

DIN 4149**DIN**

ICS 91.120.25

Ersatz für
DIN 4149-1:1981-04 und
DIN 4149-1/A1:1992-12**Bauten in deutschen Erdbebengebieten –
Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten**Buildings in german earthquake areas –
Design loads, analysis and structural design of buildingsBatiments dans les zones sismiques allemandes –
Suppositions de charge, dimensionnement et construction de batiments conventionels

Gesamtumfang 82 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

Inhalt

Seite

Vorwort	5
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	6
4 Entwurf und Bemessung	8
4.1 Grundlegende Anforderungen	8
4.2 Empfehlungen für den Entwurf von baulichen Anlagen in Erdbebengebieten	8
4.3 Regelmäßigkeit des Bauwerks	9
4.3.1 Allgemeines	9
4.3.2 Kriterien für die Regelmäßigkeit im Grundriss	9
4.3.3 Kriterien für die Regelmäßigkeit im Aufriss	10
5 Erdbebeneinwirkung	11
5.1 Erdbebenzonen	11
5.2 Untergrundverhältnisse, Geologie und Baugrund	14
5.2.1 Allgemeines	14
5.2.2 Geologische Untergrundklassen	14
5.2.3 Baugrundklassen	14
5.3 Bedeutungskategorien und Bedeutungsbeiwerte	17
5.4 Regeldarstellung der Erdbebeneinwirkung	17
5.4.1 Allgemeines	17
5.4.2 Elastisches Antwortspektrum	18
5.4.3 Bemessungsspektrum für lineare Berechnung	20
5.4.4 Bodenverschiebung	20
5.5 Kombinationen der Erdbebeneinwirkung mit anderen Einwirkungen	20
6 Tragwerksberechnung	21
6.1 Modellabbildung	21
6.2 Berechnungsverfahren	22
6.2.1 Allgemeines	22
6.2.2 Vereinfachtes Antwortspektrenverfahren	22
6.2.3 Antwortspektrenverfahren unter Berücksichtigung mehrerer Schwingungsformen	27
6.2.4 Kombination der Beanspruchung infolge der Komponenten der Erdbebeneinwirkung	29
6.3 Berechnung der Verformungen	30
6.4 Nicht tragende Bauteile	31
7 Nachweise der Standsicherheit	32
7.1 Allgemeines	32
7.2 Grenzzustand der Tragfähigkeit	33
7.2.1 Allgemeines	33
7.2.2 Tragfähigkeitsbedingung	33
7.2.3 Duktilitätsbedingung	34
7.2.4 Gleichgewichtsbedingung	35
7.2.5 Tragfähigkeit der Gründungen	35
7.2.6 Bedingungen für erdbebengerechte Fugen	35
8 Besondere Regeln für Betonbauten	35
8.1 Allgemeines	35
8.1.1 Anwendungsbereich	35
8.1.2 Duktilitätsklassen	35
8.1.3 Sicherheitsnachweise	36
8.2 Festlegungen für Betonbauten der Duktilitätsklasse 1	36
8.3 Festlegungen für Betonbauten der Duktilitätsklasse 2	37
8.3.1 Lokale Duktilität	37

8.3.2	Baustoffe	38
8.3.3	Tragwerkstypen und Verhaltensbeiwerte	38
8.3.4	Auslegungskriterien	40
8.3.5	Verankerungen und Stöße	40
8.3.6	Anforderungen an Balken	44
8.3.7	Anforderungen an Stützen	48
8.3.8	Anforderungen an Wände	51
8.4	Besondere Regelungen für Pilz- und Flachdecken	59
9	Besondere Regeln für Stahlbauten	60
9.1	Allgemeines	60
9.1.1	Anwendung	60
9.1.2	Duktilitätsklassen	60
9.1.3	Sicherheitsnachweise	61
9.2	Festlegungen für Stahlbauten der Duktilitätsklasse 1	61
9.3	Festlegungen für Stahlbauten der Duktilitätsklassen 2 und 3	62
9.3.1	Werkstoffe	62
9.3.2	Kapazitätsbemessung	62
9.3.3	Verhaltensbeiwert q	63
9.3.4	Überwachung bei Planung und Herstellung	63
9.3.5	Auslegungskriterien für Stahlbauten der Duktilitätsklassen 2 und 3	68
10	Besondere Regeln für Holzbauten	74
10.1	Allgemeines	74
10.2	Sicherheitsnachweise	75
10.3	Regeln für die bauliche Durchbildung bei Duktilitätsklassen 2 und 3	75
11	Besondere Regeln für Mauerwerksbauten	76
11.1	Allgemeines	76
11.2	Besondere Anforderungen an die Mauerwerksbaustoffe	77
11.3	Allgemeine Konstruktionsregeln	77
11.4	Zusätzliche Konstruktionsregeln für eingefasstes Mauerwerk	77
11.5	Zusätzliche Konstruktionsregeln für bewehrtes Mauerwerk	78
11.6	Konstruktive Regeln für Mauerwerksbauten ohne rechnerischen Nachweis des Grenzzustandes der Tragfähigkeit für den Lastfall Erdbeben	78
11.7	Rechnerische Nachweise für Mauerwerksbauten	79
11.7.1	Allgemeines	79
11.7.2	Tragwerksmodell	80
11.7.3	Nachweis des Grenzzustandes der Tragfähigkeit	80
12	Besondere Regeln für Gründungen und Stützbauwerke	81
12.1	Gründungen	81
12.1.1	Tragfähigkeitsnachweis	81
12.1.2	Konstruktive Anforderungen und Empfehlungen	81
12.2	Stützbauwerke	82
12.2.1	Erd- und Wasserdruck	82
12.2.2	Tragfähigkeitsnachweis	82

Bilder

Bild 1 — Kriterien für die Regelmäßigkeit von Gebäuden mit Rücksprüngen	11
Bild 2 — Erdbebenzonen der Bundesrepublik Deutschland	13
Bild 3 — Geologische Untergrundklassen in den Erdbebenzonen der Bundesrepublik Deutschland	16
Bild 4 — Elastisches Antwortspektrum	19
Bild 5 — Bestimmung der Exzentrizitäten der Horizontalkraft F_1	26
Bild 6 — Zusätzliche Verankerungsmaßnahmen in Balken-Stützen-Außenknoten	42
Bild 7 — Begrenzung der Balkenbreite b_w	43

