

# **Erdbebensicher befestigen: Verankerungen unter seismischer Belastung**

Whitepaper für  
Tragwerksplaner und Statiker.



# Inhalt.

## Whitepaper „Erdbebensicher befestigen: Verankerungen unter seismischer Belastung“

### Erdbeben – Gefahr aus der Tiefe.

Daten & Fakten im Überblick.

03

### Wie entstehen Erdbeben?

Zerstörende Kraft für Gebäude.

04

### Tragende und nichttragende Bauteile.

Unterscheidung & finanzielle Schäden.

06

### Erdbebensicher verankern.

Drei wichtige Dokumente.

07

### Seismische Lasten nach EN 1998-1.

Belastung des Dübels bestimmen.

08

### Seismische Qualifikation von Dübeln.

Leistungskategorien C1 und C2.

09

### Bemessung nach EN 1992-4.

- Drei Bemessungsansätze.
- Berechnung des Widerstands der Verankerung.

10

12

### fischer Lösungen.

Produkte für seismische Belastung.

16

### fischer Services.

Technische Beratung, fischer Akademie, FiXperience: alles aus einer Hand.

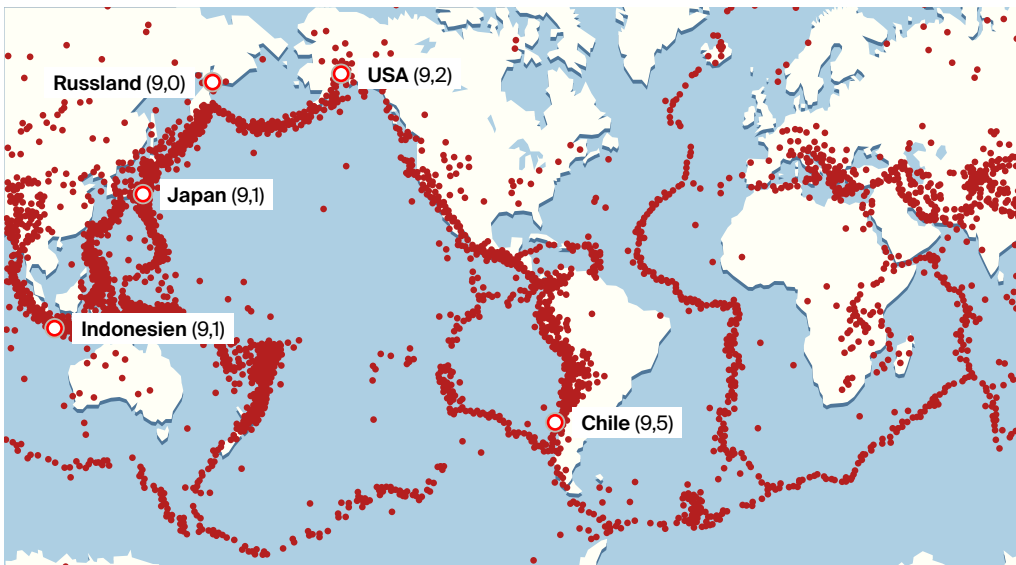
18

### Zusammenfassung Whitepaper.

19

**Herausgeber Whitepaper:** fischerwerke GmbH & Co. KG, Klaus-Fischer-Straße 1, 72178 Waldachtal, Deutschland, T + 49 7443 12 – 0, info@fischer.de; Annika Armbruster (Projektleitung). **Konzeption, Produktion & Layout:** Kresse & Discher GmbH, Content Marketing, Offenburg; Marcus Stradinger (Projektleitung), Astrid Paz (Grafik-Design). **Text:** Dr. Thilo Pregartner, Enrico Crivellaro, Dr. Boglárka Bokor (fischer, v.i.S.d.P.), Christiane Müller und Marcus Stradinger (Kresse & Discher). **Fotos auf S. 5, 11, 14, 16 und technische Zeichnungen:** fischer. **Weitere Fotos:** stock.adobe.com/Takashi Yamashita (Titel), stock.adobe.com/Graphitèque/angga/Larissa/HuHu Lin/VectorMine (S.3), stock.adobe.com/Maurizio Distefano (S.4), stock.adobe.com/Marc Xavier (S.6), Johannes Zrenner (S.13), Privat (S.17), stock.adobe.com/Bonninstudio (S.18). **Veröffentlichung Whitepaper: 2022**

# Erdbeben – Gefahr aus der Tiefe. Daten & Fakten im Überblick.



**Erdbeben entstehen meist entlang der Grenzen tektonischer Platten:** Auf der Karte ist dies gut an den rot markierten Epizentren zu erkennen. Besonders häufig sind Erdbeben entlang des Pazifischen Feuerrings, der den Pazifik auf ca. 40.000 Kilometern umgibt. Dort traten auch die fünf stärksten Erdbeben seit 1900 auf, die in der Karte namentlich genannt werden.



**Die fünf stärksten Erdbeben weltweit seit 1900 (siehe links, nach Ausschlag auf der Richterskala):**

1. **Chile:** Valdivia-Region (1960), Stärke: 9,5
2. **USA:** Prinz-William-Sund/Alaska (1964) Stärke: 9,2
3. **Indonesien:** Sumatra (2004), Stärke: 9,1
4. **Japan:** Tōhoku-Region/Fukushima, (2011), Stärke: 9,1
5. **Russland:** Kamchatka (1952), Stärke: 9,0

## Schlimme Schäden

Ca. 1 Million Gebäude wurden durch das Tōhoku-Beben 2011 und den dazugehörigen Tsunami zerstört oder beschädigt, darunter das Kernkraftwerk in Fukushima.



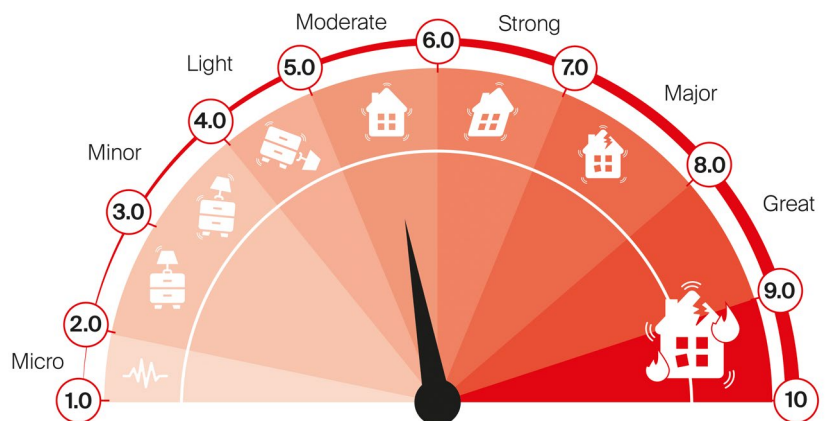
## Ca. 130.000

Mal pro Jahr gibt es weltweit Erdbeben der Stärke 3,0 bis 4,0. Verheerende Erdbeben mit einer Magnitude zwischen 7,0 und 8,0 treten durchschnittlich 15-mal pro Jahr auf.



## San-Andreas-Verwerfung

1.400 km lange Bruchzone in Kalifornien (USA), an der sich jedes Jahr Zehntausende kleinere Erdbeben ereignen. 1906 löste die San-Andreas-Verwerfung ein Erdbeben der Stärke 8,6 in San Francisco aus.



**Richterskala:** Der kalifornische Seismologe Charles F. Richter führte 1935 die nach ihm benannte Magnituden-Skala für Erdbeben ein. Ein Beben mit der Magnitude 6,0 bedeutet zehnmals stärkere Bodenbewegungen als bei 5,0.

