

Prof. Dr.-Ing. Andrej Albert, Hochschule Bochum

Prof. Dr.-Ing. Alfons Goris, Universität Siegen

Bauten in deutschen Erdbebengebieten

(nach DIN 4149, April 2005)

Der nachfolgende Beitrag¹⁾ gibt einige grundlegende Anforderungen für den Entwurf von baulichen Anlagen in Erdbebengebieten nach DIN 4149 wieder. Es werden die Erdbebenzonen und die geologischen Untergrundklassen wiedergegeben, so dass der Tragwerksplaner informiert ist, in welchen Regionen DIN 4149 anzuwenden ist. Auf die Wiedergabe von Berechnungsformeln wird verzichtet. Weitere Hinweise zur „Erdbebendimensionierung“ s. [1], [2] u. a. m.

1 Grundlagen

In DIN 4149 werden Entwurf, Bemessung und Konstruktion baulicher Anlagen aus Stahlbeton, Stahl, Holz oder Mauerwerk des üblichen Hochbaus in deutschen Erdbebengebieten behandelt. Die Norm gilt nicht für bauliche Anlagen mit besonderem Gefährdungspotential (z. B. kerntechnische Anlagen, chemische Anlagen). Ziel der Norm ist es, im Falle eines Erdbebens menschliches Leben zu schützen, Schäden zu begrenzen und sicherzustellen, dass wichtige bauliche Anlagen funktionstüchtig bleiben.

DIN 4149 teilt die in stärkerem Maße betroffenen Gebiete Deutschlands in die Erdbebenzonen 1 bis 3 ein, außerhalb dieser Zonen ist der Grad der Erdbebengefährdung so gering, dass DIN 4149 nicht angewendet werden muss.

Begriffe

- **Verhaltensbeiwert**
Beiwert zur Reduzierung der vereinfachten, durch lineare Berechnung ermittelten Erdbebeneinwirkung
- **Bedeutungsbeiwert**
Beiwert zur Berücksichtigung der Bedeutung des Erhalts der Funktionsfähigkeit der baulichen Anlage
- **Dissipatives Tragwerk**
Tragwerk, das für den Erdbebenfall unter Berücksichtigung seiner Energiedissipation bemessen ist
- **Nicht dissipatives Tragwerk**
Tragwerk, das ohne ein mögliches dissipatives Verhalten bemessen ist

- **Intensität**
Kennzahl für die Stärke der Bodenerschütterung bei Erdbeben anhand der Auswirkungen auf Menschen und Objekte. Es liegt die Europäische Makroseismische Skala (EMS) zugrunde.
- **Baugrund**
Im Sinn der Norm Untergrund von 3 m bis 20 m Tiefe
- **Geologischer Untergrund**
Untergrund ab 20 m Tiefe

2 Entwurf und Bemessung

2.1 Grundlegende Anforderungen

Bauliche Anlagen sind so zu bemessen und zu konstruieren, dass sie einem definierten Bemessungserdbeben widerstehen können und nach dem Erdbeben eine ausreichende Resttragfähigkeit besitzen. Für nichttragende Bauteile gilt im Falle eines Erdbebens, dass sie keine Personen gefährden dürfen. Die Bedeutung der baulichen Anlage wird je nach Bedeutungskategorie durch anzusetzende Bedeutungskennwerte berücksichtigt.

Besteht die Gefahr, dass durch Bodenverschiebungen frei aufliegende Bauteile, wie z. B. auf Konsolen aufgelagerte Fertigteile, von ihren Lagern rutschen, so sind diese mit einer Lagesicherung zu versehen.

¹⁾ Entnommen aus: Albert, A.; Goris, A.: Bauten in deutschen Erdbebengebieten. In: Goris (Hrsg.), Schneider Bautabellen für Ingenieure; 18. Auflage, Werner Verlag 2008

2.2 Konstruktionsmerkmale für bauliche Anlagen in Erdbebengebieten

Beim Entwurf von baulichen Anlagen sollten folgende Empfehlungen beachtet werden:

- Einfachheit des Tragwerks mit eindeutigen und direkten Übertragungswegen der Erdbebenkräfte
- Aussteifende Tragwerksteile mit ähnlicher Steifigkeit in beiden Hauptrichtungen
- Vermeidung von Steifigkeitssprüngen
- Möglichst gleiche Höhenlage horizontal benachbarter Geschosse
- Torsionssteife Konstruktionen mit geringen Massenexzentrizitäten
- Vermeidung von imperfektions- und stabilitätsgefährdeten Konstruktionen
- Geschossdecken mit Scheibenwirkung zur Weiterleitung der horiz. Trägheitskräfte auf die aussteifenden Elemente
- Gründungskonstruktionen mit einheitlicher Verschiebung der verschiedenen Gründungsteile
- Duktile Konstruktionen mit der Fähigkeit zu großen Energiedissipationen
- Vermeidung großer Massen in oberen Geschossen
- Ggf. Aufteilung des Tragwerks mittels Fugen in dynamisch unabhängige Einheiten

2.3 Erdbebenauslegungen

2.3.1 Grundsätzliches

Für den Nachweis der Erdbebensicherheit wird zwischen regelmäßigen und unregelmäßigen Bauwerken unterschieden. Die Auswirkungen der Regelmäßigkeit auf die erforderlichen Nachweise sind in Tafel 1 wiedergegeben.

