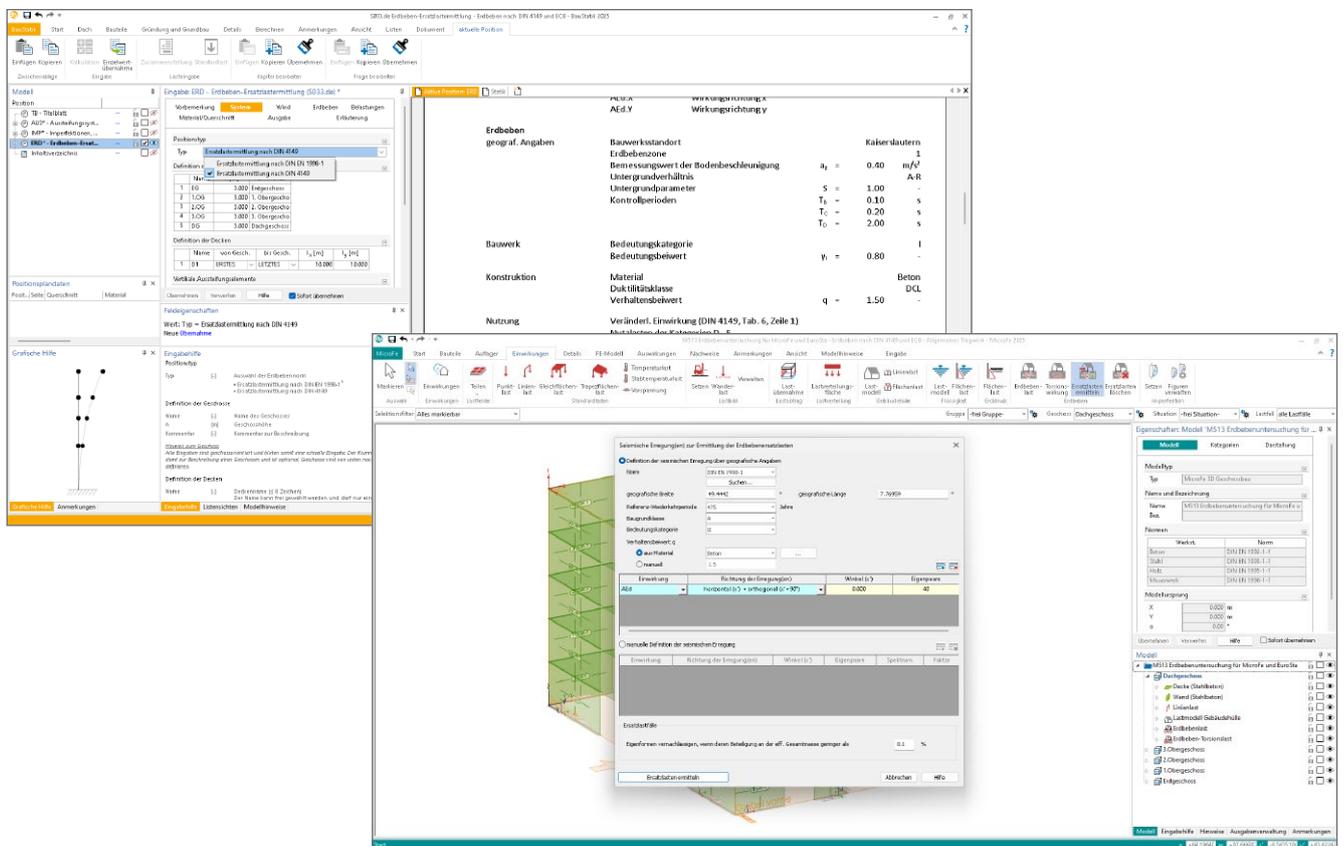


Florian Degiuli M. Sc.

Erdbebenbetrachtung nach DIN 4149 und Eurocode 8

Leistungsübersicht zum Thema „Erdbeben“ in der mb WorkSuite

Bauwerke in deutschen Erdbebengebieten müssen für den Erdbebenlastfall nach den Vorgaben der DIN 4149 bzw. der DIN EN 1998-1 ausgelegt werden. In der mb WorkSuite stehen in der BauStatik und MicroFe eine Vielzahl an Modulen zur Verfügung, die bestimmte Teilaufgaben der Aussteifungsberechnung in der Erdbebensituation übernehmen. Im Folgenden werden die grundlegenden Berechnungsgrundlagen der Erdbebenbemessung sowie die besonderen Leistungsmerkmale der einzelnen Module beschrieben.



Normsituation in Deutschland

Für die Erdbebenauslegung ist seit dem Jahr 2005 die bauaufsichtlich eingeführte Norm DIN 4149 [1] maßgebend. Diese ist bereits in Hinblick auf die Einführung des Eurocode 8 konzipiert worden und entspricht daher im Wesentlichen dem Eurocode 8 (DIN EN 1998-1) [2] aus dem Jahr 2010 mit dem deutschen nationalen Anhang aus dem Jahr 2011 (DIN EN 1998-1/NA:2011). Dieser wurde aufgrund anerkannter Schwächen [4] nie bauaufsichtlich eingeführt.

Im Jahr 2021 ist eine Neufassung des deutschen nationalen Anhangs (DIN EN 1998-1/NA:2021) mit einigen Änderun-

gen erschienen. Diese beinhaltet eine Neueinschätzung der Erdbebengefährdung mitsamt Überarbeitung der Gefährdungszonenkarte. Ergänzend wurde im November 2023 die DIN EN 1998-1/NA:2023-11 [3] veröffentlicht, in die die neuen Untergrundkarten aus dem Normenentwurf der DIN EN 1998-1/NA/A1:2023-02 integriert wurden.

Obwohl die neueste Fassung des nationalen Anhangs die neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse und somit den Stand der Technik widerspiegelt, ist eine bauaufsichtliche Einführung in den Bundesländern bisher nicht erfolgt.

Bei der Frage, nach welcher Norm ein Gebäude in Deutschland ausgelegt werden sollte, spielen im Wesentlichen zwei Aspekte eine Rolle: die genehmigungstechnische, also gesetzliche Seite und die zivilrechtliche Seite, die festlegt, welchen Standard ein Planer dem Kunden schuldet. Die für die Genehmigungsseite geltende Norm ist im Falle der Erdbebembemessung noch die DIN 4149. Zivilrechtlich sind Architekten und Ingenieure als Planer gemäß BGB und VOB/B verpflichtet, die allgemein anerkannten Regeln der Technik einzuhalten. Diese stellen bei der Planung von Bauvorhaben ein Mindeststandard dar. Eine Abweichung von den anerkannten Regeln der Technik stellt somit einen Mangel dar [5].