# Wie entstehen Erdbeben?

## Zerstörende Wirkung für Gebäude.

Am 24. August 2016 erschütterte ein gewaltiges Erdbeben Mittelitalien. Das Beben mit der Stärke 5,9 auf der Richterskala zerstörte fast komplett die Stadt Amatrice nordöstlich von Rom. Insgesamt waren von dem Haupt- und den zahlreichen Nachbeben mehr als 130 Gemeinden betroffen, rund 300 Menschen starben. Jahrhundertealte Kirchen lagen plötzlich in Trümmern – Wohnhäuser, Schulen und Krankenhäuser waren unbenutzbar. Bereits 2009 hatte das Erdbeben von L'Aquila in der Region schwere Schäden angerichtet.

### Tektonische Verschiebungen

Dass Mittelitalien so häufig von Erdbeben betroffen ist, ist kein Zufall. Die Region liegt auf **komplexen Verwerfungen**, die durch die Kollision der afrikanischen Platte und der eurasischen Platte entstanden sind. Für zusätzliche Bewegung sorgt die Subduktion der adriatischen Platte

unter den Apennin und die Öffnung des Tyrrhenischen Beckens. In Europa sind weitere Regionen am **östlichen Mittelmeer** besonders erdbebengefährdet, vor allem die Balkanstaaten und Griechenland. Neben tektonischen Erdbeben gibt es induzierte Erdbeben, die zum Beispiel durch Ölförderung oder Geothermie ausgelöst werden.

### Gefahr für Mensch & Gebäude

Je nach Erdbebenstärke führen die **Erschütterungen** bei Gebäuden zu Mauerrissen, Verschiebungen des Fundaments und Rohrbrüchen. Bei schweren Erdbeben stürzen Bauteile oder gar das ganze Gebäude ein. Häufig lösen Erdbeben außerdem Erdrutsche, Bodenverflüssigungen, Überschwemmungen und Tsunamis aus. Beschädigte Strom- oder Gasleitungen können zu verheerenden Bränden führen und zusätzliche Schäden anrichten.

**I Subduktion:** Begriff aus der Plattentektonik. Es bezeichnet das Abtauchen am Rand einer tektonischen Platte, während dieser Rand gleichzeitig von einer anderen Platte „überfahren“ wird.

**Adriatische Platte:** Teil der afrikanischen Platte, dessen Kollision mit der eurasischen Platte zur Bildung der Gebirgskette Alpen und Apennin führte.

**Induziertes Erdbeben:** Durch menschliche Aktivitäten verursachtes Erdbeben.

**Tyrrhenisches Becken:** Teil des Mittelmeers zwischen Korsika, Sardinien und Sizilien.



Erdbeben können verheerende Folgen nach sich ziehen: Häufig sind Gebäude und Infrastruktur einer Region – wie hier in Italien – auf Jahre hin zerstört.

### Ein Erdbeben entsteht:

Durch plötzliche Verschiebungen entlang der Bruchflächen der Erdkruste wird angesammelte Energie frei. Vom Epizentrum aus breiten sich die Erdbebenwellen bis zur Erdoberfläche aus, wo es zu Erschütterungen kommt.

Theoretische Grundlagen zur Bemessung und die praktische Anwendung von Befestigungen in seismischen Zonen gehören zu Enrico Crivellaros Hauptaufgaben. Er ist seit vielen Jahren bei fischer im Bereich Kompetenztransfer und als Trainer in der Akademie tätig.



**» Wer in einem Erdbebengebiet lebt, der weiß, was es bedeutet, nachts aufzuwachen, während das Gebäude wackelt. Der Einsatz erdbebensicherer Verankerungen erhöht die Sicherheit. Und alle können ruhig weiterschlafen.«**

**Dipl.-Ing. Enrico Crivellaro**

Kompetenztransfer, Normen und Zulassungen  
bei fischer Italien

# Tragende und nichttragende Bauteile. Unterschiede & Gefahren.

Durch Erdbeben wird nicht nur die Standsicherheit eines Gebäudes beeinträchtigt – auch alle Bauteile, die am Gebäude befestigt sind, stellen eine Gefahr dar. Eine wichtige Unterscheidung ist daher die zwischen tragenden und nichttragenden Bauteilen.

## Tragende Bauteile

Bei einem Erdbeben überträgt sich die Bodenbeschleunigung auf das Tragwerk des Gebäudes, das zu schwingen anfängt. Durch die Hebelwirkung verstärkt sich diese Schwingung je höher liegendem Stockwerk. Das Versagen von tragenden Bauteilen kann zum Versagen des Tragwerks oder eines Teils des Tragwerks führen.

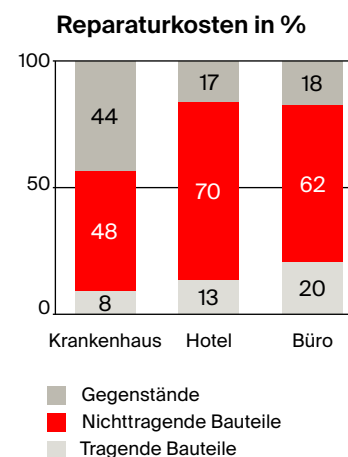
## Nichttragende Bauteile

Es gibt aber auch eine klare Interaktion zwischen der Einwirkung auf das Gebäude und allem, was daran befestigt ist. Rohre, Kabeltrassen usw. fangen ebenfalls an zu schwingen und erfahren eine Beschleunigung. Da ein Erdbeben meist nur wenige Minuten dauert, werden **hohe Lastwerte** erreicht, die aber nicht ermüdungsrelevant sind. Zu nichttragenden

den Bauteilen zählen unter anderem:

- Rohre und Leitungen
- abgehängte Decken
- Kabeltrassen und Klimageräte
- Fassaden

Diese nichttragenden Bauteile können bei einem Erdbeben auf Menschen herunterfallen oder Fluchtwege versperren. Sind sie zerstört, ist das **Gebäude für lange Zeit unbenutzbar**, auch wenn das Tragwerk noch steht. Die Erdbebenforschung zeigt zudem, dass Erdbeben erhebliche finanzielle Schäden verursachen. Bei einem Wohngebäude entfallen circa 40 Prozent der Reparaturkosten auf nichttragende Bauteile, 40 Prozent auf tragende Bauteile und 20 Prozent auf bewegliche Gegenstände wie Möbel. Bei Krankenhäusern, Bürogebäuden und Hotels sind die Kosten für Schäden an nichttragenden Bauteilen deutlich höher (siehe Diagramm rechts). Bei zu erwartender seismischer Belastung sollten Tragwerksplaner und Statiker daher immer auch erdbebensichere Befestigungen für nichttragende Bauteile vorsehen.



2012 beschädigte ein Erdbeben diese Produktionshalle in Cavezzo (Norditalien).



# Erdbebensicher verankern. Drei wichtige Dokumente.

In EN 1998-1 werden als wichtigste Ziele genannt, dass bei einem Erdbeben menschliches Leben geschützt wird, Schäden begrenzt werden sowie wichtige Bauwerke zum Schutz der Bevölkerung funktionstüchtig bleiben. Befestigungen müssen unter seismischer Belastung Rissbewegungen, wechselnden Lasten und größeren Rissen als unter statischer Belastung standhalten. Für die Bemessung von Befestigungen unter seismischer Belastung sind drei Dokumente notwendig:

- EN 1992-4 (EC2-4)
- ETA des Befestigungsmittels
- EN 1998-1 (EC8-1)

## EN 1992-4

Grundlage für die Berechnung ist die EN 1992-4 (EC2, Teil 4), die seit 2019 für die Bemessung von Befestigungen in Beton gilt. Die EN 1992-4 regelt die **Berechnung des Widerstands** der Befestigung. Sie ist ausschließlich für Befestigungen in Beton gültig.