Bild 8 — Anordnung von Übergreifungsstößen	44
Bild 9 — Mitwirkende Plattenbreite b_{eff} für Balken, die in eine Außenstütze einbinden.....	45
Bild 10 — Ausmitte zwischen Balken- und Stützenachse	46
Bild 11 — Querbewehrung in kritischen Bereichen von Balken	47
Bild 12 — Umschnürung des Betonkerns	50
Bild 13 — Gestaltung von Umschnürungsbügeln	51
Bild 14 — Bemessungseinhüllende für Biegemomente in schlanken Wänden	52
Bild 15 — Kritische Bereiche an der Wandunterkante	53
Bild 16 — Bemessungseinhüllende für Querkräfte in Wänden von Mischsystemen	54
Bild 17 — Koppelbauteile	55
Bild 18 — Koppelbauteil mit Diagonalbewehrung	56
Bild 19 — Beispiele zur Gestaltung von Umschnürungsbügeln für die Randbereiche von Wänden mit freien Rändern und $b_w > 250$ mm	57
Bild 20 — Umschnürtes Randelement am freien Rand einer Wand (unten: Dehnungen bei Grenzkrümmung; oben: Wandquerschnitt)	58
Bild 21 — Minstdicke umschnürter Randelemente	59
Bild 22 — Wandränder mit ausreichendem Querflansch.....	59
Bild 23 — Ausbildung eines Verbinders	72

Tabellen

Tabelle 1 — Auswirkungen der Regelmäßigkeit des Bauwerks auf die Erdbebenauslegung	9
Tabelle 2 — Zuordnung von Intensitätsintervallen und Bemessungswerten der Bodenbeschleunigung zu den Erdbebenzonen	12
Tabelle 3 — Bedeutungskategorien und Bedeutungsbeiwerte für Hochbauten	17
Tabelle 4 — Werte der Parameter zur Beschreibung des elastischen horizontalen Antwortspektrums	19
Tabelle 5 — Werte der Parameter zur Beschreibung des elastischen vertikalen Antwortspektrums	19
Tabelle 6 — Beiwerte für φ zur Berechnung von ψ_{EI}	21
Tabelle 7 — Werte von q_a für nicht tragende Bauteile	32
Tabelle 8 — Bedeutungskategorie und zulässige Anzahl der Vollgeschosse für Hochbauten ohne rechnerischen Standsicherheitsnachweis	33
Tabelle 9 — Grundwerte q_0 des Verhaltensbeiwerts	40
Tabelle 10 — Tragwerkstypen und maximale Verhaltensbeiwerte q	65
Tabelle 11 — Erforderliche Querschnittsklassen nach DIN V ENV 1993-1-1 für druckbeanspruchte Querschnittsteile abhängig von der Duktilitätsklasse	68
Tabelle 12 — Begrenzung der Schlankheit von Druckstützen in dissipativen Rahmen bei Duktilitätsklasse 3 in Abhängigkeit von deren Ausnutzung	69
Tabelle 13 — Bemessung von Verbindern nach Bild 23	72
Tabelle 14 — Mindestanforderungen an aussteifende Wände (Schubwände)	77
Tabelle 15 — Mindestanforderungen an die auf die Geschossgrundrissfläche bezogene Querschnittsfläche von Schubwänden je Gebäuderichtung	79
Tabelle 16 — Teilsicherheitsbeiwerte	80
Tabelle 17 — Verhaltensbeiwert q	80

Vorwort

Diese Norm wurde in Verantwortung des Fachbereichs 00 „Koordination“ des Normenausschusses Bauwesen (NABau) vom Arbeitsausschuss 00.06.00 „Erdbeben; Sonderfragen“ auf der Grundlage von DIN 4149-1:1981-04, DIN 4149-1/A1:1992-12 sowie der Europäischen Vornorm ENV 1998-1 erarbeitet. Die Norm berücksichtigt ferner die aktuelle Entwicklung an Arbeiten zur Überführung von ENV 1998-1 in eine Europäische Norm und stellt damit einen Vorgriff auf die zukünftige Anwendung europäischer Konzepte dar. Ferner dient die Norm als Grundlage für Regelungen in einem nationalen Anhang zu einer zukünftigen EN 1998-1.

Änderungen

Gegenüber DIN 4149-1:1981-04 und DIN 4149-1/A1:1992-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Inhalt vollständig überarbeitet und umstrukturiert;
- b) Anpassung der Einwirkungs- und Bemessungskonzepte an europäische Entwicklungen;
- c) Neufassung der Erdbebenkarte;
- d) Anpassung der Konstruktionsregeln an den Entwicklungsstand der Bauarten.

Frühere Ausgaben

DIN 4149-1: 1981-04
DIN 4149-1/A1: 1992-12

1 Anwendungsbereich

- (1) Diese Norm gilt für Entwurf, Bemessung und Konstruktion baulicher Anlagen des üblichen Hochbaus aus Stahlbeton, Stahl, Holz oder Mauerwerk in deutschen Erdbebengebieten. Ziel der Norm ist, im Falle eines Erdbebens menschliches Leben zu schützen, Schäden zu begrenzen und sicherzustellen, dass für die öffentliche Sicherheit und Infrastruktur wichtige bauliche Anlagen funktionstüchtig bleiben.
- (2) Diese Norm gilt nicht für bauliche Anlagen und Teile baulicher Anlagen (z. B. kerntechnische Anlagen, chemische Anlagen usw.), von denen im Falle eines Erdbebens zusätzliche Gefahren ausgehen können.
- (3) Diese Norm ersetzt nicht die generell bei Entwurf, Planung und Bemessung baulicher Anlagen zu beachtenden Regelungen, sondern gilt in Erdbebengebieten zusätzlich.
- (4) Die nach dieser Norm von Erdbeben in stärkerem Maße betroffenen Gebiete Deutschlands werden in die Erdbebenzonen 1 bis 3 eingeteilt (siehe Bild 2). Der Grad der Erdbebengefährdung außerhalb der Erdbebenzonen 1 bis 3 ist als so gering einzuschätzen, dass diese Norm dort nicht angewendet werden muss.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN 1045-1:2001-07, *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton — Teil 1: Bemessung und Konstruktion*