In der mb WorkSuite 2025 werden aufgrund der uneindeutigen Normungssituation zwischen der amtlich eingeführten DIN 4149 [1] und dem aktuellen Stand des Eurocodes 8 [2, 3] beide Normen als Berechnungsgrundlage zur Auswahl angeboten. Somit sind die Tragwerksplaner in diesem Spannungsfeld in der Lage, projektbezogen jeweils die geforderte Norm und Lastermittlung anzuwenden.

Erdbebenauslegung nach DIN 4149 und Eurocode 8

Mit der Einführung der DIN EN 1998-1/NA:2023-11 wurde eine Neueinschätzung der Erdbebengefährdung in Deutschland vorgenommen. Im Folgenden werden die grundlegenden Aspekte der Erdbebenauslegung nach DIN 4149 und DIN EN 1998-1 erläutert.

Erdbebenezonen und spektrale Antwortbeschleunigung

Bezüglich der Erdbebengefährdung nach DIN 4149 wird Deutschland in die Erdbebenezonen 0, 1, 2 und 3 eingeteilt (Bild 1). Jeder Zone wird eine effektive Bodenbeschleunigung a_g sowie ein Intensitätsbereich I (Tab. 1) zugeordnet. Der Wert der Bodenbeschleunigung a_g ist in DIN 4149 Grundlage für den rechnerischen Erdbebennachweis.

In der DIN EN 1998-1/NA:2023-11 ist der maßgebliche Gefährdungsparameter die spektrale Antwortbeschleunigung S_{aPR} im Plateaubereich des Antwortspektrums für das Untergrundverhältnis A-R. Die räumliche Verteilung der spektralen Antwortbeschleunigung im Plateaubereich S_{aPR} des Antwortspektrums für die Referenz-Wiederkehrperiode $T_{NCR} = 475$ Jahre ist schematisch in Bild 1 zonenfrei dargestellt. Diese grafische Darstellung ist für die standortspezifische Festlegung der relevanten Erdbebeneinwirkung nicht geeignet, da der Kartenmaßstab zu groß ist. Stattdessen ist die spektrale Antwortbeschleunigung dem normativen digitalen Anhang der Norm zu entnehmen. Dieser normative digitale Normanhang enthält in Form der Datei „SaPR.csv“ die spektralen Antwortbeschleunigungen für ein gleichmäßig über Deutschland verteiltes Koordinatenraster von 0,1 Grad geographischer Breite und Länge.

Zur adressgenauen Bestimmung der Erdbebeneinwirkung am Bauwerksstandort müssen die gerasterten Spektralwerte von den nächstgelegenen Referenzpunkten des Berechnungsrasters zum Bauwerksstandort interpoliert werden.

Untergrundverhältnisse

Nach beiden Normen ist beim Erdbebennachweis der Einfluss der örtlichen Untergrundverhältnisse auf die Stärke des möglichen Bebens zu berücksichtigen. Hierbei ist die Beschaffenheit des in den ersten 20 m (DIN 4149) bzw. 30 m (DIN EN 1998-1/NA:2023-11) anliegenden Baugrundes (Baugrundklassen A, B und C) und der geologischen Untergrundverhältnisse (Untergrundklassen R, S und T) zu beachten.

Die Baugrundklasse wird in der Regel durch ein Bodengutachten festgelegt oder konservativ abgeschätzt. Die Untergrundklasse am Bauwerksstandort sind in der DIN 4149, Bild 3 dargestellt. In DIN EN 1998-1/NA:2023-11 sind die geologischen Untergrundklassen analog zur spektralen Antwort-

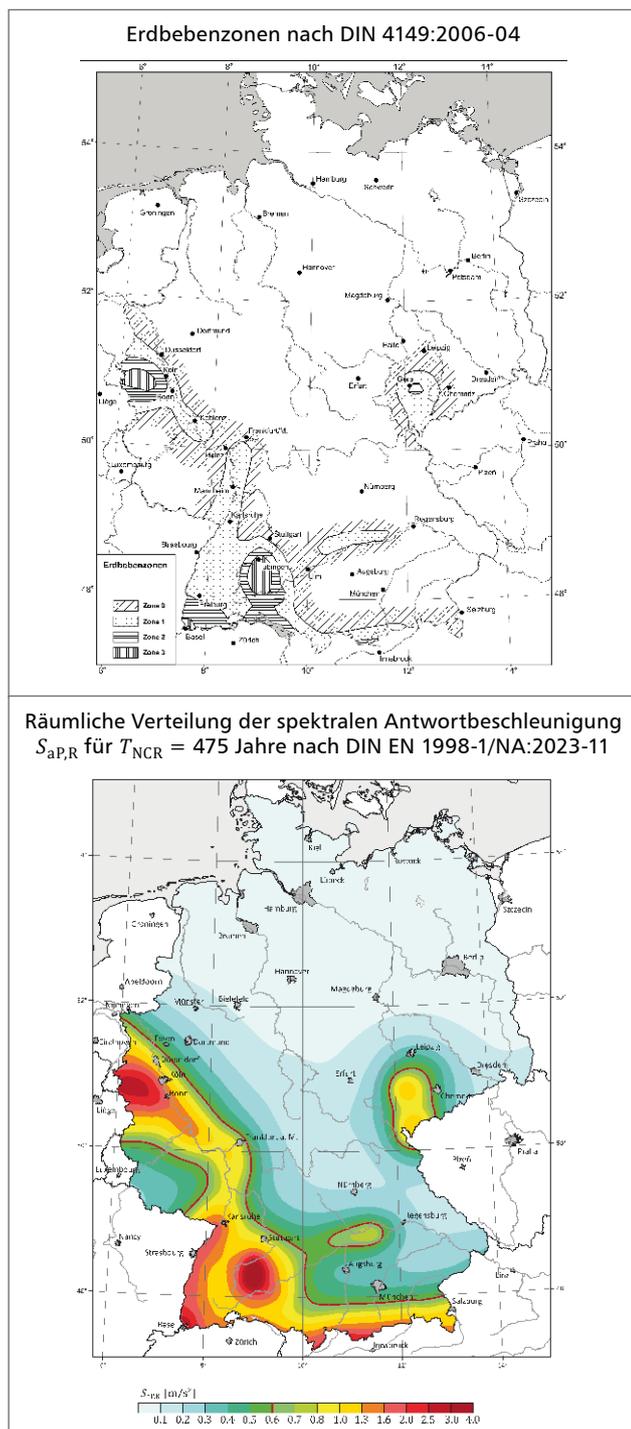


Bild 1. Erdbebengefährdungskarte von Deutschland nach DIN 4149:2005-04 und DIN EN 1998-1/NA:2023-11

beschleunigung als digitaler Anhang zugänglich. Die jeweils anzusetzende geologische Untergrundklasse ist ebenfalls in einer CSV-Datei für Quadrate mit einer Seitenlänge von 1 km zusammen mit den Koordinaten des Mittelpunktes des Quadrates ausgewiesen.