## ETA

Voraussetzung für die Anwendung von EN 1992-4 sind die Europäischen

Technischen Bewertungen (ETA). Diese dokumentieren die **seismische Qualifikation des Dübels** und helfen bei der Auswahl eines geeigneten Produkts.

## EN 1998-1

Welche Lasten angesetzt werden müssen, hängt von der Bodenbeschleunigung in der seismischen Region ab (**siehe Seite 8**). **Wichtig für alle Anwender:** Für seismische Belastungen sind die Last-Werte in der EN 1998-1 zu finden, statt wie sonst in der EN 1991-1.

Auf den folgenden Seiten wird Schritt für Schritt erklärt, wie Tragwerksplaner und Statiker mithilfe der drei genannten Dokumente eine **gültige Bemessung von Befestigungselementen unter Erdbebeneinwirkungen** durchführen:

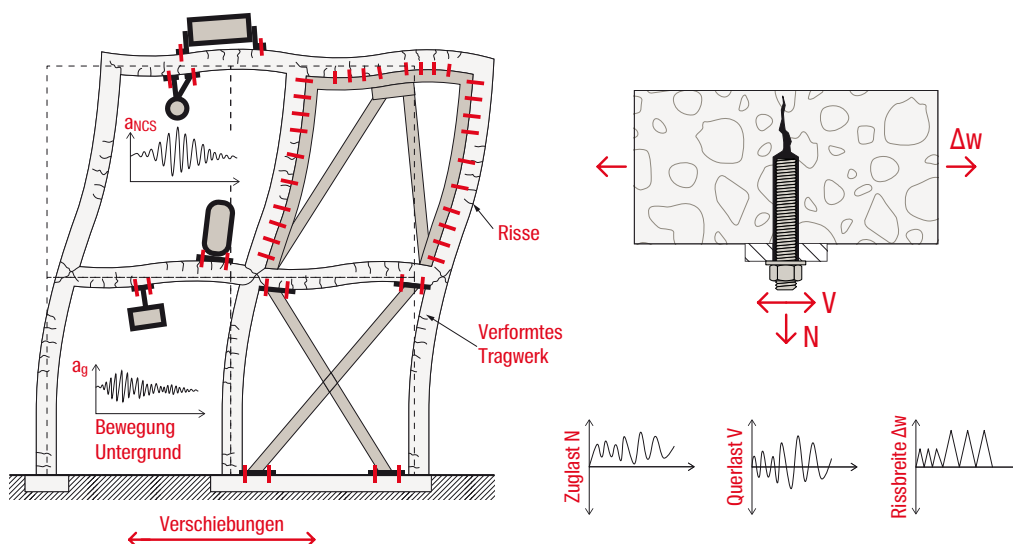
- **Seite 8:** Bestimmung der Last nach EN 1998-1
- **Seite 9:** Qualifikation des Ankers mit Leistungskategorien C1 & C2
- **Ab Seite 12:** Vorstellung von drei Bemessungsmethoden nach EN 1992-4 und Berechnung des Widerstands der Befestigung

Die Bedeutung der Norm DIN EN 1992-4 für die Bemessung von Befestigungen in Beton

Hier geht es zum Whitepaper



**i** Bei der Anwendung der zitierten Normen sind Abweichungen der Bestimmungen in den nationalen Anhängen zu beachten.



Bei Erdbeben sind Betonbauteil und Befestigungselement zyklischen Beanspruchungen mit wechselnden Rissbreiten sowie wechselnden Zug- und Querkräften im Beton ausgesetzt.

Quellen: Mahrenholtz, P.: „Experimental Performance and Recommendations for Qualification of Post-installed Anchors for Seismic Applications“, Dissertation, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, 2012 (I). Hoehler, M.: „Behavior and Testing of Fastenings to Concrete for Use in Seismic Applications“, Dissertation, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, 2006 (r).

# Seismische Lasten nach EN 1998-1. Belastung des Dübels bestimmen.

Die Auswirkungen seismischer Belastung auf nichttragende Bauteile werden nach den Bestimmungen von EN 1998-1 ermittelt. Mit  $F_a$  wird die **horizontale seismische Kraft** bezeichnet, die im Masseschwerpunkt des **nichttragenden Elements** in der ungünstigsten Richtung wirkt. Auf keinen Fall vergessen werden darf außerdem die Berechnung der **vertikalen seismischen Kraft  $F_{va}$** . Mit zwei Gleichungen (siehe Kasten rechts) lassen sich die Kräfte unkompliziert ermitteln.

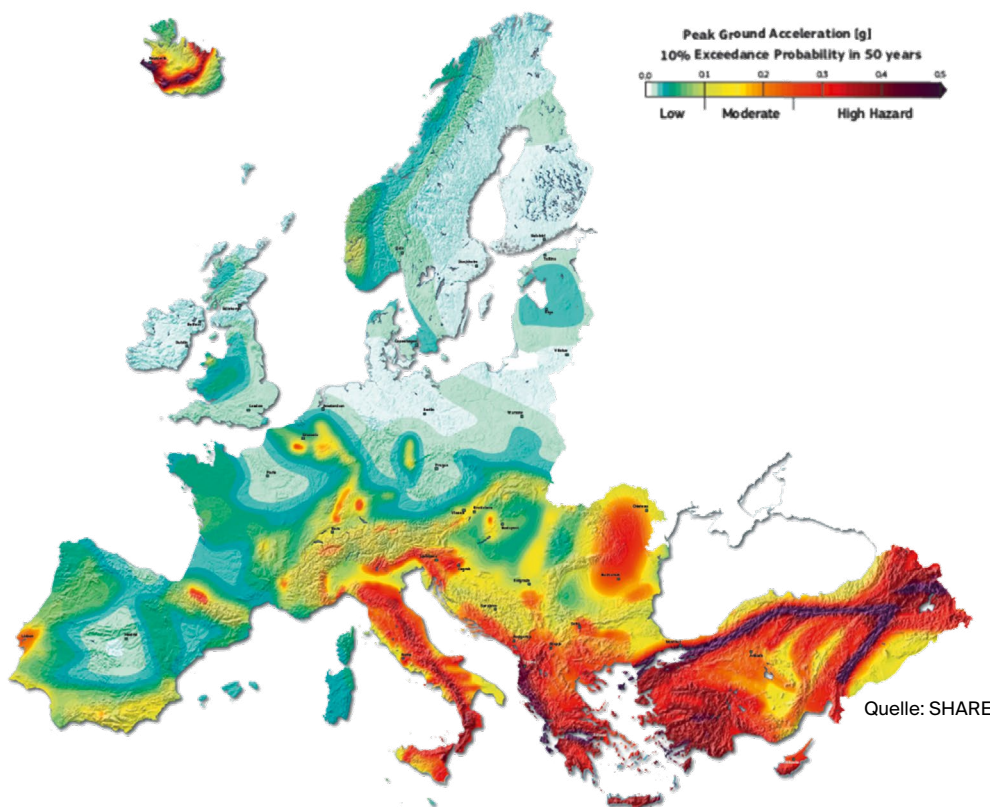
## Berechnung der Belastung

Die Höhe der seismischen Belastung hängt unter anderem von der Bodenbeschleunigung  $a_g$  ab, die in einer bestimmten Region auf ein Gebäude einwirkt (siehe Karte unten). Diese fließt in die Berechnung des Erdbebenbeiwerts  $S_a$  ein. EN 1992-4 sieht allerdings eine vereinfachte Berechnung des Erdbebenbeiwerts vor und führt den Parameter  $A_a$  (seismischer Überhöhungsfaktor) ein. Dieser wird –