DIN 1052:2004-08, *Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken — Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau*

DIN 1053-1:1996-11, *Mauerwerk — Teil 1: Berechnung und Ausführung*

DIN 1053-3:1990-02, *Mauerwerk — Teil 3: Bewehrtes Mauerwerk; Berechnung und Ausführung*

DIN 1053-4, *Mauerwerk — Teil 4: Fertigbauteile*

DIN 1054, *Baugrund — Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau*

DIN 1055-5, *Einwirkungen auf Tragwerke*

DIN 4014, *Bohrpfähle — Herstellung, Bemessung und Tragverhalten*

DIN 4084, *Baugrund — Gelände- und Böschungsbruchberechnungen*

DIN 18800-1, *Stahlbauten — Teil 1: Bemessung und Konstruktion*

DIN 18800-2, *Stahlbauten — Teil 2: Stabilitätsfälle — Knicken von Stäben und Stabwerken*

DIN 18800-3, *Stahlbauten — Teil 3: Stabilitätsfälle — Plattenbeulen*

DIN 18800-4, *Stahlbauten — Teil 4: Stabilitätsfälle — Schalenbeulen*

DIN V 18800-5, *Stahlbauten — Teil 5: Verbundtragwerke aus Stahl und Beton — Bemessung und Konstruktion*

DIN 18800-7, *Stahlbauten — Teil 7: Ausführung und Herstellerqualifikation*

DIN V ENV 1993-1-1, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau; Deutsche Fassung ENV 1993-1-1:2004*

DAST-Richtlinie 009, *Empfehlungen zur Wahl der Stahlgüte für geschweißte Stahlbauten*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Norm gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Verhaltensbeiwert

Beiwert, der bei der Bemessung zur Reduzierung der vereinfachend durch lineare Berechnung ermittelten Erdbebeneinwirkungen verwendet wird, um günstig wirkende dissipative Effekte abhängig von dem verwendeten Baustoff, dem Tragsystem und der konstruktiven Ausbildung zu berücksichtigen

3.2

Bedeutungsbeiwert

Bemessungsbeiwert zur Berücksichtigung der Bedeutung des Erhalts der Funktionsfähigkeit einer baulichen Anlage im Falle eines Erdbebens

3.3

Kapazitätsbemessungsverfahren

Bemessungsverfahren, bei dem vorbestimmte Teile des Tragsystems in geeigneter Weise für die Energiedissipation unter großen Verformungen bemessen und baulich durchgebildet werden, während für alle anderen tragenden Teile des Systems eine ausreichende Festigkeit vorzusehen ist, damit die gewählten Energiedissipationsmechanismen erhalten bleiben

3.4**dissipatives Tragwerk**

Tragwerk, das für den Lastfall Erdbeben unter Berücksichtigung seiner Fähigkeit zur Energiedissipation bemessen ist

3.5**dissipativer Bereich (auch kritischer Bereich)**

vorbestimmter entsprechend konstruktiv durchgebildeter Bereich eines Tragwerks, in dem hauptsächlich Energie dissipiert wird

3.6**nicht dissipatives Tragwerk**

Tragwerk, das für den Lastfall Erdbeben bemessen ist, ohne dabei ein mögliches dissipatives Verhalten zu berücksichtigen

3.7**Baugrund**

mit Baugrund im Sinne dieser Norm wird der seismisch relevante, oberflächennahe Untergrund bis zu einer Tiefe von etwa 20 m bezeichnet, wobei das Baugrundmaterial bis zu einer Tiefe von 3 m außer Betracht bleibt

3.8**geologischer Untergrund**

mit geologischem Untergrund im Sinne dieser Norm wird der Untergrund ab einer Tiefe von etwa 20 m bezeichnet

3.9**lokale Duktilität**

Fähigkeit eines Bauteils, durch örtliche plastische Verformung Energie zu dissipieren

3.10**globale Duktilität**

Fähigkeit einer Unterstruktur oder eines Bauwerks, durch Bildung plastischer Bereiche Energie zu dissipieren

3.11**Steifigkeitsmittelpunkt**

geht die Wirkungslinie einer Horizontalbelastung durch den Steifigkeitsmittelpunkt eines Geschossgrundrisses, so verdreht sich bei linearer Betrachtung der Geschossquerschnitt nicht um die vertikale Achse

ANMERKUNG In eingeschossigen Gebäuden ist der Steifigkeitsmittelpunkt der Schwerpunkt der horizontalen Steifigkeiten aller in horizontaler Richtung aussteifenden Bauteile. Bei mehrgeschossigen Gebäuden ist die Festlegung des Steifigkeitsmittelpunktes im Allgemeinen nur näherungsweise möglich.

3.12**Bemessungswert der Bodenbeschleunigung a_g**

Wert der Bodenbeschleunigung für die Ermittlung der anzusetzenden Erdbebeneinwirkungen. Diese Beschleunigung entspricht nicht einer Boden-Maximalbeschleunigung

3.13**Intensität**

Kennzahl für die Stärke der Bodenerschütterung bei Erdbeben anhand der Auswirkung auf Menschen und Objekte und an Hand des Ausmaßes der Gebäudeschäden vor Ort. Den in dieser Norm angegebenen Werten liegt die Europäische Makroseismische Skala (EMS) zugrunde

4 Entwurf und Bemessung

4.1 Grundlegende Anforderungen

(1) Bauliche Anlagen im Anwendungsbereich dieser Norm sind so zu bemessen und auszubilden, dass sie dem in Abschnitt 5 definierten Bemessungserdbeben widerstehen können und auch nach dem Beben über eine ausreichende Resttragfähigkeit verfügen. Nicht tragende Bauteile sind so auszubilden, dass sie im Falle eines Erdbebens keine Personen gefährden.

(2) Zur Berücksichtigung ihrer Bedeutung für den Schutz der Allgemeinheit bzw. der mit einem Einsturz verbundenen Folgen werden bauliche Anlagen in Kategorien eingeteilt. Diesen Bedeutungskategorien sind bei der Bemessung anzusetzende Bedeutungsbeiwerte zugeordnet.

(3) Um die grundlegenden Anforderungen nach Absatz (1) zu erfüllen, müssen für bauliche Anlagen in Erdbebengebieten im Allgemeinen besondere Bedingungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit (siehe 7.2) nachgewiesen werden.