Elastisches Antwortspektrum

Das elastische Antwortspektrum $S_e(T)$ dient zur Charakterisierung sowohl der Horizontal- als auch der Vertikalkomponenten der örtlichen Erdbebeneinwirkung. Der prinzipielle Verlauf eines horizontalen elastischen Antwortspektrums ist in Bild 2 dargestellt. Das Spektrum wird definiert durch abschnittsweise Funktionen der Periode zwischen den sogenannten Kontrollperioden T_A , T_B , T_C und T_D .

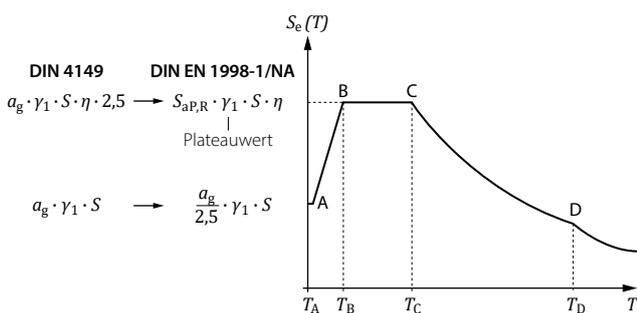


Bild 2. Elastisches Antwortspektrum

Ein wesentlicher Unterschied zwischen den Normen ist die Angabe des Eingangswerts zur Berechnung des horizontalen Antwortspektrums: Während in DIN 4149 [1] der Referenzspitzenbodenbeschleunigung a_g als Eingangswert dient, ist in DIN EN 1998-1/NA [3] der maßgebliche Gefährdungsparameter die spektrale Antwortbeschleunigung $S_{aP,R}$ im Plateaubereich des Antwortspektrums für das Untergrundverhältnis A-R.

Bemessungsspektrum

Für lineare Berechnungen wird das zuvor vorgestellte elastische Antwortspektrum durch einen Verhaltensbeiwert q abgemindert. Der Verhaltensbeiwert q berücksichtigt pauschal die Bauwerksduktilität und überführt das elastische Antwortspektrum in ein inelastisches Bemessungsspektrum. Dabei soll der Verhaltensbeiwert q pauschal die Fähigkeit des gesamten Bauwerks berücksichtigen, Energie durch hauptsächlich duktilen Verhalten seiner Bauteile und/oder anderer Mechanismen, zu dissipieren. Die Verwendung der Bemessungsspektren ermöglicht die Durchführung einer elastischen Berechnung für das sich inelastisch verhaltende Bauwerk.

Der Verhaltensbeiwert q ist stark vom Werkstoff und seiner Duktilitätsklasse abhängig. Er ist in der DIN 4149 [1] und DIN EN 1998-1/NA [3] für Stahlbeton-, Stahl-, Verbund-, Holz- und Mauerwerkbauteile angegeben.

Berechnungsverfahren

In Abhängigkeit der Regelmäßigkeitskriterien in Grund- und Aufriss ermöglichen die DIN 4149 [1] und DIN EN 1998-1/NA [3] die Ermittlung der Schnittgrößen und Verformungen seismisch beanspruchter Tragwerke mit folgenden Berechnungsverfahren:

- Vereinfachtes Antwortspektrenverfahren
- Multimodales Antwortspektrenverfahren

Beide Verfahren beruhen auf dem elastischen Antwortspektrenverfahren. Diesem Verfahren kommt baupraktisch die größte Bedeutung zu, weil einerseits Ein- als auch Mehrmassensysteme auf der gleichen Grundlage analysiert werden können und andererseits elastische Berechnungen zur Berücksichtigung von inelastischem (elasto-plastischem) Tragwerksverhalten angewendet werden können.

Als Standard-Rechenverfahren gilt das multimodale Antwortspektrenverfahren. Bei diesem Verfahren müssen alle maßgeblich zur Tragwerksantwort beitragenden Modalanteile bei der Berechnung der Kraft- und Verformungsgrößen berücksichtigt werden. DIN 4149, Tab. 1 (Bild 3) und DIN EN 1998-1, Tab. 4.1 beschreiben die anzuwendenden Rechenmodelle in Abhängigkeit der Regelmäßigkeitskriterien.

Regelmäßig		Zulässige Vereinfachung		Verhaltensbeiwert
Grundriss	Aufriss	Modell	Berechnung	
ja	ja	eben	Vereinfachtes Antwortspektrenverfahren ^a	Referenzwert ^c
ja	nein	eben	Multimodales Antwortspektrenverfahren	abgemindert
nein	ja	räumlich ^b	Multimodales Antwortspektrenverfahren ^b	Referenzwert ^c
nein	nein	räumlich	Multimodales Antwortspektrenverfahren	abgemindert

^a Falls die Bedingungen von 6.2.2.1 ebenfalls erfüllt sind
^b Unter den besonderen Bedingungen von 6.2.2.4 können die dort beschriebenen einfachen Modelle und Berechnungsverfahren verwendet werden
^c Maßgebender Verhaltensbeiwert nach den Abschnitten 8 bis 12

Bild 3. Auswirkungen der konstruktiven Regelmäßigkeit auf die Erdbebenberechnung und -auslegung nach EC 8 [2]

Das vereinfachte Antwortspektrenverfahren darf auf Bauwerke angewendet werden, die neben den Regelmäßigkeitsbedingungen auch die Bedingungen $T_1 \leq 4 \cdot T_C$ und $T_1 \leq 2.0 s$ erfüllen. Dabei ist T_1 die Grundperiode des Bauwerks in beide Hauptrichtungen. Aus dem elastischen Antwortspektrum wird für die Eigenschwingzeit T_1 (Grundperiode) die Ordinate $S_a(T_1)$ entnommen. Mit der Gesamtmasse M des Bauwerks und der Grundperiode T_1 ergibt sich die Gesamterdbebenkraft F_b zu:

$$F_b = S_a(T_1) \cdot M \cdot \lambda$$

Die Verteilung der horizontalen seismischen Kräfte auf das Tragwerk erfolgt beim vereinfachten Verfahren affin zur ersten Eigenform oder vereinfachend höhenproportional. Der einzelnen Massen werden jeweils in Höhe der Geschossdecken angesetzt (Bild 7).