ebenso wie der Verhaltensbeiwert  $q_a$  – aus der Tabelle C.2 in der EN 1992-4 entnommen. Der Bedeutungswert  $\gamma_a$  beträgt im Allgemeinen 1,0. Lediglich für Verankerungen von Maschinenelementen, Ausrüstungen für Sicherheitsanlagen oder von Behältern, die giftige oder explosive Stoffe enthalten, darf er nicht kleiner als 1,5 sein (vergleiche EN 1998-1). Die Formel zur Bestimmung der vertikalen Einwirkungen unterscheidet sich lediglich im Faktor  $S_{va}$ . Sowohl  $A_a$  als auch  $\gamma_a$  und  $q_a$  werden mit den für horizontale Kräfte geltenden Werten gleichgesetzt.

## Länderspezifika

Der oben beschriebene vereinfachte Ansatz wird in einigen **nationalen Vorschriften** (z.B. in der italienischen Bauverordnung) durch einen anspruchsvolleren Ansatz ersetzt, der alle Schwingungsformen der Primärstruktur berücksichtigt (Modalanalyse). Eine künftige Neufassung der EN 1998 wird dieses Vorgehen vermutlich übernehmen.



Quelle: SHARE

### Statische Ersatzlast für nichttragende Elemente horizontal:

$$F_a = \frac{(S_a \cdot W_a \cdot \gamma_a)}{q_a}$$

$S_a$ : Erdbebenbeiwert für horizontale Einwirkung; Berechnung siehe Gleichung C.3 in EN 1992-4

$W_a$ : Gewicht des nichttragenden Bauteils

$\gamma_a$ : Bedeutungswert aus EN 1998-1

$q_a$ : Verhaltensbeiwert aus Tabelle C.2 in EN 1992-4

### Statische Ersatzlast für nichttragende Elemente vertikal:

$$F_{va} = \frac{(S_{va} \cdot W_a \cdot \gamma_a)}{q_a}$$

$S_{va}$ : Erdbebenbeiwert für vertikale Einwirkung; Berechnung siehe Gleichung C.6 in EN 1992-4

$W_a$ : Gewicht des nichttragenden Bauteils

$\gamma_a$ : Bedeutungswert aus EN 1998-1

$q_a$ : Verhaltensbeiwert aus Tabelle C.2 in EN 1992-4

Für das europäische Forschungsprojekt SHARE wurden Erdbeben ab 1000 n. Chr. erfasst und auf dieser Grundlage eine Bodenbeschleunigungskarte erstellt.



# Seismische Qualifikation von Dübeln. Leistungskategorien C1 und C2.

Unter seismischer Belastung wird bei Dübeln zwischen zwei unterschiedlichen Leistungskategorien unterschieden. Welche Kategorie für die Befestigung ausgewählt werden muss, hängt von den folgenden drei Kriterien ab:

- Bodenbeschleunigung in der Region (siehe S. 8)
- tragendes oder nichttragendes Bauteil (siehe S. 6)
- Bedeutungskategorie des Gebäudes

Entsprechend erfolgt die Auswahl des richtigen Befestigungsmittels.

## Kategorien C1 und C2

Grundvoraussetzung für die seismische Qualifikation eines Dübels ist eine **ETA** für gerissenen Beton. Für die Qualifizierung gemäß Leistungskategorie C1 bzw. C2 durchlaufen Dübel umfangreiche Qualifikationsversuche.

**Leistungskategorie C1:** Der Dübel muss Versuchen mit pulsierender Zuglast und alternierender Querlast bis zu einer Rissbreite von 0,5 mm standhalten. Bei Kategorie C1 beschränkt sich der Widerstand ausschließlich auf die Angabe von Tragfähigkeiten.

**Leistungskategorie C2:** Für die Qualifizierung werden Rissöffnungsversuche mit einer Rissbreite von 0,8 mm durchgeführt. Zusätzlich müssen die Befestigungen Risswechsel aushalten. Nach Kategorie C2 spielen neben den Tragfähigkeiten auch Verformungen eine wesentliche Rolle. **Dübel der Kategorie C2** sind damit für **höchste seismische Belastungen** ausgelegt.

## Gebäude-Klassifizierung

Im **Eurocode 0** sind vier verschiedene Bedeutungskategorien für Hochbauten definiert. Gebäude der Kategorie I haben eine geringe Bedeutung für die öffentliche Sicherheit. Dazu zählen zum Beispiel landwirtschaftliche Bauten. **In dieser Kategorie ist ein C1-Anker ausreichend.** Wohngebäude befinden sich in Kategorie II, Schulen und kulturelle Einrichtungen in Kategorie III. Die höchste Bedeutungskategorie IV umfasst Bauwerke, deren Unversehrtheit während eines Erdbebens besonders wichtig ist: zum Beispiel Krankenhäuser, Feuerwachen und Kraftwerke. **Für die Bedeutungskategorie IV muss außer bei sehr geringer Erdbebenstärke immer ein C2-Anker verwendet werden.**

**I Eurocode 0** (auch EC 0) ist die Bezeichnung für die europäische Norm EN 1990. In der Norm sind die Grundlagen der Tragwerksplanung festgelegt.

### Zum Weiterlesen:

- Stehle, E.J.; Sharma, A. Review of Testing and Qualification of Post-Installed Anchors under Seismic Actions for Structural Applications. CivilEng 2021, 2, 406-420. <https://doi.org/10.3390/civileng2020023>.

Erdbebenstärke <sup>1)</sup>	Bauteile	Nachweis erforderlich für			
		I	II	III	IV
< 0,05 g	tragend	ETA, statische Belastung			
	nichttragend				
0,05 g – 0,1 g	tragend	ETA, Seismik, Kat. C2			
	nichttragend	ETA, Seismik, Kat. C1			
> 0,1 g	tragend	ETA, Seismik, Kat. C1	ETA, Seismik, Kat. C2		
	nichttragend				

<sup>1)</sup>Erdbebenstärke =  $a_g$

Die Tabelle zeigt, wie die Kriterien Erdbebenstärke, Bauteilart und Bedeutungskategorie des Gebäudes miteinander in Zusammenhang stehen. Für die Anforderungen der EN 1992-4 an die seismische Kategorie von Befestigungen sind die nationalen Anhänge zu berücksichtigen.

# Bemessung nach EN 1992-4.

## Drei Bemessungsansätze.

Basierend auf EN 1992-4 gibt es drei verschiedene Bemessungsmethoden (siehe Grafik unten), die auf dieser und der folgenden Seite ausführlich erläutert werden. Ein wichtiger grundsätzlicher Unterschied ist dabei, ob an die Befestigungselemente **Duktilitätsanforderungen** gestellt werden. Bei den häufig angewendeten Bemessungsmethoden **a<sub>1</sub>** und **a<sub>2</sub>** wird angenommen, dass Befestigungselemente keine Energie durch duktilen hysteretisches Verhalten aufnehmen können. Im Gegensatz dazu stellt die Methode **b** (siehe Seite 11) Anforderungen an die Duktilität der Befestigung: Sie ist bisher aber kaum für seismische Belastungen erforscht.