Tafel 1 Auswirkungen der Regelmäßigkeit des Bauwerks auf die Erdbebenauslegung

Regelmäßig		Zulässige Vereinfachung		Verhaltensbeiwert
Grundriss	Aufriss	Modell	Berechnung	
ja	ja	eben	vereinfacht (Grundschwingungsform) ^a	Referenzwert ^c
ja	nein	eben	mehrere Schwingungsformen	abgemindert
nein	ja	räumlich ^b	mehrere Schwingungsformen ^b	Referenzwert ^c
nein	nein	räumlich	mehrere Schwingungsformen	abgemindert

^{a, b, c} Vgl. hierzu DIN 4149.

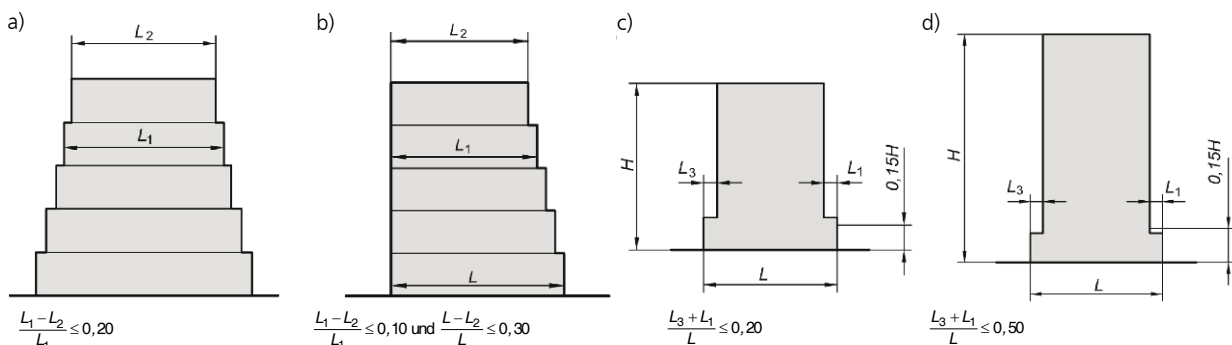


Abb. 1 Kriterien für die Regelmäßigkeit von Gebäuden

2.3.2 Kriterien für die Regelmäßigkeit

Als Kriterien für eine Regelmäßigkeit im Grundriss und Aufriss sind zu nennen:

- **Regelmäßigkeit im Grundriss (Auswahl):**
 - das Gebäude ist im Grundriss bezüglich der Horizontalsteifigkeit und der Massenverteilung nahezu symmetrisch
 - die Grundrissform des Gebäudes ist kompakt und nicht gegliedert (z. B. H- oder X-förmig)
 - rückspringende Ecken oder Nischen im Grundriss sind zu vermeiden
 - die Steifigkeit der Decke in ihrer Ebene muss im Vergleich zur Horizontalsteifigkeit der durch die Decke gekoppelten Stützen und Wände ausreichend groß sein (die Verformung der Decke darf sich nur unwesentlich auf die Verteilung der Kräfte auf die aussteifenden Bauteile auswirken)
 - die einzelnen Geschosse müssen über eine ausreichende Torsionssteifigkeit verfügen
- **Regelmäßigkeit im Aufriss (Auswahl):**
 - Kerne, tragende Wände etc. verlaufen ohne Unterbrechung von der Gründung bis zur Oberkante
 - Horizontalsteifigkeit und Masse der einzelnen Geschosse bleiben konstant oder verändern sich nur allmählich mit der Bauwerkshöhe
 - im Skelettbau treten nur geringe Schwankungen des Verhältnisses zwischen der tatsächlichen und der rechnerisch erforderlichen Beanspruchbarkeit auf
 - Rücksprünge müssen folgende Bedingungen erfüllen:
 - a) axial symmetrische Rücksprünge dürfen je Stockwerk nicht größer als 20 % sein (Abb. 1a)
 - b) unsymmetrische Rücksprünge dürfen in jeder Richtung je Stockwerk nicht größer als 10 % und insgesamt nicht größer als 30 % sein (s. Abb. 1b)
 - c) einzelne Rücksprünge oberhalb der unteren 15% der Gesamthöhe dürfen 20% betragen (s. Abb. 1c). Innerhalb der unteren 15% der Gesamthöhe des Haupttragsystems dürfen Rücksprünge nicht größer als 50% der ursprünglichen Grundrissabmessung sein (s. Abb. 1d); in dem Fall sollte das Tragwerk im unteren Bereich mit den Umrissen der oberen Stockwerke so bemessen werden, dass es mindestens 75 % der horizontalen Schubkräfte aufnehmen kann.