Das multimodale Antwortspektrenverfahren ist allgemein sowohl für ebene als auch für räumliche Systeme anwendbar. Die Anwendung des multimodalen Antwortspektrums in Verbindung mit einer räumlichen Tragwerksberechnung entspricht dem Stand der Technik. Bei räumlichen Modellen muss die Erdbebeneinwirkung in Richtung aller maßgebenden horizontalen Richtungen im Grundriss und in den zugehörigen orthogonalen Achsen angesetzt werden.

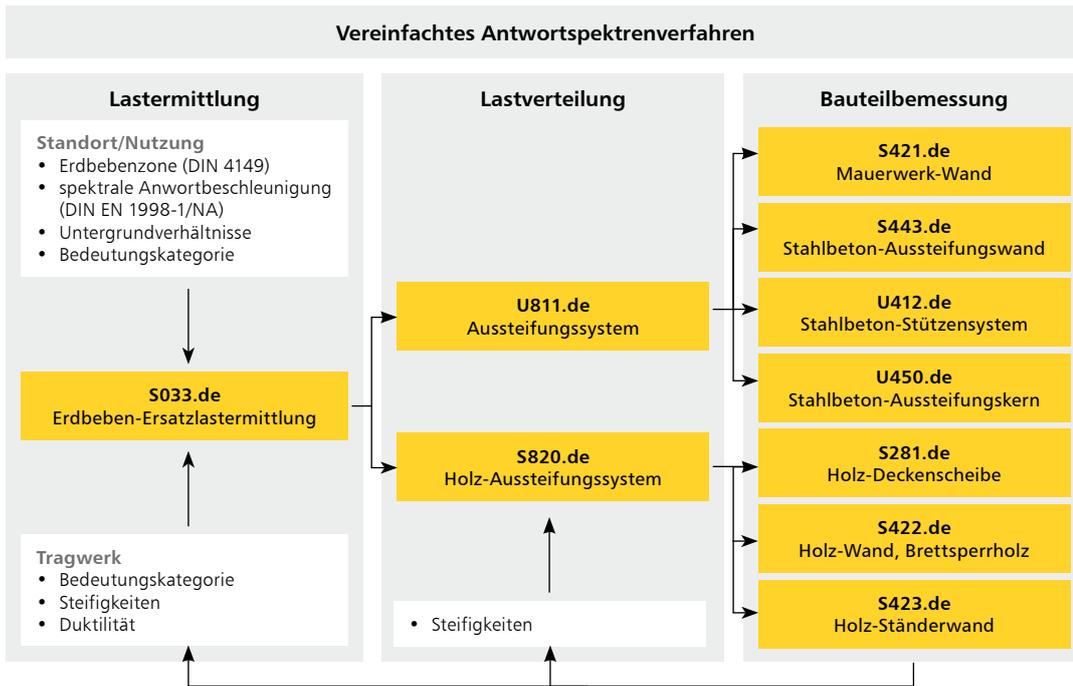


Bild 4. Erdbebenbemessung in der BauStatik

Die Kernpunkte des multimodalen Antwortspektrenverfahrens werden in [6] beschrieben, in diesem Artikel wird auf eine detaillierte Beschreibung des Verfahrens verzichtet.

Erdbebenbetrachtung in der mb WorkSuite

Die Tragwerke sind mit einer ausreichenden Standsicherheit zu konzipieren. Hierbei gilt es, nicht nur ständige oder vorübergehende Situationen zu beachten, sondern zusätzlich sind Situationen zu beachten, die sich nur mit einer geringen Wahrscheinlichkeit einstellen, wie z.B. eine Erdbebensituation.

Die Nachweisführung im Falle eines Erdbebenereignisses gliedert sich in drei Bereiche:

- Ermittlung der gesamten Erdbebenlast
- Verteilung dieser Gesamlast über die Steifigkeiten im Tragwerk auf die aussteifenden Bauteile
- Bemessung der aussteifenden Bauteile

Die mb WorkSuite bietet zwei Nachweisstrategien an. Zum einen ein vereinfachtes Antwortspektrenverfahren über die BauStatik mit der Erdbebenlastermittlung im BauStatik-Modul „S033.de Erdbeben-Ersatzlastermittlung“, zum anderen das genauere multimodale Antwortspektrenverfahren mit der Erdbebenlastermittlung über das MicroFe-Modul „M513 Erdbebenuntersuchung für MicroFe und EuroSta“. Die Wahl des verwendeten Verfahrens hängt hauptsächlich von der Tragwerksgeometrie ab.

Mit der DIN 4149 [1] und dem Eurocode 8 (DIN EN 1998-1, DIN EN 1998-1/NA) [2,3] stehen in der mb WorkSuite zwei Normen als Berechnungsgrundlage für die Erdbebenbemessung zur Verfügung.

Der Arbeitsablauf und das Zusammenspiel der einzelnen Module in der BauStatik und in MicroFe wird in den nachfolgenden Abschnitten beschrieben.

Erdbebenbemessung in der BauStatik

In der BauStatik erfolgt die Nachweisführung für das Erdbebenereignis mit dem vereinfachten Antwortspektrenverfahren. Es stehen neun Module zur Verfügung, die jeweils bestimmte Teilaufgaben der Aussteifungsberechnung in der Erdbebensituation übernehmen. Der Arbeitsablauf und das Zusammenspiel der einzelnen Module sind in Bild 4 dargestellt.

Lastermittlung mit S033.de

Das Modul S033.de ermittelt geschossweise die horizontalen Erdbebenerersatzlasten aus den Massen und die Grundschwingzeiten des Bauwerks.

Es werden Bauwerke behandelt, die gemäß DIN 4149 Tab. 1, Zeile 1 [1] bzw. DIN EN 1998-1, Tab. 4.1, Zeile 1 [2] mit dem vereinfachten Antwortspektrenverfahren zu berechnen sind, d.h. Bauwerke, die sowohl im Grund- als auch im Aufriss die Regelmäßigkeitskriterien erfüllen. Die Einhaltung dieser Kriterien wird vorausgesetzt und nicht durch das Modul geprüft.

Eingabeseitig werden im Kapitel „System“ der Positionstyp sowie die erforderlichen geometrischen Daten des Gebäudes abgefragt. Neu in der mb WorkSuite 2025 ist die Vorgabe des Positionstyps („Ersatzlastermittlung nach DIN 4149“, „Ersatzlastermittlung nach DIN EN 1998“), mit dem die Berechnungsgrundlage der Ersatzlastermittlung definiert wird (Bild 5).