### a: Kapazitätsbemessung

Die Verankerung (Befestigungen, Ankerplatte, Profil) ist für die maximale Zug- bzw. Querbelastung ausgelegt, die im Erdbebenfall auftreten kann. Die auftretenden Zug- und Querbelastungen am Befestigungsmittel werden zum Beispiel durch einen Fließmechanismus reduziert.

Für die Kapazitätsbemessung gibt es insgesamt drei Möglichkeiten:

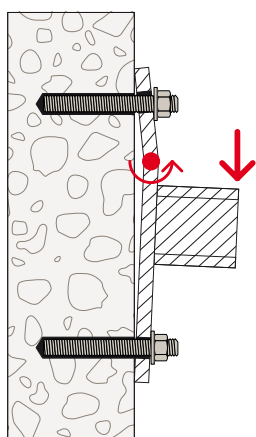
- duktiler Fließmechanismus des zu verankernden Bauteils unter Berücksichtigung der Kaltverfestigung und der Überfestigkeit des Materials
- duktiler Fließmechanismus der Ankerplatte, d. h., eine plastische Verformung der Ankerplatte wird erlaubt (*Nur diese Möglichkeit ist in der Grafik unten dargestellt*)
- Ausnutzen der Kapazität eines nicht nachgiebigen Anbauteils, d. h., das Versagen des Anbauteils wird erlaubt

Auf diese Weise bleibt die Beanspruchung des Befestigungsmittels zuverlässig begrenzt und der Dübel dadurch „geschützt“. Keine Anforderungen hingegen werden an den Dübel selbst und dessen Duktilität gestellt. Er wird stattdessen überdimensioniert, um spröde Versagensarten sicher zu vermeiden.

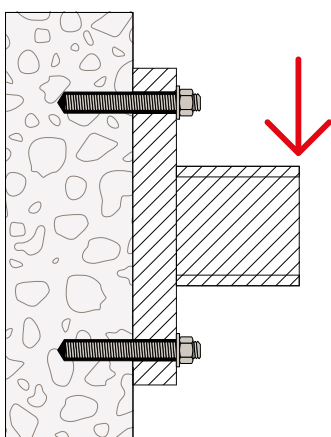
**I** **Duktilität** ist die Eigenschaft eines Werkstoffs, sich unter Belastung vor einem Versagen dauerhaft plastisch zu verformen.

**I** **Hysterese** ist die Abhängigkeit des Zustands (z. B. Dehnung) eines Systems nicht nur von der Spannung, sondern auch von seiner Belastungsgeschichte. Bei seismischen Systemen verlaufen Be- und Entlastungen deshalb in Schleifen und nicht in Geraden.

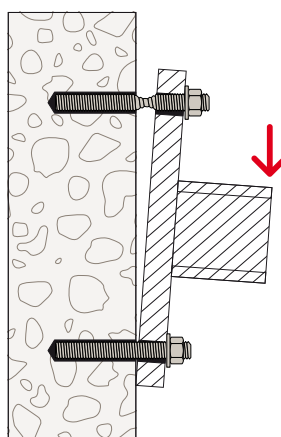
**a<sub>1</sub>**: Kapazitätsbemessung



**a<sub>2</sub>**: elastische Bemessung



**b**: duktile Befestigungsmittel



Drei Ansätze, um gültige Bemessungen für seismische Belastungen durchzuführen.

## **a<sub>2</sub>: elastische Bemessung**

Die Befestigung wird für die maximale Belastung bemessen, die sich im Erdbebenfall entsprechend der Lastfallkombinationen aus EN 1998-1 ergibt. Das Anbauteil wird dabei als unendlich steif angenommen (lineare Dehnungsverteilung). Bei der Bemessung wird entsprechend der **Elastizitätstheorie** ein elastisches Verhalten sowohl der Befestigung als auch des Bauwerks angenommen. Hierfür wird bei der Berechnung der seismischen Lasten der Verhaltensbeiwert  $q$  (tragende Bauteile) bzw.  $q_a$  (nichttragende Bauteile) mit 1,0 angesetzt.

## **b: duktile Befestigungsmittel**

Diese Bemessungsmethode rechnet mit der maximalen Verformbarkeit der Befestigung. Es wird also eine duktile Verformung des Dübels angestrebt. Maßgebend ist die Streckgrenze des Verbindungsmittels unter Zugbeanspruchung. Das Befestigungsmittel braucht also eine ausreichende Dehnfähigkeit

(EC2-4: z. B. Bruchdehnung > 12 Prozent, ausreichende Dehnlänge, weitere Details siehe Norm).

Bei der Bemessung unter Berücksichtigung der Duktilität der Befestigungsmittel ist Vorsicht geboten: Bisher liegen **kaum Anwendungserfahrungen** bei Erdbebeneinwirkung vor, deshalb ist sie auf nichttragende Bauteile beschränkt und das Befestigungsmittel muss für die Kategorie C2 qualifiziert sein. Diese Methode ist nur für die Zugkomponenten der Last anwendbar. Querlasten müssen durch zusätzliche Hilfsmittel oder Befestigungen, die mit der Option  $a_1$  oder  $a_2$  bemessen werden, abgeleitet werden. Ein Beispiel sind Rohrleitungen, bei denen die Querlasten über Querstreben abgeleitet werden.

### Zum Weiterlesen:

Roeser W., Schlüter F.-H.: „Befestigungsmittel in europäischen Erdbebengebieten“, in „Erläuterungen zu DIN EN 1992-4. Bemessung der Verankerung von Befestigungen in Beton“; Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 615, Beuth Verlag, 2019.

**I** Mit der **Elastizitätstheorie** wird die elastische und somit reversible Verformung eines Bauteils beschrieben.



Ein duktiler Befestigungsmittel benötigt eine ausreichende Dehnlänge und Bruchdehnung.

# Bemessung nach EN 1992-4.

## Berechnung des Widerstands der Befestigung.

Der Bemessungswert des Widerstands gegen seismische Beanspruchung einer Befestigung  $R_{d,eq}$  wird nach EN 1992-4 berechnet (Gleichung C.7, siehe oben in der Randspalte). Der dafür benötigte Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_{M,eq}$  ist identisch mit dem Wert für quasistatische Belastung und wird gemäß Abschnitt 4.4.2.2 der EN 1992-4 bestimmt. Für die Berechnung ist zudem der charakteristische Widerstand gegen seismische Beanspruchungen  $R_{k,eq}$  notwendig (Gleichung C.8 in EN 1992-4, siehe unten in der Randspalte). Er wird für jede Versagensart für Zug- und Querbelastung sowie deren Interaktion ermittelt. Ausschlaggebend für die Bemessung ist die Versagensart mit dem geringsten Widerstand.

Um  $R_{k,eq}$  berechnen zu können, brauchen die Anwender den grundlegenden charakteristischen seismischen Widerstand  $R_{k,eq}^0$ . Für Stahlbruch sowie für Versagen durch Herausziehen unter Zuglast und Stahlversagen unter Querlast

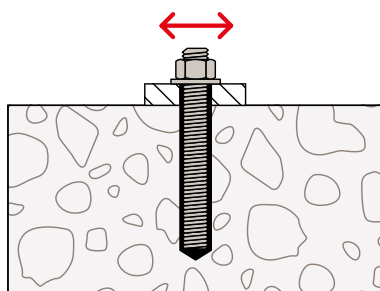
kann er einfach der technischen Spezifikation (ETA) entnommen werden. Für alle anderen Versagensarten wird  $R_{k,eq}^0$  gemäß Abschnitt 7 in EN 1992-4 ermittelt, analog zum Berechnungsverfahren für quasistatische Belastung.