(4) Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass im Erdbebenfall zyklische Baugrunddeformationen durch Scherwellen auftreten. Die Größenordnung der maximal zu erwartenden Eckverschiebungen eines Rechtecks der Kantenlänge 100 m beträgt d_g nach Gleichung (10). Besteht die Gefahr, dass durch diese zusätzlichen Deformationen frei aufliegende Bauteile (z. B. konsolgelagerte Fertigteilträger) von ihren Lagern rutschen, so sind diese im Anwendungsbereich dieser Norm stets mit einer wirksamen konstruktiven Lagesicherung zu versehen.

4.2 Empfehlungen für den Entwurf von baulichen Anlagen in Erdbebengebieten

Beim Entwurf von baulichen Anlagen in Erdbebengebieten sollten die folgenden Konstruktionsmerkmale beachtet werden:

- Einfachheit des Tragwerks, d. h. System mit eindeutigen und direkten Wegen für die Übertragung der Erdbebenkräfte;
- Wahl von aussteifenden Tragwerksteilen mit ähnlicher Steifigkeit und Tragfähigkeit in jeder der Hauptrichtungen;
- Vermeidung von Steifigkeitssprüngen zwischen übereinander liegenden Geschossen;
- Vermeidung unterschiedlicher Höhenlagen horizontal benachbarter Geschosse;
- Wahl von torsionssteifen Konstruktionen bei gleichzeitiger Vermeidung von Massenexzentrizitäten, die zu erhöhten Torsionsbeanspruchungen führen;
- Vermeidung imperfektionsempfindlicher und stabilitätsgefährdeter Konstruktionen sowie von Bauteilen, deren Standsicherheit schon bei kleinen Auflagerbewegungen gefährdet ist;
- Ausbildung der Geschossdecken als Scheiben zur Verteilung der horizontalen Trägheitskräfte auf die aussteifenden Elemente;
- Auswahl einer Gründungskonstruktion, die eine einheitliche Verschiebung der verschiedenen Gründungsteile bei Erdbebanregung sicherstellt;
- Wahl duktiler Konstruktionen mit der Fähigkeit zu möglichst großer Energiedissipation;
- Vermeidung großer Massen in oberen Geschossen;
- falls erforderlich, Aufteilung des Tragwerks mittels Fugen in dynamisch unabhängige Einheiten.

4.3 Regelmäßigkeit des Bauwerks

4.3.1 Allgemeines

(1) Bei den Nachweisen für den Lastfall Erdbeben wird zwischen regelmäßigen und unregelmäßigen Bauwerken unterschieden.

(2) Die Kriterien für die Regelmäßigkeit im Grundriss und im Aufriss sind in 4.3.2 und 4.3.3 aufgeführt; die Regeln für das zu wählende Tragwerksmodell sowie die erforderlichen Berechnungen können Abschnitt 6 entnommen werden, und die maßgebenden Verhaltensbeiwerte sind in den Abschnitten 8 bis 12 enthalten.

(3) Die Unterscheidung von regelmäßigen und unregelmäßigen Bauwerken beeinflusst die folgende Aspekte:

- das Tragwerksmodell, das entweder vereinfacht eben oder räumlich sein kann;
- das Berechnungsverfahren, das entweder das vereinfachte, auf die Berücksichtigung der Grundschiwingung beschränkte Verfahren oder das allgemeine Verfahren, unter Berücksichtigung mehrerer Schwingungsformen, sein kann;
- den Verhaltensbeiwert q , der in Abhängigkeit von der Art der Unregelmäßigkeit im Aufriss und dem Werkstoff nach 8.3.3.2.1 (3), 9.3.3.3 (5), 10.2 (5) und 11.7.3 (5) abgemindert wird.

(4) Die Auswirkungen der Regelmäßigkeit des Bauwerks auf die erforderlichen Nachweise sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1 — Auswirkungen der Regelmäßigkeit des Bauwerks auf die Erdbebenauslegung

Regelmäßig		Zulässige Vereinfachung		Verhaltensbeiwert
Grundriss	Aufriss	Modell	Berechnung	
Ja	Ja	eben	vereinfacht (Grundschiwingungsform) ^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 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 einfacheren Modelle und Berechnungsverfahren verwendet werden. ^c Maßgebender Verhaltensbeiwert nach den Abschnitten 8 bis 12.				

4.3.2 Kriterien für die Regelmäßigkeit im Grundriss

(1) Das Gebäude ist im Grundriss bezüglich der Horizontalsteifigkeit und der Massenverteilung um zwei zueinander senkrechte Achsen nahezu symmetrisch.

(2) Die Grundrissform des Gebäudes ist kompakt, d. h., sie weist keine gegliederten Formen wie z. B. die von H oder X auf.

(3) Rückspringende Ecken oder Nischen im Grundriss sind möglichst zu vermeiden oder in ihren Abmessungen zu begrenzen, damit das Aussteifungssystem nicht beeinträchtigt wird. Sind Rücksprünge vorhanden, darf trotzdem eine Regelmäßigkeit im Grundriss angenommen werden, vorausgesetzt, dass diese Rücksprünge die Steifigkeit der Decke in ihrer Ebene nicht beeinträchtigen und dass die Fläche zwischen dem Umriss des Stock-

werks und einem konvexen Polygon als Umhüllende des Stockwerks 5 % der Stockwerksfläche nicht überschreitet.

(4) Die Steifigkeit der Decken in ihrer Ebene muss im Vergleich zur Horizontalsteifigkeit der durch die Decke gekoppelten Stützen und Wände ausreichend groß sein, so dass sich die Verformung der Decke nur unwesentlich auf die Verteilung der horizontalen Kräfte auf die aussteifenden Bauteile auswirkt.

(5) Die einzelnen Geschosse müssen über einen ausreichenden Widerstand gegen Torsionswirkungen verfügen.

4.3.3 Kriterien für die Regelmäßigkeit im Aufriss

(1) Alle an der Aufnahme von Horizontallasten beteiligten Tragwerksteile (z. B. Kerne, tragende Wände oder Rahmen) verlaufen ohne Unterbrechung von ihren Gründungen bis zur Oberkante des Gebäudes.