Vorbemerkung	System	Wind	Erdbeben	Belastungen
Material/Querschnitt	Ausgabe	Interne Fragen	Erläuterung	
Positionstyp				
Typ: Ersatzlastermittlung nach DIN EN 1998-1				
Definition der Geschosse				
Name	h [m]	Kommentar		
1	EG	3.000 Erdgeschoss		
Definition der Decken				
Name	von Gesch.	bis Gesch.	I _x [m]	I _y [m]

Bild 5. Eingabe „System“ (S033.de)

Im Kapitel „Erdbeben“ werden in Abhängigkeit des gewählten Positionstyps alle Angaben (z.B. Baugrundklasse, Bedeutungskategorie, Verhaltensbeiwert etc.) abgefragt. Diese sind erforderlich, um die Parameter des Bemessungsspektrums nach DIN 4149 [1] bzw. DIN EN 1998-1 [2,3] zu bestimmen und um die Grundlagen zur Ermittlung der Massen und Schwingzeiten festzulegen. Bei der Berechnung nach DIN 4149 [1] erfolgt die Ermittlung des Bemessungswerts der Bodenbeschleunigung a_g durch die Vorgabe der Erdbebenzone. Bei der Ersatzlastermittlung nach DIN EN 1998-1 [2,3] wird über die Abfrage der Referenz-Wiederkehrperiode T_{NCR} sowie der geografischen Daten des Gebäudestandorts die spektrale Antwortbeschleunigung $S_{aP,R}$ sowie die Untergrundklasse programmseitig ermittelt (Bild 6).

Bild 6. Eingabe „Erdbeben“ für die Ersatzlastermittlung nach DIN EN 1998-1 (S033.de)

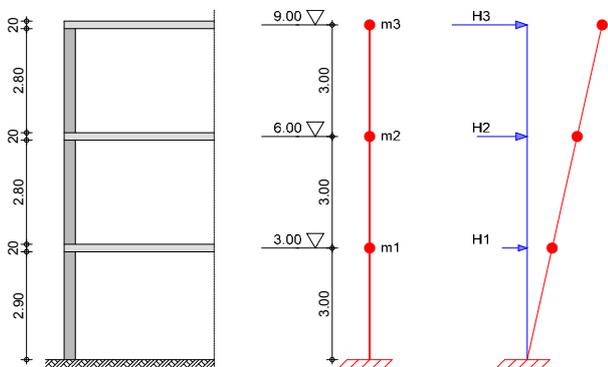


Bild 7. Gebäudeschnitt und Ersatzsystem (S033.de)

Die Berechnung der Erdbebenersatzlasten erfolgt auf der Grundlage eines in den Baugrund eingespannten Mehrmassenschwingers. Die Massen werden in den Deckenebenen konzentriert angenommen. Die Steifigkeiten der Aussteifungselemente werden für Wände und Stützen aus Mauerwerk oder

Stahlbeton programmseitig ermittelt oder können für anderweitige Aussteifungselemente (z.B. Rahmen, Kerne, Holztafelbauwände etc.) durch direkte Eingabe der Steifigkeiten vorgenommen werden. Zusätzliche Informationen zur Funktionsweise des vereinfachten Antwortspektrenverfahrens im Modul S033.de können aus [7] entnommen werden.

Lastverteilung auf die aussteifenden Bauteile mit U811.de oder S820.de

Mit dem Modul U811.de können mehrgeschossige Massivbauten abgebildet werden, mit S820.de eingeschossige Holzbauten mit optionalem Dachgeschoss. Beide Module dienen der Verteilung von Horizontallasten über starre Deckenscheiben auf Aussteifungselemente. Hierbei werden die unterschiedlichen Steifigkeiten der Aussteifungselemente mit den jeweils bauartspezifischen Berechnungsmethoden berücksichtigt.

Die in S033.de ermittelten Erdbebenersatzlasten können jeweils in den Modulen U811.de und S820.de über die Lasteingabe „exzentrische Einzellast in Geschosshöhe“ im Eingabekapitel „Belastungen“ für die Lastverteilung auf die aussteifenden Bauteile angesetzt werden. Im Modul U811.de besteht zudem die Möglichkeit, die Ersatzlasten per Lastabtrag aus S033.de zu übernehmen.

	EW	von Ge	bis Ge	H [kN]
1	AEd.X - WII	OG	KG	(254.350)
2	AEd.X - WII	EG	EG	(190.760)
3	AEd.X - WII	KG	KG	(101.744)

Bild 8. Eingabe der Lasteingabe „exzentrische Einzellast in Geschosshöhe“ (U811.de)

Gemäß DIN 4149, 6.2.4.1(1) [1] bzw. DIN EN 1998-1, 4.3.3.5.1(1) [2] müssen die Horizontalkomponenten der Erdbebenwirkungen als gleichzeitig wirkend angenommen werden. Nach DIN 4149, 6.2.4.1(3) [1] bzw. DIN EN 1998-1, 4.3.3.5.1(3) [2] dürfen hierbei die Beanspruchungen durch Ansatz der beiden folgenden Kombinationen berechnet werden:

$$E_{Ed} = \max \left\{ \begin{matrix} E_{Edx} \oplus 0,3 \cdot E_{Edy} \\ 0,3 \cdot E_{Edx} \oplus E_{Edy} \end{matrix} \right\}$$

mit

- \oplus zu kombinieren mit
- E_{Edx} Beanspruchungsgröße in x-Richtung
- E_{Edy} Beanspruchungsgröße in y-Richtung

Im Hinblick auf die Bauteilbemessung bietet die mb WorkSuite die Übergabe zum Detailnachweis an, um den Arbeitsaufwand zu reduzieren. In den Modulen U811.de und S820.de gibt es die Möglichkeit, alle Wandpositionen und Decken (nur S820.de) über den Detailnachweis automatisch zu generieren und zu bemessen.

Bauteilbemessung

Allgemeines

Zusätzlich zu den Nachweisen in der ständigen und vorübergehenden Situation sind die Tragsicherheitsnachweise in der Bemessungssituation für Erdbeben zu führen. Nach DIN EN 1990 ist dabei folgende Kombination zu bilden:

$$E_{d,AE} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \oplus P_k \oplus \gamma_1 \cdot A_{Ed} \oplus \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

mit
 A_{Ed} Bemessungswert einer Einwirkung aus Erdbeben

Mauerwerksbau mit S421.de

Mauerwerksbauten aus unbewehrtem Mauerwerk sind nach DIN EN 1998-1 [2] grundsätzlich in die Duktilitätsklasse DCL (niedrige Duktilität) eingeordnet.