Abb. 2 Erdbebenzonen der Bundesrepublik Deutschland

3 Erdbebeneinwirkungen

3.1 Erdbebenzonen

Die Erdbebenzonen der Bundesrepublik Deutschland sind in Abb. 2 dargestellt. Nicht Gegenstand der Darstellung sind nichttektonische seismische Ereignisse z. B. in Bergbau- oder Erdfallgebieten. Für die Zuordnung einzelner Kreise und Gemeinden zu den Erdbebenzonen wird auf die Erlasse (Liste der Technischen Baubestimmungen) der Bundesländer verwiesen.

Den Erdbebenzonen werden Intensitätsintervalle zugeordnet, die in Tafel 2 wiedergegeben sind. Innerhalb der jeweiligen Erdbebenzone wird die Gefährdung als einheitlich angesehen.

Als zonenspezifischer Einwirkungsparameter gilt der Bemessungswert der Bodenbeschleunigung a_g (s. Tafel 2), der als Grundlage für den rechnerischen Nachweis anzusehen ist.

Tafel 2 Intensitätsintervalle und Bemessungswerte der Bodenbeschleunigung in den Erdbebenzonen

Erdbebenzone	Intensitätsintervalle I	Bemessungswert der Bodenbeschleunigung a_g (in m/s^2)
0	$6,0 \leq I < 6,5$	-
1	$6,5 \leq I < 7,0$	0,4
2	$7,0 \leq I < 7,5$	0,6
3	$7,5 \leq I$	0,8

Für die Erdbebenzonenkarte (Abb. 2) gilt eine Referenz-Wiederkehrperiode von 475 Jahren; dem entspricht eine Wahrscheinlichkeit des Auftretens oder Überschreitens von 10 % innerhalb von 50 Jahren. Diese Referenz-Wiederkehrperiode wird dem Bedeutungsbeiwert $\gamma_I = 1,0$ zugeordnet.

3.2 Untergrundverhältnisse, Geologie und Baugrund
Der Einfluss der örtlichen Untergrundverhältnisse auf die Erdbebeneinwirkung ist durch Einstufung in drei geologische Untergrundklassen R, T, S und in drei Baugrundklassen A, B, C zu berücksichtigen. Als Kombination können A-R, B-R, C-R, B-T, C-T und C-S vorkommen.

3.2.1 Geologische Untergrundklassen

Es werden folgende geologische Untergrundklassen unterschieden:

- **Untergrundklasse R:** Gebiete mit felsartigem Gesteinsuntergrund
- **Untergrundklasse T:** Übergang zwischen R und S sowie Gebiete relativ flachgründiger Sedimentbecken
- **Untergrundklasse S:** Gebiete tiefer Beckenstrukturen mit mächtiger Sedimentfüllung

Die geologischen Untergrundklassen in den Erdbebengebieten Deutschlands sind in Abb. 3 dargestellt.

3.2.2 Baugrundklassen

Es werden die in Tafel 3 zusammengestellten Baugrundklassen unterschieden, denen jeweils eine dominierende Scherwellengeschwindigkeit zugeordnet ist. Wenn sich der Baugrund nicht eindeutig zuordnen lässt (insbesondere bei lockerem Sand, Seeton, Schlick), ist der Einfluss gesondert zu untersuchen. Die Einstufung eines Standortes in die Baugrundklasse ist ggf. durch weitergehende Untersuchungen zu bestimmen.

Tafel 3 Baugrundklassen und Scherwellengeschwindigkeit

	Beschreibung (Auswahl)	Dominierende Scherwellengeschwindigkeit (m/s)
A	Unverwitterte Festgesteine mit hoher Festigkeit	> 800
B	Mäßig verwitterte Festgesteine mit geringer Festigkeit Grob- bzw. gemischtkörnige Lockergesteine in dichter Lagerung	350 bis 800
C	Stark bis völlig verwitterte Festgesteine Grob-/gemischtkörnige Lockergesteine in mitteldichter Lagerung Feinkörnige Lockergesteine mit mindestens steifer Konsistenz	150 bis 350

3.3 Bedeutungskategorie und Bedeutungsbeiwert

Entsprechend ihrer Bedeutung für den Schutz der Allgemeinheit werden Hochbauten in vier Bedeutungskategorien eingeteilt. Diesen Kategorien sind Bedeutungsbeiwerte γ_I zugeordnet, die bei der Erdbebeneinwirkung berücksichtigt werden; vgl. Tafel 4.

