiderstandes R_d der Verklammerung pro Meter Wandlänge nach SIA 265/1 (2009) für den Lastfall Wind

Die rot und grau hinterlegten Werte zeigen die massgebenden Bemessungswerte der Tragwiderstände für Bauteile, bei denen nicht die Verklammerung (Wert in Klammern), sondern Schub- bzw. Beulversagen für den Tragwiderstand massgebend werden.

Die tabellierten Werte können beliebig auf andere Verbindungsmittelabstände umgerechnet werden. Zu beachten ist, dass mit zunehmendem Klammerabstand der Tragwiderstand abnimmt. Für mehrreihige Verklammerungen entlang der Plattenränder können die Tragwiderstände mit der Anzahl Klammerreihen multipliziert werden.

5.2.2 Bemessungswert des Schub-Tragwiderstandes der Beplankung nach DIN 1052:2004-08

Der Bemessungswert des Schub-Tragwiderstandes der Beplankung aus FERMACELL berechnet sich nach der Norm DIN 1052:2004-08 für Holzrahmenbauwände pro Meter Wandlänge wie folgt:

$$R_d = k_{v1} \cdot k_{v2} \cdot \frac{\eta_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{v,k} \cdot t$$

[DIN 1052:2004-8 Gleichung 123]

- R_d = Bemessungswert des Tragwiderstandes einer Beplankung [kN/m²]
- k_{v1} = Beiwert zur Berücksichtigung der Anordnung und Verbindungsart der Platten [-]
- k_{v2} = Beiwert zur Berücksichtigung der Zusatzbeanspruchungen [-]
- η_{mod} = Beiwert zur Erfassung des Einflusses der Dauer der Einwirkung und des Feuchtgehalts [-]
- γ_M = Widerstandsbeiwert [-]
- $f_{v,k}$ = charakteristischer Wert der Schubfestigkeit [N/mm²]
- t = Dicke der Beplankung [mm]

Lastfall Erdbeben

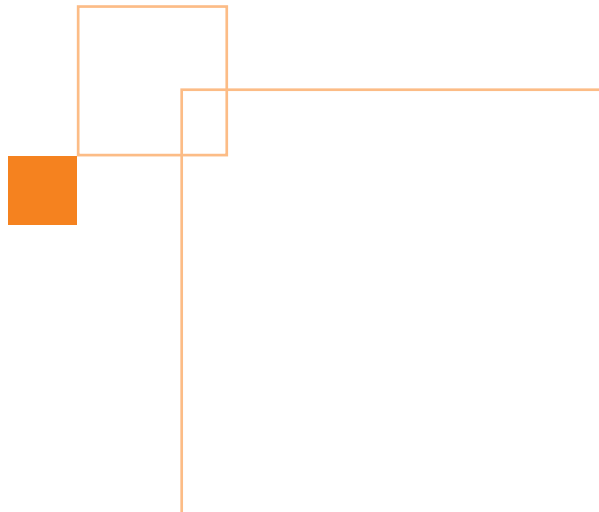
Beplankung	Feuchteklasse	Plattendicke [mm]	R_d [kN/m]
Einseitig	1	12,5	12.5
		15	14.6
		18	17.0
	2	12,5	9.1
		15	10.6
		18	12.4
Zweiseitig	1	12,5	38.0
		15	44.4
		18	51.7
	2	12,5	27.6
		15	32.3
		18	37.6

Bemessungswert des Tragwiderstandes R_d für Schubversagen pro Meter Wandlänge nach DIN 1052:2004-08 für den Lastfall Erdbeben

Lastfall Wind

Beplankung	Feuchteklasse	Plattendicke [mm]	R_d [kN/m]
Einseitig	1	12,5	9.1
		15	10.6
		18	12.4
	2	12,5	6.8
		15	7.9
		18	9.3
Zweiseitig	1	12,5	27.6
		15	32.3
		18	37.6
	2	12,5	20.7
		15	24.2
		18	28.2

Bemessungswert des Tragwiderstandes R_d für Schubversagen pro Meter Wandlänge nach DIN 1052:2004-08 für den Lastfall Wind