Alle Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit werden zusätzlich in der Erdbebenkombination geführt. Dabei werden nach DIN 4149, Tab. 16 [1] bzw. DIN EN 1998-1/NA, Tab. NA.9 [3] die Festigkeitswerte mit einem reduzierten Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_m = 1,2$ ermittelt.

Sowohl in DIN 4149, Tab. 14 [1] als auch in DIN EN 1998-1/NA, Tab. NA.8 [3] werden in Abhängigkeit von der Erdbebenzone (DIN 4149) bzw. von der Bodenbeschleunigung (DIN EN 1998-1/NA) Anforderungen an die Geometrie der Wand gestellt.

Die Überprüfung dieser Kriterien wird programmseitig automatisch vorgenommen. Hierzu werden im Eingabekapitel „Nachweise“ alle relevanten Parameter abgefragt. Während bei der Berechnung nach DIN 4149 lediglich die Erdbebenzone vorzugeben ist, sind bei der Bemessung nach DIN EN 1998-1 Angaben zur spektralen Antwortbeschleunigung $S_{aP,R}$, den Untergrundverhältnissen sowie der Bedeutungskategorie erforderlich (Bild 9).

Bild 9. Eingabe „Erdbeben“ (S421.de)

Erdbeben	
Nachweis nach DIN EN 1998-1/NA:2023-11, NDP zu 9.5.1(5)	
spektrale Antwortbeschleunigung	$S_{aP,R} = 1.5612 \text{ m/s}^2$
Untergrundverhältnis	A-R
Bodenparameter	$S = 1.00$
Bedeutungskategorie	I
Bedeutungsbeiwert	$\gamma_1 = 0.80$
Bodenbeschleunigung	$a_{gR} \cdot S \cdot \gamma_1 = 0.50 \text{ m/s}^2$
Tabelle NA.8	
Mindestanforderungen an aussteifende Wände (Schubwände)	
zulässige Schlankheit	zul $\lambda = 27.00$
Schlankheit	$\lambda = 13.75$
Mindestwanddicke	min $t = 115 \text{ mm}$
Wanddicke	$t = 200 \text{ mm}$
Mindestverhältnis	min $l/h = 0.27$
vorhandenes Verhältnis	$l/h = 0.36$

Bild 10. Nachweis der Mindestanforderungen nach EC 8

Stahlbetonbau mit U412.de, U450.de und S443.de

In den Modulen U412.de, U450.de und S443.de können die Stahlbetontragwerke in die Duktilitätsklassen 1 oder 2 (DIN 4149 [1]) bzw. DCL oder DCM (DIN EN 1998 [2]) eingeordnet werden. Die Einordnung ist für das gesamte Tragwerk vorzunehmen und muss schon bei der Lastermittlung erfolgen.

Einer Auslegung für eine geringere Duktilität wird vorwiegend dadurch Rechnung getragen, dass ein Verhaltensbeiwert von $q = 1,50$ bei der Ermittlung der Ordinate des Bemessungsspektrums zugrunde zu legen ist. D.h. in der Duktilitätsklasse 1 (DIN 4149 [1]) bzw. DCL (DIN EN 1998-1 [2]) sind höhere Bemessungslasten anzusetzen als in der Duktilitätsklasse 2 (DIN 4149 [1]) bzw. DCM (DIN EN 1998-1 [2]). Für die Auslegung der Duktilitätsklasse DCL nach DIN EN 1998-1 sind weitere einschränkende Randbedingungen nach NDP zu 3.2.1(4) [3] zu erfüllen. In DIN 4149 [1] sind für die Duktilitätsklasse 1 zusätzlich eine Begrenzung der bezogenen Normalkraft auf $v_{d,max} \leq 0,20$ bei Wänden bzw. $v_{d,max} \leq 0,25$ bei Stützen und eine Erhöhung der Bemessungsquerkraft um den Faktor 1,5 erforderlich.

Eine Auslegung für Duktilitätsklassen 2 (DIN 4149 [1]) bzw. DCM (DIN EN 1998-1 [2]) erfordert einen höheren konstruktiven und rechnerischen Aufwand, hat jedoch den Vorteil, dass aufgrund des höheren Duktilitätsbeiwertes q geringere Lasten aus Erdbeben anzusetzen sind und somit wirtschaftlichere Konstruktionen verwirklicht werden können.

Folgende, über den EC 2 [8] hinausgehende Anforderungen bestehen an Wände, die für die Duktilitätsklassen 2 (DIN 4149 [1]) bzw. DCM (DIN EN 1998-1 [2]) ausgelegt werden sollen:

- Beschränkung der bezogenen Normalkraft
 $v_{d,max} \leq 0,40$ bei Wänden (nur DIN EN 1998-1 [2])
 bzw. $v_{d,max} \leq 0,65$ bei Stützen
- Erhöhung der Bemessungsquerkraft um den Faktor 1,3 bei gedungenen Wänden bzw. um den Faktor 1,7 bei schlanken Wänden nach DIN 4149 [1]
- Erhöhung der Bemessungsquerkraft um den Faktor 1,5 bei Wänden nach DIN EN 1998-1 [2]
- Anordnung einer Umschnürungsbewehrung an den Wandenden, deren Wirksamkeit nachzuweisen ist
- Verteilung der Umschnürungsbewehrung auf die Länge l_c und über die Höhe h_{cr}
- Bewehrungsgrad bei Stützen: $0,01 \leq \rho_l \leq 0,04$

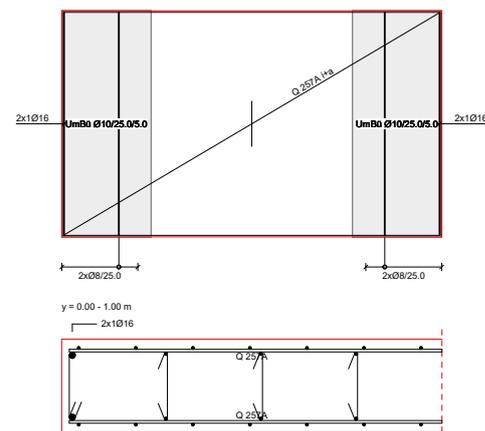


Bild 11. Skizze Umschnürungsbewehrung

Holzbau mit S281.de, S422.de und S423.de

Aufgrund des günstigen dissipativen Verhaltens von Holzkonstruktionen insbesondere von Bauteilen in Holztafelbauart, können Holzkonstruktionen für die Duktilitätsklassen 1, 2 und 3 (DIN 4149 [1]) bzw. DCL, DCM und DCH (DIN EN 1998-1 [2]) ausgelegt werden.