Tafel 4 Bedeutungskategorien und -beiwerte

Bedeutungskategorie	Bauwerke (Auswahl)	Bedeutungsbeiwert γ_I
I	Bauwerke von geringerer Bedeutung für die öffentliche Sicherheit (z. B. landwirtschaftliche Bauten)	0,8
II	Gewöhnliche Bauwerke (z. B. Wohngebäude)	1,0
III	Bedeutsamere Bauwerke (z. B. Wohnanlagen, Verwaltungsgebäude, Schulen, Versammlungshallen, kulturelle Einrichtungen, Kaufhäuser)	1,2
IV	Sehr wichtige Bauwerke (z. B. Krankenhäuser, Einrichtungen des Katastrophenschutzes, Feuerwehrhäuser)	1,4

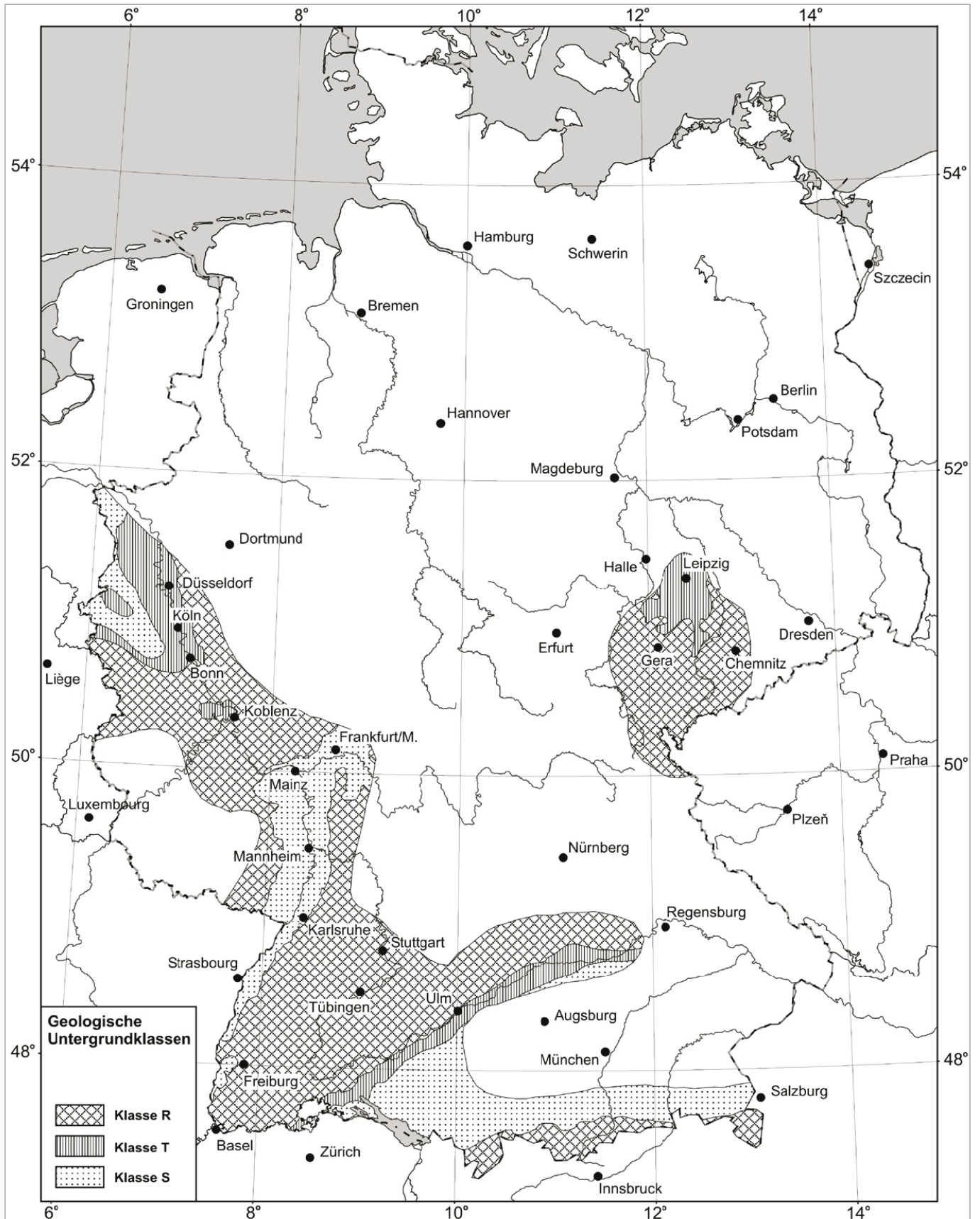


Abb. 3 Geologische Untergrundklassen in den Erdbebenzonen der Bundesrepublik Deutschland

3.4 Regeldarstellung der Erdbebeneinwirkung

Die Erdbebeneinwirkung kann durch ein „elastisches Antwortspektrum“ beschrieben werden; es gibt die Einwirkung auf Tragwerke wieder, die bei Erdbebeneinwirkung im linear elastischen Bereich verbleiben, wobei Energie nur durch viskose Dämpfung dissipiert wird. Die Bedeutung eines Bauwerks wird durch den Beiwert γ_i (s. Tafel 4) in den Antwortspektren erfasst.