Ein **wichtiger Unterschied** zur Bemessung unter statischer Einwirkung ist, dass bei seismischer Belastung die Abminderungsfaktoren  $\alpha_{gap}$  und  $\alpha_{eq}$  berücksichtigt werden müssen.

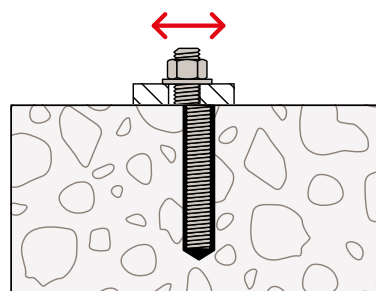
### Abminderungsfaktor $\alpha_{gap}$

Der **Ringspalt** zwischen Befestigungselement und Anbauteil kann bei seismischer Belastung die Beanspruchung der Befestigung ungünstig beeinflussen. Deshalb muss bei der Bemessung der Widerstand mit dem Reduktionsfaktor  $\alpha_{gap}$  abgemindert werden.

Bei **schneller Querbeanspruchung** (siehe Bild unten) – wie es bei einem Erdbeben auftreten kann – schlägt das Anbauteil immer wieder gegen das Befestigungsmittel und diese



verfüllter Ringspalt



nicht verfüllter Ringspalt

Wenn der Ringspalt nicht verfüllt ist, können die Ankerplatte oder das Anbauteil bei seismischer Belastung auf der Betonoberfläche gleiten und mit Hammerwirkung auf den Dübel schlagen. Dadurch ist mit einem frühzeitigen Versagen des Dübels zu rechnen.

### Seismischer Bemessungswiderstand:

$$R_{d,eq} = \frac{R_{k,eq}}{\gamma_{M,eq}}$$

$R_{k,eq}$ : charakteristischer Widerstand gegen seismische Beanspruchungen; siehe Gleichung unten

$\gamma_{M,eq}$ : Teilsicherheitsbeiwert; siehe Abschnitt 4.4.2 in EN-1992-4

### Charakteristischer Widerstand gegen seismische Beanspruchungen:

$$R_{k,eq} = \alpha_{gap} \cdot \alpha_{eq} \cdot R_{k,eq}^0$$

$\alpha_{gap}$ : Abminderungsfaktor; entnommen aus ETA

$\alpha_{eq}$ : Abminderungsfaktor; siehe Tabelle C.3 in EN 1992-4

$R_{k,eq}^0$ : grundlegender charakteristischer Widerstand gegen seismische Beanspruchungen; siehe ETA oder EN 1992-4

Prof. Akanshu Sharma hat langjährige Erfahrung im Bereich des konstruktiven Ingenieurbaus mit Fokus auf Verstärkungsmethoden mit Befestigungsmitteln.



**» Bei der Verstärkung von Bauwerken ist das seismische Verhalten der Verankerungen oft maßgebend dafür, wie ein Bauwerk bei Erdbeben reagiert. Zuverlässige Verankerungen sind daher für die Erdbebensicherheit von Bauwerken unerlässlich. «**

**Prof. Akanshu Sharma**

Associate Professor Lyles School of Civil Engineering an der Purdue University, USA

Hammerwirkung reduziert die Widerstandsfähigkeit des Befestigungsmittels. Im Falle einer Gruppenbefestigung muss aufgrund des beliebigen Lochspiels außerdem davon ausgegangen werden, dass die Querkräfte nicht gleichmäßig auf die Befestigungsmittel verteilt sind.

Bei **Verankerungen mit Lochspiel** muss daher für  $\alpha_{\text{gap}}$  der Wert 0,5 angesetzt werden. Das heißt, der Dübel darf nur zu maximal 50 Prozent ausgelastet werden. Bei seismischer Belastung wird deshalb empfohlen, den Ringspalt mithilfe einer **Verfüllscheibe mit hochfestem Injektionsmörtel** zu füllen (siehe Bild unten; weitere Informationen auf S. 16). Dadurch wird die Tragfähigkeit deutlich erhöht: **Wird der Ringspalt verfüllt, kann  $\alpha_{\text{gap}}$  mit 1,0 angesetzt werden.**

### Abminderungsfaktor $\alpha_{\text{eq}}$

Der Abminderungsfaktor  $\alpha_{\text{eq}}$  berücksichtigt verschiedene Phänomene, die mit der seismischen Belastung von Dübeln verbunden sind:

- Bei Erdbeben können sich – vergli-

chen mit statischer Belastung – relativ breite Risse im Stahlbeton entwickeln.

- Es kommt zu gleichzeitigen Last- und Risswechseln. Aufgrund des Öffnens und Schließens der Risse passen die Betonoberflächen nicht genau an denselben Stellen wieder zusammen. Dadurch werden bei Erdbeben sowohl die Betonoberfläche entlang des Befestigungsmittels als auch das Befestigungselement geschädigt.
- Bei einer Gruppenbefestigung mit mehreren Dübeln können sehr ungleiche Lastverteilungen auftreten, weil sich bestimmte Dübel in gerissenem Beton und andere Dübel in ungerissenem Beton befinden.
- Bei seismischen Einwirkungen ist die Streuung der Verschiebungen relativ groß.

**i** Die maximale **Rissbreite** beträgt 0,5 mm für Befestigungsmittel nach Erdbebenkategorie C1 und 0,8 mm bei Kategorie C2.

Der **Abminderungsfaktor  $\alpha_{\text{eq}}$  variiert, abhängig von der Versagensart und Belastungsrichtung**, zwischen 0,75 und 1,0. Die maximale Abminderung von 0,75 muss für Betonversagen angesetzt werden. Stahlversagen ist weniger problematisch, da

Wird der Ringspalt zwischen dem Dübel und der Bohrung im Anbauteil aus Stahl mit einer Verfüllscheibe gefüllt, kann  $\alpha_{\text{gap}}$  mit 1,0 angesetzt werden.



es eine duktile Versagensart ist. Die benötigten Werte für  $\alpha_{eq}$  können der Tabelle C.3 in EN 1992-4 entnommen werden (siehe Tabelle unten).

### Interaktion Zug- & Querlasten

Der Nachweis für die Interaktion zwischen Zug- und Querlasten wird analog zu Abschnitt 7.2.3.1 und 7.2.3.2 der EN 1992-4 geführt (Gleichung C.9 in EN 1992-4, siehe Randspalte). Er ist getrennt einerseits für **Stahlversagen** und andererseits für **andere Versagensarten** als Stahlversagen zu führen.

$N_{Ed}$  und  $V_{Ed}$  sind die Bemessungseinwirkungen auf die Verbindungs-

elemente (einschließlich seismischer Einwirkungen) für die entsprechenden Versagensarten.  $k_{15}$  kann verschiedene Werte annehmen: Für Stahlversagen wird  $k_{15}$  mit 1 angesetzt. Für Befestigungen mit einer Rückhängebewehrung, die nur Zug- oder Querlasten aufnimmt, beträgt  $k_{15}$  2/3. In allen anderen Fällen hat  $k_{15}$  wieder den Wert 1.

Für den Widerstand werden die folgenden Werte benutzt: Bei Stahlversagen sind die Variablen  $N_{Rd,i,eq}$  und  $V_{Rd,i,eq}$  identisch mit  $N_{Rd,s,eq}$  und  $V_{Rd,s,eq}$ . Bei allen anderen Versagensarten wird das größte Verhältnis von  $N_{Ed}/N_{Rd,i,eq}$  und  $V_{Ed}/V_{Rd,i,eq}$  maßgebend.