(2) Sowohl die Horizontalsteifigkeit als auch die Masse der einzelnen Geschosse bleiben konstant oder verringern sich nur allmählich ohne große sprunghafte Veränderungen mit der Bauwerkshöhe.

(3) Bei Skelettbauten sollte das Verhältnis der tatsächlichen Geschossbeanspruchbarkeit zu der laut Berechnung erforderlichen Beanspruchbarkeit nicht stark zwischen benachbarten Geschossen schwanken.

(4) Wenn Rücksprünge vorhanden sind, gelten folgende zusätzliche Bedingungen:

- a) Für stufenweise verteilte Rücksprünge unter Wahrung der axialen Symmetrie ist der Rücksprung an jedem Stockwerk nicht größer als 20 % der früheren Grundrissabmessung in Richtung des Rücksprungs (siehe Bild 1a und Bild 1b).
- b) Für einen einzelnen Rücksprung innerhalb der unteren 15 % der Gesamthöhe des Haupttragsystems ist der Rücksprung nicht größer als 50 % der früheren Grundrissabmessung (siehe Bild 1c). In diesem Fall sollte das Tragwerk im unteren Bereich innerhalb der Vertikalprojektion des Umrisses der oberen Stockwerke derart bemessen werden, dass es mindestens 75 % der horizontalen Schubkräfte aufnehmen kann, die in diesem Bereich eines ähnlichen Gebäudes ohne Verbreiterung der Basis entstehen würden.
- c) Wenn die Rücksprünge die Symmetrie verletzen, darf in jeder Richtung die Summe der Rücksprünge von allen Stockwerken nicht größer als 30 % der Grundrissabmessung des Erdgeschosses, und die einzelnen Rücksprünge sind nicht größer als 10 % der früheren Grundrissabmessung sein (siehe Bild 1d).

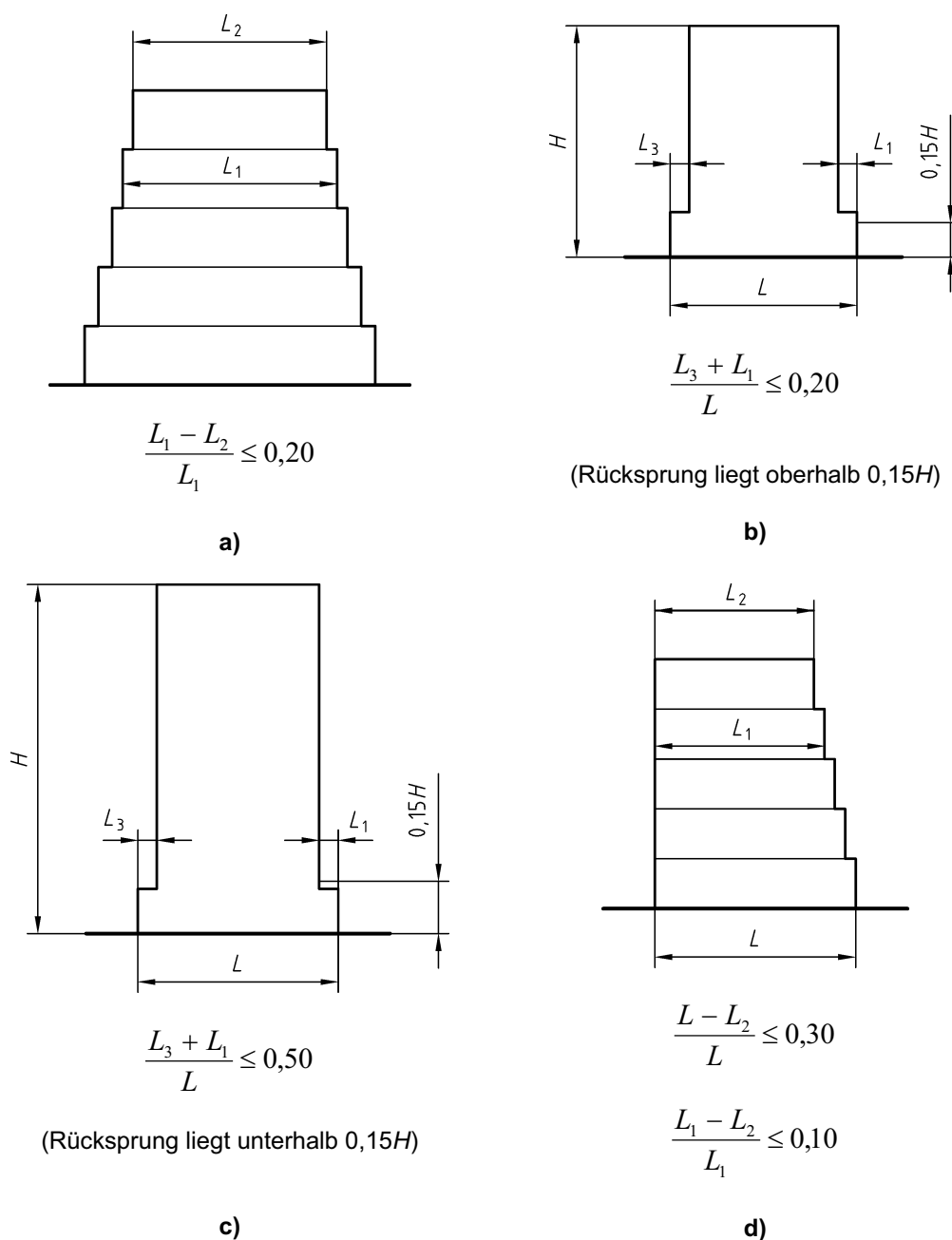


Bild 1 — Kriterien für die Regelmäßigkeit von Gebäuden mit Rücksprüngen

5 Erdbebeneinwirkung

5.1 Erdbebenzonen

(1) Die Erdbebenzonen der Bundesrepublik Deutschland sind in Bild 2 dargestellt. Nichttektonische seismische Ereignisse, z. B. in Bergbau- oder Erdfallgebieten, sind nicht Gegenstand dieser Darstellung.

(2) Den Erdbebenzonen werden auf der Grundlage berechneter Intensitäten in Tabelle 2 Intensitätsintervalle zugeordnet. Die Gefährdung innerhalb jeder Erdbebenzone wird als einheitlich angesehen – abgesehen von Variationen, die sich durch unterschiedliche Untergrundbedingungen ergeben.