Abhängig von der gewählten Duktilitätsklasse wird die so ermittelte Erdbebeneinwirkung mit dem Verhaltensbeiwert q abgemindert.

3.5 Duktilitätsklassen

Durch die Erdbebeneinwirkung wird dem Bauwerk Energie zugeführt. Diese wird im Bauwerk dissipiert durch die Reaktionskräfte und die zugehörigen Verformungen der aussteifenden Bauteile. Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, ein Tragwerk so auszulegen, dass es

- hohe einwirkende Kräfte mit geringer Verformung
- oder
- geringere einwirkende Kräfte mit größeren (plastischen) Verformungen

aufnehmen kann, um die eingetragene Energie zu dissipieren.

Die zweite Vorgehensweise würde im Allgemeinen eine physikalisch nichtlineare Berechnung des Tragwerkes erfordern. Um diese zu umgehen, werden in DIN 4149 Verhaltensbeiwerte q verwendet, mit denen die berechneten Erdbebeneinwirkungen abgemindert werden dürfen.

Gleichzeitig muss durch geeignete konstruktive Maßnahmen sichergestellt werden, dass das Tragwerk ausreichend duktil ist. Zudem muss gewährleistet sein, dass in anderen Tragwerksbereichen, in denen die geforderte Duktilität nicht vorhanden ist, ausreichende Sicherheit gegenüber einem Versagen vorliegt.

DIN 4149 erlaubt dem Planer somit die Beeinflussung des Tragverhaltens des Tragwerkes unter Erdbebenbeanspruchung. Je höher die gewählte Duktilitätsklasse, desto geringer die für den Erdbebennachweis zu verwendende Ersatzkraft und desto höher die Anforderungen an die konstruktive Durchbildung zur Sicherstellung der geforderten Duktilität.

Die Abminderung der Erdbebeneinwirkungen um den Faktor q muss bei der Ausbildung von Fugen berücksichtigt werden – die tatsächlichen Verformungen der aussteifenden Bauteile sind um den Faktor q größer als die mit den abgeminderten Ersatzlasten berechneten.

3.6 Kombinationen der Erdbebeneinwirkungen mit anderen Einwirkungen

Für die Ermittlung des Bemessungswertes E_{dAE} gelten die Kombinationsregeln für die Bemessungssituation Erdbeben. Der Bemessungswert A_{Ed} ist wie folgt zu ermitteln:

$$\Sigma G_{kj} \oplus \Sigma \psi_{Ei} \cdot Q_{ki}$$

Der Kombinationsbeiwert ψ_{Ei} berücksichtigt die Wahrscheinlichkeit, dass die veränderlichen Einwirkungen $\psi_{z,i} \cdot Q_{ki}$ während des Erdbebens nicht in voller Größe vorhanden sind. Dieser wird wie folgt berechnet:

$$\psi_{Ei} = \varphi \cdot \psi_{z,i}$$

mit

$\varphi = 1,0$ bei Nutz- und Verkehrslasten in Lagerräumen, Bibliotheken, Werkstätten und Fabriken mit schwerem Betrieb, Warenhäusern, Parkhäusern

Bei Nutzlasten von Wohnhäusern, Bürogebäuden, Krankenhäusern u. Ä.:

$\varphi = 1,0$ für das oberste Geschoss

$\varphi = 0,7$ für andere abhängig genutzte Geschosse

$\varphi = 0,5$ für andere unabhängig genutzte Geschosse

4 Tragwerksberechnung

Für die **Modellbildung** gelten folgende Vereinfachungen und Annahmen:

- Regelmäßige Bauwerke (Kriterien s. Abschnitt 2.3.2) dürfen mittels zweier ebener Modelle berechnet werden (eines je Grundrisshaupttrichtung).
- In Stahlbeton- und Mauerwerksbauten darf die Steifigkeit der tragenden Bauteile in der Regel unter Annahme von ungerissenen Querschnitten angesetzt werden (s. jedoch auch DIN 4149).
- Nicht tragende Ausfachungen, die das Schwingungsverhalten des Tragwerkes wesentlich beeinflussen, sind im Rechenmodell zu berücksichtigen.
- Die Verformbarkeit des Baugrundes muss im Modell bei ungünstigem Einfluss berücksichtigt werden.

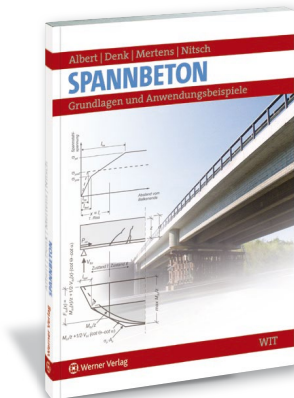
Als **Berechnungsverfahren** kann in Abhängigkeit vom Tragwerk verwendet werden:

- **Vereinfachtes Antwortspektrenverfahren**
Das Verfahren darf nur bei regelmäßigen Tragwerken gemäß Abschnitt 2.3.2 angewendet werden, wenn die Grundschiwingzeit entsprechende Grenzwerte einhält. Hierbei wird die Gesamterdbebenkraft F_b für jede Haupttrichtung getrennt bestimmt. Zur Bestimmung der Schnittgrößen aus Erdbebeneinwirkungen werden aus der Gesamterdbebenkraft F_b am Geschoss i angreifende Horizontalkräfte F_i bestimmt.
- **Antwortspektrenverfahren unter Berücksichtigung von mehreren Schwingformen**
Das Verfahren ist generell anwendbar.