### Interaktion bei seismischer Bemessung:

$$\left( \frac{N_{Ed}}{N_{Rd,i,eq}} \right)^{k_{15}} + \left( \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,i,eq}} \right)^{k_{15}} \leq 1$$

- $N_{Ed}$ : Einwirkung Zuglast
- $N_{Rd,i,eq}$ : Widerstand Zuglast
- $V_{Ed}$ : Einwirkung Querlast
- $V_{Rd,i,eq}$ : Widerstand Querlast
- $k_{15}$ : siehe Text links

Beanspruchung	Versagensart	Einzeldübel	Dübelgruppe
Zuglast	Stahlversagen	1,0	1,0
	Herausziehen & kombiniertes Versagen		0,85
	Betonversagensarten <sup>2)</sup>	0,85 (1,0) <sup>1)</sup>	0,75 (0,85) <sup>1)</sup>
Querlast	Stahlversagen	1,0	0,85
	Betonkantenbruch		
	Pryout	0,85 (1,0) <sup>1)</sup>	0,75 (0,85) <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Wert in Klammern nur für Kopfbolzen und Hinterschnittsysteme (ohne Betonschrauben)

<sup>2)</sup> Betonversagensarten = kegelförmiger Betonausbruch, Spalten und lokaler Betonausbruch

In der Tabelle werden die  $\alpha_{eq}$ -Werte angegeben.

Die Tabelle enthält die Werte für den Abminderungsfaktor  $\alpha_{eq}$  gemäß EN 1992-4 (in Anlehnung an Tabelle C.3).

## Prof. Akanshu Sharma: „Verschiebungsbasierte Ansätze sind unerlässlich.“

Seismische Verstärkungslösungen wie Stahlaussteifungen, Stahlvouten, zusätzliche Wandscheiben, Stahlplatten, Stahlbeton-Ummantelungen und CFK-Umhüllungen (mit Carbonfaser verstärkter Kunststoff) benötigen Verankerungen, um eine gute Verbindung zwischen dem Verstärkungselement und dem bestehenden Bauteil herzustellen.

Nachträgliche Befestigungsmittel bieten attraktive Lösungen, um die Verbindung zwischen den Verstärkungselementen und dem Bauwerk zu bilden und so die Invasivität der Verstärkungssysteme zu verringern. In solchen Fällen

wird die seismische Leistungsfähigkeit der verstärkten Bauteile wesentlich von der seismischen Leistungsfähigkeit der nachträglichen Befestigungsmittel bestimmt. Dabei sind nicht nur die Tragfähigkeit, sondern auch das Verschiebungs- und Hystereseverhalten der Verankerungen von Bedeutung.

Verschiebungsbasierte Ansätze für die Bemessung, Prüfung und Qualifizierung von Befestigungen sind daher unerlässlich, um sichere, zuverlässige und effiziente Lösungen für die seismische Verstärkung zu gewährleisten.

Prof. Akanshu Sharma

# fischer Lösungen.

## Produkte für seismische Belastung.

Laut Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) ereignen sich weltweit pro Jahr durchschnittlich mehr als 150 Erdbeben mit einer Magnitude von 6,0 und höher. Um schwerwiegende Folgen für Bevölkerung und Gebäude in den betroffenen Gebieten zu verhindern, müssen auch nichttragende Bauteile erdbebensicher befestigt werden. Der Befestigungsspezialist fischer bietet dafür eine Vielfalt an Produkten, die für Verankerungen unter seismischer Belastung geeignet sind.

### Chemische Verankerungen

Für seismische Anwendungen der Leistungskategorien C1 und C2 zugelassen ist der **Injektionsmörtel FIS EM Plus**. Er bietet auch unter extremen Bedingungen sicheren Halt. Eine sehr hohe Verbundspannung und damit ein sehr hohes Lastniveau ermöglicht ebenfalls das System **Superbond mit dem Injektionsmörtel FIS SB oder der Patrone RSB**. Die ETA für gerissenen und ungerissenen

Beton sowie für seismische Belastungen bietet ein zusätzliches Plus an Sicherheit. Mit dem **FIS V Plus** hat fischer einen universell anwendbaren **Injektionsmörtel** etabliert, der eine Nutzungsdauer gemäß ETA-Bewertung von 100 Jahren ermöglicht und auch für seismische Anwendungen geeignet ist. Auch die fischer **Ankerstangen FIS A und RG M** eignen sich als Systemkomponenten für die Verwendung mit chemischen Befestigungslösungen von fischer.

### Stahlanker

Für gerissenen und ungerissenen Beton sowie für höchste seismische Belastungen ist die fischer **Beton-schraube UltraCut FBS II** bestens geeignet. Dies garantiert die ETA-Bewertung, die auch die Brandeignung für die Feuerwiderstandsklasse bis R 120 umfasst. Ebenfalls zugelassen für die Verwendung in Erdbebengebieten sind der **Bolzenanker FAZ II**, der **Hochleistungsanker FH II** und der **Zykon-Hinterschnittanker FZA**.

### Verfüllscheibe FFD:

Geeignet für die nachträgliche Verfüllung des Ringspalts zwischen Ankerplatte und Stahlanker, um die Tragfähigkeit bei seismischer Belastung deutlich zu erhöhen. Anwendung mit fischer Injektionsmörtel.

Hier geht's zur Verfüllscheibe FFD



Zuverlässig: Diese fischer Produkte trotzen auch hohen seismischen Beanspruchungen.



Prof. Giovanni Muciaccia beschäftigt sich seit vielen Jahren mit den Herausforderungen von erdbebensicheren Verankerungen bei Gebäuden.



**» Der gesamte südeuropäische Raum ist erdbebengefährdet und muss im Gebäudebestand in den kommenden Jahrzehnten renoviert werden. Effiziente Nachrüsttechniken erfordern dringend zuverlässige Befestigungslösungen.«**

**Prof. Giovanni Muciaccia**

Senior Assistant Professor für Tragwerksplanung und Befestigungstechnik, Fachbereich Bau- und Umwelt-ingenieurwesen (DICA) am Politecnico in Mailand, Italien

# fischer Services.

## Technische Beratung, fischer Akademie, FiXperience – alles aus einer Hand.

Die Experten von fischer unterstützen **Planer und Statiker** auf vielfältige Art und Weise. So sind u. a. die Spezialisten von der **technischen Beratung** von Montag bis Freitag per Telefon, E-Mail und Chat erreichbar und beraten rund um erdbebensichere Verankerungen sowie die Wahl adäquater Verankerungslösungen.

### Bemessen mit FiXperience

Um das Versagen einer Verankerung unter seismischer Belastung zu verhindern, muss ein Nachweis erbracht werden, dass die ausgewählten Produkte für die vorliegende Beanspruchung geeignet sind. Generell können Tragwerksplaner und Statiker die Befestigungslösungen kompletter Projekte und einzelner Anwendungen mit der Software **fischer FiXperience Suite** besonders komfortabel, flexibel und zuverlässig bemessen.