(3) Die Referenz-Wiederkehrperiode, für die die Erdbebengefährdungskarte bzw. die daraus abgeleitete Erdbebenzonenkarte, siehe Bild 2, erstellt wurde, beträgt 475 Jahre; dem entspricht eine Wahrscheinlichkeit des Auftretens oder Überschreitens von 10 % innerhalb von 50 Jahren. Der Referenz-Wiederkehrperiode wird ein in 5.3 definierter Bedeutungsbeiwert γ_1 gleich 1,0 zugeordnet.

(4) Als zonenspezifischer Einwirkungsparameter gilt ein Bemessungswert der Bodenbeschleunigung a_g , der in Tabelle 2 den Erdbebenzonen zugeordnet ist und als Grundlage für den rechnerischen Erdbebennachweis anzusehen ist, sofern dieser erforderlich ist.

(5) Für die Zuordnung einzelner Kreise und Gemeinden zu den Erdbebenzonen ist ein Beiblatt zu dieser Norm in Vorbereitung.

Tabelle 2 — Zuordnung von Intensitätsintervallen und Bemessungswerten der Bodenbeschleunigung zu den Erdbebenzonen

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

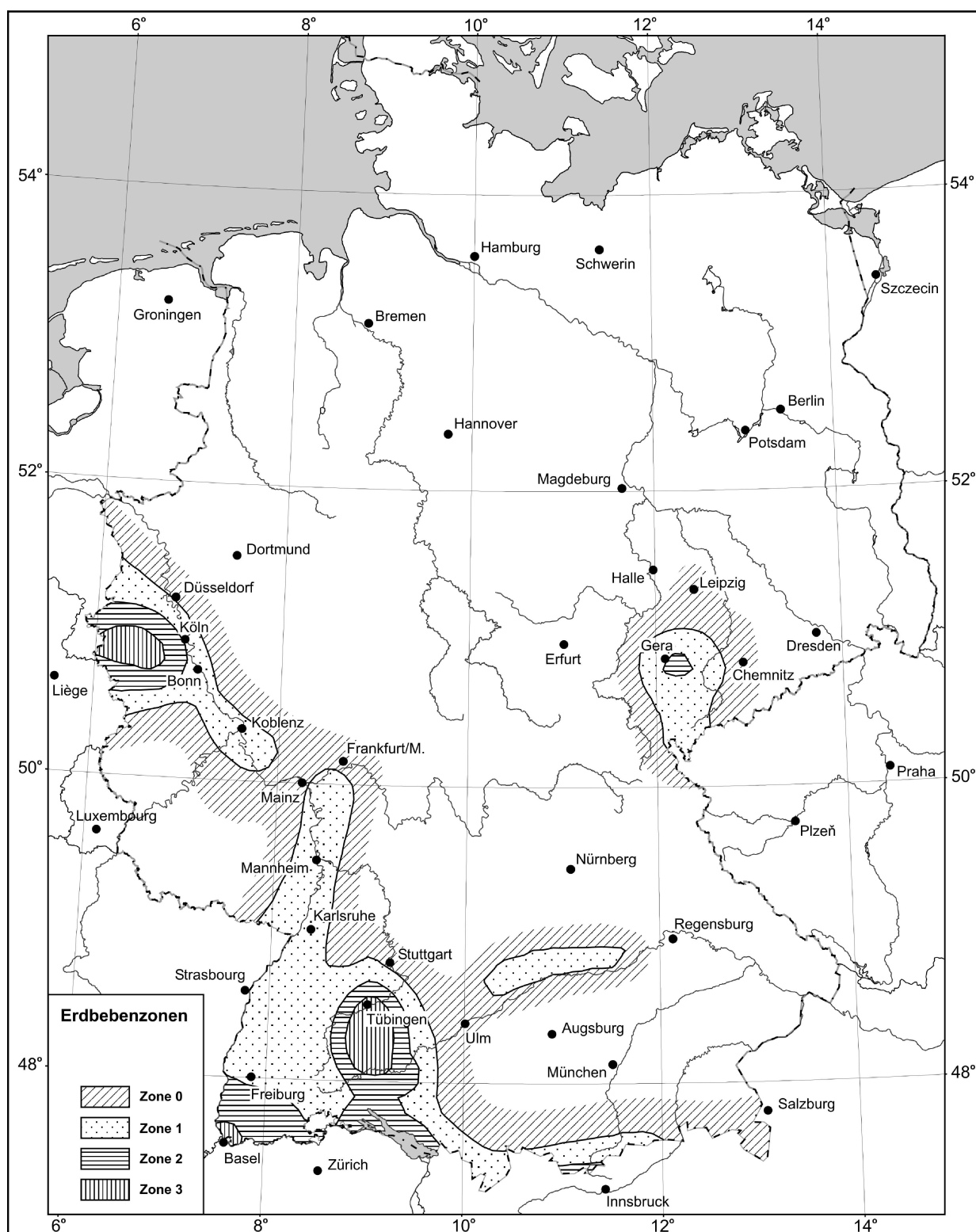


Bild 2 — Erdbebenzonen der Bundesrepublik Deutschland

5.2 Untergrundverhältnisse, Geologie und Baugrund

5.2.1 Allgemeines

(1) Der Einfluss der örtlichen Untergrundverhältnisse auf die Erdbebeneinwirkung ist generell durch eine Einstufung in eine der drei geologischen Untergrundklassen R, T, S (siehe 5.2.2) und in eine der drei Baugrundklassen A, B, C (siehe 5.2.3) zu berücksichtigen.

(2) Als Kombinationen von geologischem Untergrund und Baugrund können die Untergrundverhältnisse A-R, B-R, C-R, B-T, C-T, C-S vorkommen.

5.2.2 Geologische Untergrundklassen

(1) Es wird zwischen den folgenden geologischen Untergrundklassen (Begriff siehe 3.8) unterschieden:

— Untergrundklasse R

Gebiete mit felsartigem Gesteinsuntergrund.

— Untergrundklasse T

Übergangsbereiche zwischen den Gebieten der Untergrundklasse R und der Untergrundklasse S sowie Gebiete relativ flachgründiger Sedimentbecken.