Weitere detailliertere Hinweise und Bemessungsgleichungen s. DIN 4149.



Goris/Schnitz
DIN 1045 digital Version 3.0,
 Normentext, interaktive
 Bemessungshilfen, Beispiele
 CD-ROM mit Buch
 € 89,-
 ISBN 978-3-8041-5233-5



Albert/Denk/Mertens/Nitsch
Spannbeton
 Grundlagen und Anwendungsbeispiele
 1. Auflage 2008, 228 Seiten, kartoniert
 € 32,-
 ISBN 978-3-8041-1090-8

Zu beziehen über Ihre Buchhandlung oder direkt beim Verlag.

 **Werner Verlag**
 eine Marke von Wolters Kluwer Deutschland

Wolters Kluwer Deutschland GmbH • Postfach 2352 • 56513 Neuwied
 Telefon 02631 801 2222 • Telefax 02631 801 2223
 www.wolterskluwer.de • info@wolterskluwer.de

5 Nachweis der Standsicherheit

Für den Nachweis der Standsicherheit sind die Bemessungssituation infolge von Erdbeben nach DIN 1055-100 und die Empfehlungen gemäß Abschnitt 2.2 zu berücksichtigen.

Für Hochbauten der Bedeutungskategorie I bis III gilt der Nachweis der Standsicherheit als erfüllt, falls die horizontale Gesamterdbebenkraft kleiner als die maßgebende Horizontalkraft aus anderen zu untersuchenden Einwirkungskombinationen (z. B. mit Windlasten) ist und die im Abschnitt 2.2 aufgeführten Empfehlungen eingehalten sind. Es wird auf DIN 4149 verwiesen.

Auf einen rechnerischen Nachweis der Tragfähigkeit kann bei Wohn- und ähnlichen Gebäuden (z. B. Bürogebäuden) verzichtet werden, wenn folgende Bedingungen eingehalten sind:

- die Anzahl der Vollgeschosse über Gründungsniveau¹ ist nicht größer als die Werte nach Tafel 5; dabei braucht das oberste Geschoss nicht berücksichtigt zu werden, wenn die maßgebende Masse (aus Eigenlasten und Verkehrslasten) max. 50 % des darunterliegenden Vollgeschosses beträgt
- die grundlegenden Empfehlungen nach Abschnitt 2.2 werden berücksichtigt
- bei Bauten in den Erdbebenzonen 2 und 3 sind die Regelmäßigkeitskriterien entsprechend Abschnitt 2.3 erfüllt
- die Geschosshöhe beträgt maximal 3,50 m
- bei Mauerwerksbauten sind außerdem die konstruktiven Regelungen nach DIN 4149 einzuhalten

In anderen Fällen ist ein rechnerischer Nachweis zu führen.

Tafel 5 *Bedeutungskategorie und zulässige Anzahl von Vollgeschossen für Hochbauten ohne rechnerischen Standsicherheitsnachweis*

Erdbebenzone	Bedeutungskategorie	Maximale Anzahl von Vollgeschossen
1	I bis III	4
2	I bis II	3
3	I bis II	2

6 Besondere Regeln für Betonbauten

Für Tragwerke aus Beton sieht DIN 4149 zwei Duktilitätsklassen vor:

- **Duktilitätsklasse 1:**
Tragwerke mit natürlicher Duktilität
- **Duktilitätsklasse 2:**
Tragwerke mit erhöhter lokaler und globaler Duktilität

¹ Wenn das Kellergeschoss bzw. das Geschoss über Gründungsebene als steifer Kasten ausgebildet wird und auf einheitlichem Niveau gegründet ist, muss es bei der Ermittlung der Geschoszahl nicht berücksichtigt werden. Ggf. ist nachzuweisen, dass die Gesamtsteifigkeit dieses Geschosses in jeder Richtung mindestens 5-mal größer ist als die entsprechende Steifigkeit des darüberliegenden Geschosses.

Bei Tragwerken der Duktilitätsklasse 1 darf die horizontale Erdbebeneinwirkung mit dem Verhaltensbeiwert $q = 1,5$ abgemindert werden. Für die vertikale Erdbebeneinwirkung gilt $q = 1,0$.