Mit steigender Duktilitätsklasse geht ein größer werdender Verhaltensbeiwert q einher, der wiederum eine kleinere anzusetzende Erdbebenersatzlast nach sich zieht. Im Holzbau sind in der Duktilitätsklasse 3 (DIN 4149 [1]) bzw. DCH (DIN EN 1998-1 [2]) Verhaltensbeiwerte von $q = 4,0$ möglich. Die Duktilitätsklasse 1 (DIN 4149 [1]) bzw. DCL (DIN EN 1998-1 [2]) wird im Holzbau ohne besondere konstruktive Maßnahmen erreicht.

Auch in den Holzbaumodulen werden alle Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit zusätzlich in der Erdbebenkombination geführt. Die konstruktiven Randbedingungen werden abhängig von der Duktilitätsklasse überprüft. Bei Nichteinhaltung erfolgt eine entsprechende Fehlermeldung.

Erdbebenanalyse in MicroFe mit M513

In MicroFe werden die Schnittgrößen für die Bemessung und der Nachweis der Erdbebensicherheit von Bauwerken mit Hilfe linear-elastischer Verfahren durchgeführt. Mit dem Modul M513 bietet MicroFe das multimodale Antwortspektrenverfahren als Standard-Rechenverfahren, bei dem alle maßgeblich zur Bauwerksreaktion (Bauwerksantwort) beitragenden Modalanteile bei der Berechnung der Kraft- und Verformungsgrößen des Tragwerks berücksichtigt werden.

Erforderlich wird das multimodale Antwortspektrenverfahren (Bild 13), wenn aufgrund bauwerksbezogener, geometrischer Verhältnisse eine Analyse auf Grundlage vereinfachter Verfahren nicht möglich ist.

Arbeitsschritte des multimodalen Antwortspektrenverfahrens in MicroFe

Die grobe Herangehensweise zur Ermittlung der statischen Ersatzlasten kann wie folgt zusammengefasst werden:

1. Eingabe des Modells

Dazu gehört die Eingabe der Erdbebenlast-Positionen und die Lasten für die zufällige (nicht planmäßige) Torsionswirkung. Erdbebenlast-Positionen sind Auswertungspositionen für die statischen Ersatzlasten auf Basis der angegebenen Auswertungsbereiche. Vor der dynamischen Berechnung wird die Masse aus Eigengewicht und die Massen aus ständigen Lasten definiert.

2. Dynamische Berechnung und Definition der seismischen Erregung

Nach der Festlegung der Berechnungsoptionen werden die Eigenwerte und Eigenformen des FE-Modells berechnet. Für die Erregung werden Art, Richtung und Antwortspektrum (nach DIN 4149 [1] oder DIN EN 1998-1 [2]) angegeben. Letzteres kann aus geographischen Informationen oder über manuelle Eingabe definiert werden (Bild 12).

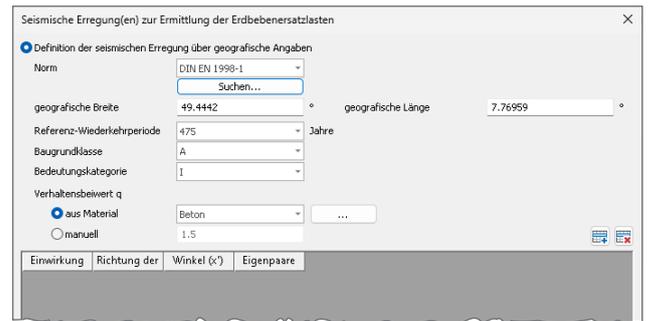


Bild 12. Eingabe der seismischen Erregungen

3. Ermittlung von statischen Ersatzlasten

Nach der Berechnung der Ersatzlasten wird neuerdings direkt das seismische Protokoll ausgegeben. Es dokumentiert die Parameter der Erregung und die Beteiligung der einzelnen Eigenformen. Für die Auswertung der Ersatzlasten steht im Register „FE-Modell“, Gruppe „Positionen“, Auswahl Schaltfläche „Lasten“ die Auswahl „Erdbebenlast-LastDef“ zur Verfügung.

Dokumentation der Erdbebenersatzlasten

Entsprechend der Gliederung in verschiedene Arbeitsschritte, besteht die Dokumentation aus mehreren Teilen. Alle aufgeführten Ergebnisse können als Bestandteil von Ausgabenzusammenstellungen verwendet werden.

Dynamische Analyse

Die Ausgabe und Dokumentation der Eigenformen und Eigenfrequenzen wird im Menüband-Register „Auswirkungen“ über die Schaltfläche „Eigenform“ erreicht.

Seismische Protokoll

Mit dem seismischen Protokoll werden alle grundlegenden Parameter, wie z.B. das verwendete Antwortspektrum sowie die Eigenperiode, dokumentiert.

Ausgabe der Ersatzlasten

Die grafische Ausgabe der Ersatzlasten wird über das Register „FE-Modell“, Schaltfläche „Lasten“ gestartet. In den Registern „Ergebnis“ und „Darstellung“ der Atlas-Eingabe auf der rechten Seite kann die Darstellung der Lastwerte gesteuert werden.

Ebenfalls über das Menüband-Register „FE-Modell“ wird die Dokumentation der Lastermittlung geöffnet. Über den unteren Teil der geteilten Auswahl Schaltfläche wird die Ausgabe „Erdbebenlast-LastDef“ aufgerufen. Diese gliedert sich in die Dokumentation der Auswertungsbereiche, der wirklichen Massen sowie der statischen Ersatzlasten, sortiert nach Erregung und Eigenform.

Bauteilbemessung

Wird als nächster Schritt, über das Register Nachweise, z.B. die Biegebemessung der Schalen gestartet, erfordert dies eine statische Analyse des Modells. Hierbei werden sowohl die statischen Lasten als auch die im Vorfeld ermittelten Erdbebenersatzlasten berücksichtigt. Die Ergebnisse der Eigenformen (Lastfälle) einer Erregung (Lastgruppe) werden im Rahmen der Nachweisführung über die SRSS-Regel (Square Root of the Sum of the Squares) zu jeweils einem Ergebnis zusammengefasst.