5.2.3 Nachweis des Plattenbeulens nach DIN 1052:2004-08

Der Bemessungswert des Tragwiderstandes auf Beulen der Beplankung aus FERMACELL berechnet sich nach der Norm DIN 1052:2004-08 für Holzrahmenbauwände pro Meter Wandlänge wie folgt:

$$R_d = k_{v1} \cdot k_{v2} \cdot \frac{\eta_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{v,k} \cdot 35 \cdot \frac{t^2}{a_r}$$

[DIN 1052:2004-8 Gleichung 123]

- R_d = Bemessungswert des Tragwiderstandes einer Beplankung [kN/m]
- k_{v1} = Beiwert zur Berücksichtigung der Anordnung und Verbindungsart der Platten [-]
- k_{v2} = Beiwert zur Berücksichtigung der Zusatzbeanspruchungen [-]
- η_{mod} = Beiwert zur Erfassung des Einflusses der Dauer der Einwirkung und des Feuchtgehalts [-]
- γ_M = Widerstandsbeiwert [-]
- $f_{v,k}$ = charakteristischer Wert der Schubfestigkeit [N/mm²]
- t = Dicke der Beplankung [mm]
- a_r = Abstand der Wandrippen [mm]

Lastfall Erdbeben

Beplankung	Feuchteklasse	Rippenabstand a_k [mm]	Plattendicke [mm]	R_d [kN/m]
Einseitig	1	417	12,5	13.1
			15	18.4
			18	25.8
		625	12,5	8.7
			15	12.3
			18	17.2
	2	417	12,5	9.5
			15	13.4
			18	18.7
		625	12,5	6.3
			15	8.9
			18	12.5
Zweiseitig	1	417	12,5	39.9
			15	55.9
			18	78.2
		625	12,5	26.6
			15	37.3
			18	52.1
	2	417	12,5	29.0
			15	40.6
			18	56.8
		625	12,5	19.3
			15	27.1
			18	37.9

Bemessungswert des Tragwiderstandes R_d für Beulversagen pro Meter Wandlänge nach DIN 1052:2004-08 für den Lastfall Erdbeben

Lastfall Wind

Beplankung	Feuchteklasse	Rippenabstand a_k [mm]	Plattendicke [mm]	R_d [kN/m]
Einseitig	1	417	12,5	9.5
			15	13.4
			18	18.7
		625	12,5	6.3
			15	8.9
			18	12.5
	2	417	12,5	7.1
			15	10.0
			18	14.0
		625	12,5	4.7
			15	6.7
			18	9.3
Zweiseitig	1	417	12,5	29.0
			15	40.6
			18	56.8
		625	12,5	19.3
			15	27.1
			18	37.9
	2	417	12,5	21.7
			15	30.5
			18	42.6
		625	12,5	14.5
			15	20.3
			18	28.4

Bemessungswert des Tragwiderstandes R_d für Beulversagen pro Meter Wandlänge nach DIN 1052:2004-08 für den Lastfall Wind

Literaturverzeichnis

- [1] Technische Dokumentation der Lignum: Erdbebegerechte, mehrgeschossige Holzbauten. Lignum Holzwirtschaft Schweiz, Zürich.
- [2] ANONYMUS: KATARISK, Katastrophen und Notlagen in der Schweiz, Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS, Bern 1995
- [3] NORM SIA 265 (2003): Holzbau. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA, Zürich.
- [4] NORM SIA 265/1 (2009): Holzbau – Ergänzende Festlegungen. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA, Zürich.
- [5] NORM SIA 261 (2003): Einwirkungen auf Tragwerke. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA, Zürich.
- [6] Norm DIN 1052:2004-08: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Holzbau. DIN Deutsches Institut für Normung, Berlin.
- [7] Niklaus Wirz: Erdbebenbemessung und Aussteifung mehrgeschossiger Gebäude in Holzbauweise. PIRMIN JUNG Ingenieure für Holzbau AG, Rain.

Fermacell GmbH Schweiz

Südstrasse 4

CH-3110 Münsingen

Telefon: 031-724 20 20

Technische Auskünfte: 031-724 20 30

Telefax: 031-724 20 29

FERMACELL® ist eingetragene Marke und ein Unternehmen der XELLA-Gruppe.

Technische Änderungen vorbehalten. Stand 11/2010
Es gilt die jeweils aktuelle Auflage.
Sollten Sie Informationen in dieser Unterlage vermissen, rufen Sie uns bitte an.