Es gelten folgende konstruktive Regelungen zur Sicherstellung der geforderten Duktilität:

- Der verwendete Betonstahl muss die Anforderungen an hochduktilen Stähle nach DIN 1045-1 (Typ B) erfüllen.
- In symmetrisch bewehrten Druckgliedern, die über Biegebeanspruchung zur Aussteifung verwendet werden, muss die bezogene Normalkraft $v_d = N_{Ed} / (A_c \cdot f_{cd})$ auf den Wert 0,25 (Stützen) bzw. 0,20 (Wände) begrenzt werden.
- Bei der Berechnung der Verankerungs- und Übergreifungslängen der Stützenbewehrung ist das Verhältnis $A_{s,erf} / A_{s,vorh}$ mit 1,0 anzusetzen.
- In Rahmenriegelanschlüssen mit Rechteckquerschnitt ist der Bewehrungsgrad auf der Zugseite auf $\rho_{max} = 0,03$ zu begrenzen. Der Bewehrungsquerschnitt auf der Druckseite muss mindestens 50 % des Querschnittes auf der Zugseite betragen.
- Der Bemessungswert der Querkraft von Wänden ist mit dem Faktor $\varepsilon = 1,5$ zu erhöhen.

Die genannten Maßnahmen dürfen in den Erdbebenzonen 1 und 2 entfallen, wenn Stützen und Wände für eine um 20 % erhöhte Erdbebeneinwirkung bemessen werden.

Flach- oder Pilzdecken, die durch die Rahmenwirkung zwischen Stützen und Decke ausgesteift werden, sind nicht in DIN 4149 geregelt. Werden Flach- oder Pilzdecken zusätzlich durch Wände und/oder Kerne ausgesteift, so muss die Verbindung zwischen Stützen und Decke zur Aufnahme der horizontalen Verschiebungen sowie zur Sicherung der Durchstanztragfähigkeit ausreichend duktil ausgebildet werden.

Hierfür sind folgende Maßnahmen erforderlich:

- Anordnung einer unteren, über den Stützen durchgeführten Bewehrung gemäß DIN 1045-1, 13.3.2 (12)
- Anordnung einer Mindestdurchstanzbewehrung gemäß DIN 1045-1, 13.2.3 (5); s. Abb. 4. Es können Bügel oder Doppelkopfanker verwendet werden.

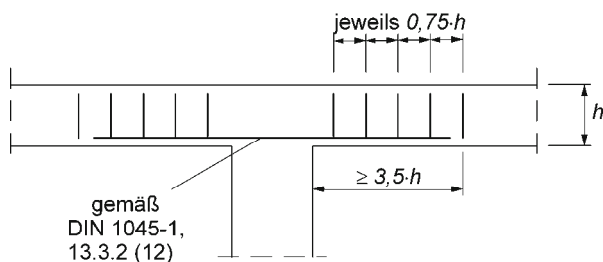


Abb. 4 Konstruktive Durchbildung der Verbindung Stütze-Decke bei Flach- oder Pilzdecken

Die Regelungen bezüglich der Mindestdurchstanzbewehrung entfallen bei Flachdecken in den Erdbebenzonen 1 und 2.

Für die konstruktive Durchbildung von Tragwerken der Duktilitätsklasse 2 wird auf DIN 4149 verwiesen.

7 Besondere Regeln für Stahlbauten

Für Tragwerke aus Stahl sieht DIN 4149 drei Duktilitätsklassen vor:

- **Duktilitätsklasse 1:**
Tragwerke, die unter der Erdbebenbeanspruchung im Wesentlichen im elastischen Bereich verbleiben
- **Duktilitätsklasse 2:**
Tragwerke, die unter der Erdbebenbeanspruchung ein elastisch-plastisches Verhalten mit ausgeprägter Energiedissipation zeigen
- **Duktilitätsklasse 3:**
Tragwerke, bei denen konstruktive Maßnahmen getroffen werden müssen, die über die Duktilitätsklasse 2 hinausgehen

Bei Tragwerken der Duktilitätsklasse 1 darf die horizontale Erdbebeneinwirkung mit dem Verhaltensbeiwert $q = 1,5$ abgemindert werden. Für die vertikale Erdbebeneinwirkung gilt $q = 1,0$.

Es gelten folgende Regeln zur Sicherstellung der geforderten Duktilität:

- Alle Schrauben sind (z. B. durch Vorspannung) gegen Lösen zu sichern.
- Querschnitte, die aus Normalkraft oder Biegung eine Druckbeanspruchung erhalten, müssen die Bedingungen der Querschnittsklasse 3 nach DIN V ENV 1993-1-1 erfüllen, um lokales Beulen auszuschließen.
- K-Verbände mit Anschluss der Diagonalen an die Stützen sind zu vermeiden. Andernfalls ist $q = 1,0$ zu wählen.

Für die konstruktive Durchbildung von Tragwerken der Duktilitätsklassen 2 und 3 wird auf DIN 4149 verwiesen.