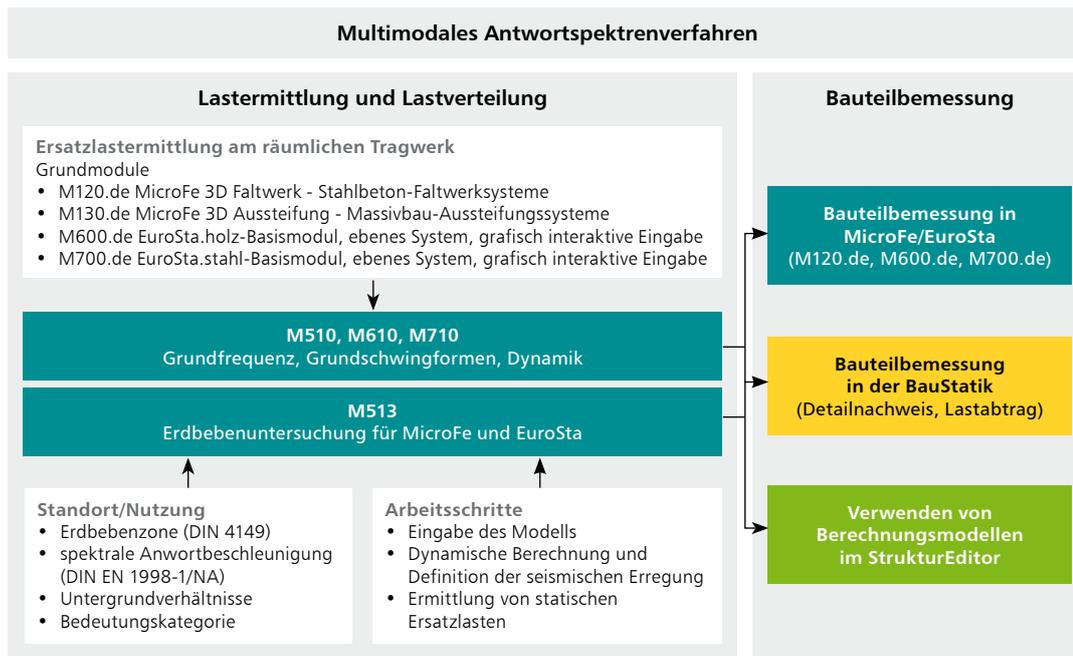


Bild 13.
Erdbebenbemessung
in MicroFe

Aussteifungsberechnung mit M130.de

Die mit M513 ermittelten Ersatzlasten können im Zuge der Aussteifungsberechnung mit dem Modul M130.de angesetzt werden. Die daraus resultierenden Schnittgrößen werden bei der Ermittlung der Wand- und Stützenschnittgrößen berücksichtigt und zur Übernahme angeboten. Für die anschließende Bauteilbemessung der aussteifenden Bauteile ist der Detailnachweis in die BauStatik vorgesehen.

Verwaltung der M130.de-Ergebnisse im StrukturEditor

Wenn das M130.de MicroFe-Modell über ein Berechnungsmodell im StrukturEditor erzeugt und verknüpft wurde, können die Ergebnisse des M130.de MicroFe-Modells nach deren Freigabe in MicroFe für weitere Berechnungsmodelle, z.B. für die Bemessung von Stahlbetonwänden- und Stützen, verwendet werden.

Fazit

Innerhalb der mb WorkSuite bietet die BauStatik und MicroFe leistungsstarke Werkzeuge zur Erdbebenanalyse beliebiger Tragwerke. Für die Ermittlung der Erdbebenersatzlasten stehen mit dem vereinfachten Antwortspektrenverfahren in der BauStatik (S033.de) und dem multimodale Antwortspektrenverfahren (M513) in MicroFe zwei Nachweisstrategien zur Verfügung. Die Verteilung der Erdbebenersatzlasten auf die aussteifenden Bauteile kann im Zuge des Nachweises der Gebäudeaussteifung nach klassischem (vereinfachten) Verfahren mit dem BauStatik-Modul U811.de oder auf Grundlage der FE-Methode mit dem MicroFe-Grundmodul M130.de erfolgen. Die im letzten Schritt erforderliche Bauteilbemessung kann sowohl in der BauStatik als auch in MicroFe durchgeführt werden. In der BauStatik stehen hierzu eine Vielzahl an Modulen zur Verfügung, die eine Erdbebenbemessung unterstützen.

Florian Degiuli M. Sc.
mb AEC Software GmbH
mb-news@mbaec.de

Literatur

- [1] DIN 4149: Bauten in deutschen Erdbebengebieten – Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten, Ausgabe April 2005. Beuth Verlag.
- [2] DIN EN 1998-1: Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten; Deutsche Fassung EN 1998-1:2004 + AC:2009, Ausgabe Dezember 2010. Beuth Verlag
- [3] DIN EN 1998-1/NA: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten, Ausgabe November 2023. Beuth Verlag
- [4] Vereinigung der Prüfengeineure für Baustatik in Rheinland-Pfalz e.V.: 2019-02.02 Neue europäische Erdbebenorm EC 8 / DIN EN 1998-1. <https://www.vpi-rlp.de/Mitteilungen> [Stand 12.12.2024].
- [5] Bund Deutscher Baumeister, Architekten und Ingenieure e.V.: Erdbebenbemessung – aber nach welcher Norm? <https://www.baumeister-online.de/nachricht/erdbebenbemessung-aber-nach-welcher-norm> [Stand 12.12.2024].
- [6] Kretz, J.: Erdbebensicherung von Bauwerken. mb-news 02/2011.
- [7] Heuß, S.: Auslegung für Erdbeben nach EC 8. mb-news 04/2014.
- [8] DIN EN 1992-1-1:2011-01, Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton und Spannbetontragwerken Teil 11: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, Ausgabe Januar 2011. Beuth Verlag

Preise und Angebote

BauStatik
S033.de Erdbeben-Ersatzlastermittlung - EC 8, DIN EN 1998-1
Weitere Informationen unter <https://www.mbaec.de/modul/S033de>

MicroFe
M513 Erdbebenuntersuchung für MicroFe und EuroSta
Weitere Informationen unter <https://www.mbaec.de/modul/M513>

Es gelten unsere Allgemeinen Geschäftsbedingungen. Änderungen und Irrtümer vorbehalten. Alle Preise zzgl. Versandkosten und MwSt. – Hardlock für Einzelplatzlizenz je Arbeitsplatz erforderlich (95,- EUR). Folgelizenz-/Netzwerkbedingungen auf Anfrage. – Stand: Januar 2025

Betriebssysteme: Windows 10 (22H2, 64-Bit), Windows 11 (23H2, 64-Bit), Windows Server 2022 (21H2) mit Windows Terminalserver

Preisliste: www.mbaec.de