Zusätzlich zur bewährten Offline FiXperience Suite wird die Bemessungssoftware inzwischen als Brow-

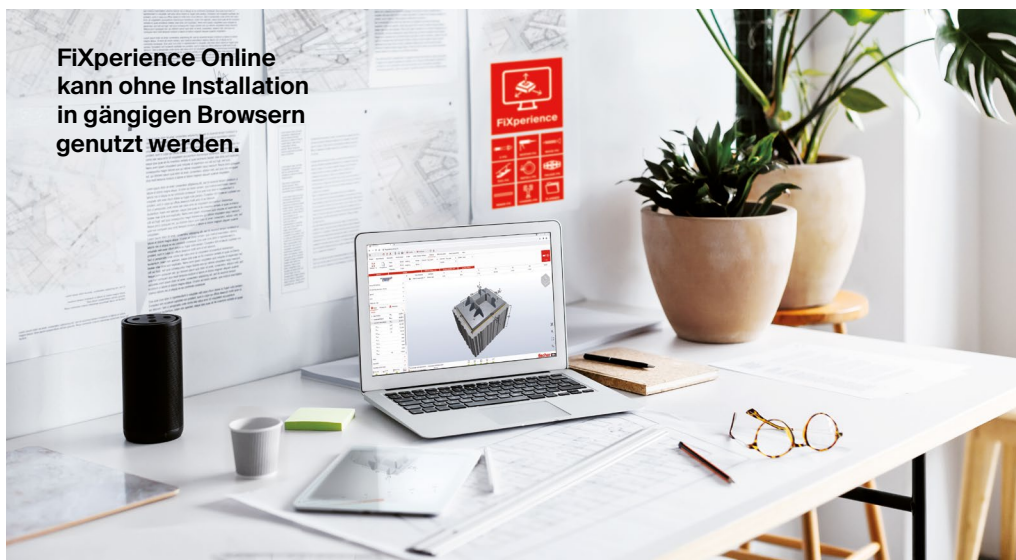
ser-Variante **FiXperience Online** angeboten. Mit dem enthaltenen **C-FIX Online-Modul** zur Bemessung von Stahl- und Verbundankern in Beton können Anwender mit einem linearen Federmodell in Kombination mit der FEM die Steifigkeit der Ankerplatte beurteilen und realitätsnahe Ankerkräfte zeitsparend berechnen. **Alle drei Bemessungsmethoden nach EN 1992-4** sind im C-FIX Online-Modul verfügbar. Im besten Fall bestätigt das Programm eine gültige Bemessung und erstellt direkt einen prüffähigen Ausdruck. Auch Mehrfachbemessungen sind möglich.

### fischer Akademie

Seit über 30 Jahren bietet fischer zielgruppengerechte Seminare für Profis am Bau an. Alle Schulungen sind auf dem neuesten Stand der Technik und informieren über aktuelle nationale und europäische Normen und Richtlinien sowie gesetzliche Vorschriften und deren Umsetzung. Hier geht's zu den **OnlineSeminaren der fischer Akademie**.

Jetzt das  
Bemessungs-  
programm  
**FiXperience Online**  
kostenlos  
ausprobieren!

Hier geht's zu  
**FiXperience**



FiXperience Online  
kann ohne Installation  
in gängigen Browsern  
genutzt werden.

Unsere Experten  
der Anwendungs-  
technik sind gerne  
für Sie da!  
Jetzt Kontakt zu  
fischer aufnehmen.

T +49 7443 12 – 4000  
(Mo. – Do.: 7:30 – 17:30 Uhr  
Fr.: 7:30 – 17:00 Uhr)

anwendungstechnik@  
fischer.de

# Summary.

## Zusammenfassung Whitepaper. Erdbebensicher verankern.

Erdbeben können eine zerstörende Kraft für Gebäude entwickeln. Aufgrund von Verschiebungen der tektonischen Platten sind in Europa besonders Regionen am östlichen Mittelmeer erdbebengefährdet: u.a. Italien, Griechenland und die Balkanstaaten. Durch ein Erdbeben wird nicht nur die Standsicherheit eines Gebäudes beeinträchtigt – auch alle Bauteile, die am Gebäude befestigt sind, können eine Gefahr darstellen.

### Gefahren durch nichttragende Bauteile

Nichttragende Bauteile, wie Rohre, Leitungen, abgehängte Decken, Kabeltrassen und Klimageräte, können bei einem Erdbeben auf Menschen herunterfallen oder Fluchtwege versperren. Sie verursachen außerdem einen erheblichen Teil der finanziellen Schäden. Bei seismischer Belastung müssen daher immer auch erdbebensichere Befestigungen für nichttragende Bauteile vorgesehen werden.

### Drei zentrale Dokumente für die Bemessung

EN 1992-4, Anhang C, bildet die Grundlage für die Bemessung von Verankerungen unter seismischer Belastung. Voraussetzung für die Anwendung der EN 1992-4 sind die ETAs, welche die seismische Qualifikation des Dübels dokumentieren. Die Vorgaben zur Berechnung der Einwirkung für seismische Belastung sind in der EN 1998-1 zu finden.

### Bestimmung der Last nach EN 1998-1

Die horizontale seismische Kraft  $F_a$  und die vertikale seismische Kraft  $F_{va}$  werden nach EN 1998-1 berechnet.

### Leistungskategorien C1 und C2

Bei seismischer Belastung wird bei Dübeln zwischen zwei verschiedenen Leistungskategorien unterschieden: C1 und C2. Die Auswahl des richtigen Befestigungsmittels hängt von der Bodenbeschleunigung in der jeweiligen Region und der Bedeutungskategorie des Gebäudes ab. Entscheidend ist außerdem, ob es sich um ein tragendes oder nichttragendes Bauteil handelt. Die nationalen Anhänge der entsprechenden Normen sind zusätzlich zu beachten.

### Bemessung nach EN 1992-4: drei Methoden

Basierend auf EN 1992-4 gibt es drei Bemessungsmethoden: Kapazitätsbemessung, elastische Bemessung und Bemessung unter Berücksichtigung der Duktilität der Befestigung. Die drei Methoden werden im entsprechenden Abschnitt des Whitepapers beschrieben.

### Bemessung: Widerstand der Befestigung

Der seismische Bemessungswiderstand einer Befestigung  $R_{d,eq}$  wird nach EN 1992-4 berechnet. Ein wichtiger Unterschied zur Bemessung bei statischer Einwirkung ist, dass die Abminderungsfaktoren  $\alpha_{gap}$  und  $\alpha_{eq}$  berücksichtigt werden müssen.

[www.fischer.de](http://www.fischer.de)



#### Dafür steht fischer

Befestigungssysteme  
Automotive  
fischertechnik  
Consulting  
Electronic Solutions

---

**fischer Deutschland Vertriebs GmbH**  
Klaus-Fischer-Straße 1 · 72178 Waldachtal  
Deutschland  
T +49 7443 12 – 6000 · F +49 7443 12 – 8297  
[www.fischer.de](http://www.fischer.de) · [info@fischer.de](mailto:info@fischer.de)

**fischer Austria Gesellschaft m.b.H.**  
Wiener Straße 95 · 2514 Möllersdorf / Traiskirchen  
Österreich  
T +43 2252 53 – 730 · F +43 2252 53 – 145  
[www.fischer.at](http://www.fischer.at) · [office@fischer.at](mailto:office@fischer.at)

Diese Publikation stellt eine allg. unverbindliche Information dar. Die Inhalte spiegeln die Auffassung von fischer zum Zeitpunkt der Veröffentlichung wider. Obwohl die Informationen mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt wurden, besteht kein Anspruch auf sachliche Richtigkeit, Vollständigkeit und/oder Aktualität, insbesondere kann diese Publikation nicht den besonderen Umständen des Einzelfalls Rechnung tragen. Eine Verwendung liegt daher in der eigenen Verantwortung des Lesers. Jegliche Haftung wird ausgeschlossen. Alle Rechte, auch der auszugsweisen Vervielfältigung, liegen – soweit jeweils urheberrechtlich fischer zuzurechnen – bei fischer.

---