— Untergrundklasse S

Gebiete tiefer Beckenstrukturen mit mächtiger Sedimentfüllung.

(2) Die geologischen Untergrundklassen in den Erdbebenzonen in Deutschland werden in Bild 3 gezeigt. Für die Zuordnung einzelner Kreise und Gemeinden zu den Untergrundklassen ist ein Beiblatt zu vorliegenden Norm in Vorbereitung.

5.2.3 Baugrundklassen

(1) Der Baugrundbegriff (siehe 3.7) wird nach folgenden Baugrundklassen unterschieden:

— Baugrundklasse A

Unverwitterte (bergfrische) Festgesteine mit hoher Festigkeit.

Dominierende Scherwellengeschwindigkeiten liegen höher als etwa 800 m/s.

— Baugrundklasse B

Mäßig verwitterte Festgesteine bzw. Festgesteine mit geringerer Festigkeit

oder

grobkörnige (rollige) bzw. gemischtkörnige Lockergesteine mit hohen Reibungseigenschaften in dichter Lagerung bzw. in fester Konsistenz (z. B. glazial vorbelastete Lockergesteine).

Dominierende Scherwellengeschwindigkeiten liegen etwa zwischen 350 m/s und 800 m/s.

— Baugrundklasse C

Stark bis völlig verwitterte Festgesteine

oder

grobkörnige (rollige) bzw. gemischtkörnige Lockergesteine in mitteldichter Lagerung bzw. in mindestens steifer Konsistenz

oder

feinkörnige (bindige) Lockergesteine in mindestens steifer Konsistenz.

Dominierende Scherwellengeschwindigkeiten liegen etwa zwischen 150 m/s und 350 m/s.

(2) Wenn sich der Baugrund nicht nach 5.2.3 (1) einordnen lässt, insbesondere wenn als Baugrund tiefgründig unverfestigte Ablagerungen in lockerer Lagerung (z. B. lockerer Sand) bzw. in weicher oder breiiger Konsistenz (z. B. Seeton, Schlick) vorhanden sind (dominierende Scherwellengeschwindigkeiten liegen unter 150 m/s), ist der Einfluss auf die Erdbebeneinwirkungen gesondert zu untersuchen und zu berücksichtigen.

(3) Der Bauwerksstandort und die Art des Untergrundes sollten im Allgemeinen keine Risiken bezüglich Grundbruch, Hangrutschung und Setzung infolge Bodenverflüssigung oder Bodenverdichtung bei Erdbeben bieten.

(4) Die Einstufung eines Standortes in die Baugrundklasse ist im Zweifelsfall durch weitergehende Untersuchungen zu bestimmen. Eine Einstufung kann entfallen, wenn ungünstige Baugrundverhältnisse nach 5.2.3 (2) ausgeschlossen werden können und die Erdbebeneinwirkung unter Annahme der Baugrundklasse C bestimmt wird.

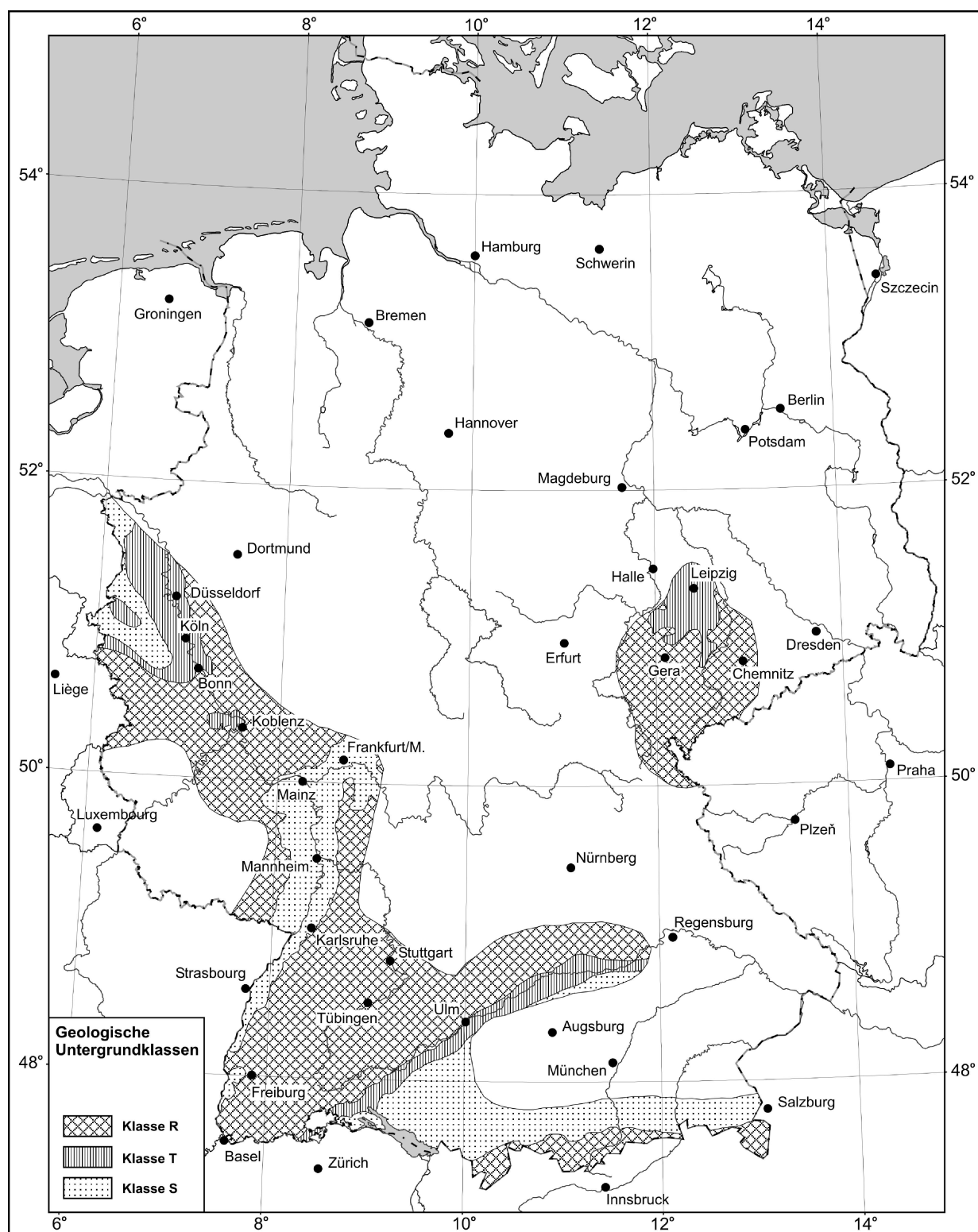


Bild 3 — Geologische Untergrundklassen in den Erdbebenzonen der Bundesrepublik Deutschland