8 Besondere Regeln für Holzbauten

Für Tragwerke aus Holz sieht DIN 4149 drei Duktilitätsklassen vor:

- **Duktilitätsklasse 1:**
Tragwerke, die unter der Erdbebenbeanspruchung im Wesentlichen im elastischen Zustand verbleiben
- **Duktilitätsklasse 2:**
Tragwerke, bei denen sich die Duktilitätsanforderungen auf wenige dissipative Bereiche mit stiftförmigen Verbindungsmitteln beschränken
- **Duktilitätsklasse 3:**
Tragwerke, die viele dissipative Bereiche mit stiftförmigen Verbindungsmitteln besitzen

Der Duktilitätsklasse 1 dürfen alle Holzbauten zugeordnet werden. Hierbei darf die horizontale Erdbebeneinwirkung mit dem Verhaltensbeiwert $q = 1,5$ abgemindert werden. Für die vertikale Erdbebeneinwirkung gilt wiederum $q = 1,0$.

Für die Regeln zur baulichen Durchbildung von Holztragwerken der Duktilitätsklassen 2 und 3 wird auf DIN 4149 verwiesen.

9 Besondere Regeln für Mauerwerksbauten

Mauerwerkswände dürfen nur dann zur Aussteifung herangezogen werden, wenn sie die Mindestanforderungen gemäß Tafel 6 erfüllen.

Mauerwerksbauten sind zu klassifizieren in:

- Bauwerke aus unbewehrtem Mauerwerk
- Bauwerke aus eingefasstem Mauerwerk
- Bauwerke aus bewehrtem Mauerwerk

Die Verhaltensbeiwerte q für den rechnerischen Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit sind Tafel 7 zu entnehmen. Für jede Gebäuderichtung ist der ungünstigste q -Wert anzusetzen. Zwischenwerte dürfen interpoliert werden.

Tafel 6 Mindestanforderungen an aussteifende Wände

Erdbebenzone	h_k/t	t [mm]	l [mm]
1	nach DIN 1053-1		≥ 740
2	≤ 18	$\geq 150^a$	≥ 980
3	≤ 15	≥ 175	≥ 980

^a Wände mit einer Dicke ≥ 115 mm dürfen zusätzlich angesetzt werden, wenn gilt $h_k/t \leq 15$.

Tafel 7 Verhaltensbeiwert q

Mauerwerksart	Verhaltensbeiwert q	
	$h/l \leq 1$	$h/l \leq 2$
unbewehrtes Mauerwerk	1,5	2,0
eingefasstes Mauerwerk	2,0	
bewehrtes Mauerwerk	2,5	

Bei unregelmäßigem Aufriss sind die Verhaltensbeiwerte um 20 % abzumindern, wobei eine Abminderung auf Werte $< 1,5$ nicht erforderlich ist.

Bei q -Werten $> 1,5$ darf die mittlere Normalspannung im Gebrauchszustand 50 % der zulässigen Spannung gemäß DIN 1053-1 nicht überschreiten.

Die Konstruktionsregeln für die einzelnen Mauerwerkstypen sind DIN 4149 zu entnehmen.

10 Besondere Regeln für Gründungen

Der Zusammenhalt eines Bauwerkes bzw. der dynamisch unabhängigen Teile eines Bauwerkes muss sichergestellt sein. Dies geschieht beispielsweise indem die einzelnen Gründungselemente in einer Ebene angeordnet und durch eine durchgehende Sohlplatte oder durch Zerrbalken miteinander verbunden werden. Zerrbalken müssen eine Mindestlängsbewehrung von 4 \emptyset 12 BSt 500 S aufweisen, die im anschließenden Fundamentkörper verankert werden (sinngemäß sind durchgehende Sohlplatten auszubilden). Auf diese Kopplung kann verzichtet werden, wenn Baugrund der Klasse A vorliegt. In Erdbebenzone 1 gilt dies auch für Baugrund der Klasse B.

In Streifenfundamenten unter gemauerten Wänden muss eine Mindestbewehrung von 4 \emptyset 12 BSt 500 S angeordnet werden.

Generell sollten Gründungen in unterschiedlicher Tiefe, auf unterschiedlichen Gründungselementen mit deutlich unterschiedlichem Verformungsverhalten und auf verschiedenartigem Baugrund vermieden werden. Ist dies nicht möglich sind Nachweise erforderlich, die nicht in DIN 4149 geregelt sind. Dasselbe gilt, wenn eine Kopplung mittels einer Sohlplatte oder Zerrbalken erforderlich wäre, aber nicht ausgeführt werden kann.

Prof. Dr.-Ing. Andrej Albert
Hochschule Bochum

Prof. Dr.-Ing. Alfons Goris
Universität Siegen

Normen, Literatur

Normen

DIN 4149:2005-04: Bauten in Deutschen Erdbebengebieten – Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten

Literatur

- [1] Meskouris/Butenweg/ Renault: Beurteilung der Erdbebensicherheit von bestehenden Bauwerken. Der Prüflingenieur, Nr. 28, 2006
- [2] Meskouris/Butenweg/ Renault: Mehrstufiges Konzept für mehr Erdbebensicherheit. Deutsches Ingenieurblatt, Nr. 6, 2006