5.3 Bedeutungskategorien und Bedeutungsbeiwerte

(1) Hochbauten sind entsprechend ihrer Bedeutung für den Schutz der Allgemeinheit bzw. der mit einem Einsturz verbundenen Folgen (z. B. Gefahr für Leib und Leben, Kulturgüter und Sachwerte) einer der vier Bedeutungskategorien nach Tabelle 3 zuzuordnen. Den Bedeutungskategorien werden verschiedene Bedeutungsbeiwerte γ_1 nach Tabelle 3 zugeordnet, die bei der Beschreibung der Erdbebeneinwirkung berücksichtigt werden.

Tabelle 3 — Bedeutungskategorien und Bedeutungsbeiwerte für Hochbauten

Bedeutungskategorie	Bauwerke	Bedeutungsbeiwert γ_1
I	Bauwerke von geringer Bedeutung für die öffentliche Sicherheit, z. B. landwirtschaftliche Bauten usw.	0,8
II	Gewöhnliche Bauten, die nicht zu den anderen Kategorien gehören, z. B. Wohngebäude	1,0
III	Bauwerke, deren Widerstandsfähigkeit gegen Erdbeben im Hinblick auf die mit einem Einsturz verbundenen Folgen wichtig ist, z. B. große Wohnanlagen, Verwaltungsgebäude, Schulen, Versammlungshallen, kulturelle Einrichtungen, Kaufhäuser usw.	1,2
IV	Bauwerke, deren Unversehrtheit im Erdbebenfall von Bedeutung für den Schutz der Allgemeinheit ist, z. B. Krankenhäuser, wichtige Einrichtungen des Katastrophenschutzes und der Sicherheitskräfte, Feuerwehrhäuser usw.	1,4

5.4 Regeldarstellung der Erdbebeneinwirkung

5.4.1 Allgemeines

(1) Die Erdbebeneinwirkung auf ein Bauwerk an einem bestimmten Punkt der Erdoberfläche kann durch ein elastisches Bodenbeschleunigungs-Antwortspektrum, im Folgenden „elastisches Antwortspektrum“ genannt, beschrieben werden (siehe 5.4.2). Das elastische Antwortspektrum beschreibt die Einwirkung auf Tragwerke, die bei Erdbebeneinwirkung im linear elastischen Bereich verbleiben, ohne dass Energie anders als durch viskose Dämpfung dissipiert wird. Dem Umstand, dass sich die von Erdbeben in Bauwerke eingetragene Energie zum Teil zusätzlich durch hysteretische Energiedissipation reduziert, wird in dieser Norm vereinfachend durch Abminderung der elastischen Antwortspektren auf das Niveau von Bemessungsspektren (siehe 5.4.3) Rechnung getragen.

(2) Um die Bedeutung eines Bauwerks für den Schutz der Allgemeinheit bzw. die mit einem Einsturz verbundenen Folgen berücksichtigen zu können, wird der Bedeutungsbeiwert γ_1 nach Tabelle 3 in die Antwortspektren nach 5.4.2 und 5.4.3 eingeführt.

(3) Zum Nachweis der horizontalen Erdbebeneinwirkung werden in der Regel zwei zueinander orthogonale Richtungen des Gebäudequerschnitts untersucht. Für beide Richtungen ist das gleiche elastische Antwortspektrum anzusetzen (siehe Tabelle 4).

(4) Die vertikale Komponente der Erdbebeneinwirkung kann ebenfalls durch das für die horizontale Einwirkung angegebene Antwortspektrum nach den Gleichungen (1) bis (4) bzw. (6) bis (9) beschrieben werden. Dabei ist

der Bemessungswert der Bodenbeschleunigung a_g nach Tabelle 2 mit dem Faktor 0,7 abzumindern. Die beschreibenden Parameter des vertikalen Antwortspektrums sind Tabelle 5 zu entnehmen.

5.4.2 Elastisches Antwortspektrum

(1) Das elastische Antwortspektrum $S_e(T)$ (siehe Bild 4) wird durch folgende Ausdrücke bestimmt:

$$T_A \leq T \leq T_B : \quad S_e(T) = a_g \cdot \gamma_I \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot \beta_0 - 1) \right] \quad (1)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : \quad S_e(T) = a_g \cdot \gamma_I \cdot S \cdot \eta \cdot \beta_0 \quad (2)$$

$$T_C \leq T \leq T_D : \quad S_e(T) = a_g \cdot \gamma_I \cdot S \cdot \eta \cdot \beta_0 \cdot \frac{T_C}{T} \quad (3)$$

$$T_D \leq T : \quad S_e(T) = a_g \cdot \gamma_I \cdot S \cdot \eta \cdot \beta_0 \cdot \frac{T_C T_D}{T^2} \quad (4)$$

Dabei ist

$S_e(T)$	die Ordinate des elastischen Antwortspektrums;
T	die Schwingungsdauer eines linearen Einmassenschwingers;
a_g	der Bemessungswert der Bodenbeschleunigung;
γ_I	Bedeutungsbeiwert nach Tabelle 3
β_0	der Verstärkungsbeiwert der Spektralbeschleunigung mit dem Referenzwert $\beta_0 = 2,5$ für 5 % viskose Dämpfung;
T_A, T_B, T_C, T_D	die Kontrollperioden des Antwortspektrums, mit $T_A = 0$; zur Darstellung im Frequenzbereich kann an Stelle der Periode 0 s die Frequenz 25 Hz gesetzt werden, mit konstantem S_e zu höheren Frequenzen;
S	der Untergrundparameter;
η	der Dämpfungs-Korrekturbeiwert mit dem Referenzwert $\eta = 1$ für 5 % viskose Dämpfung, siehe Absatz (3).

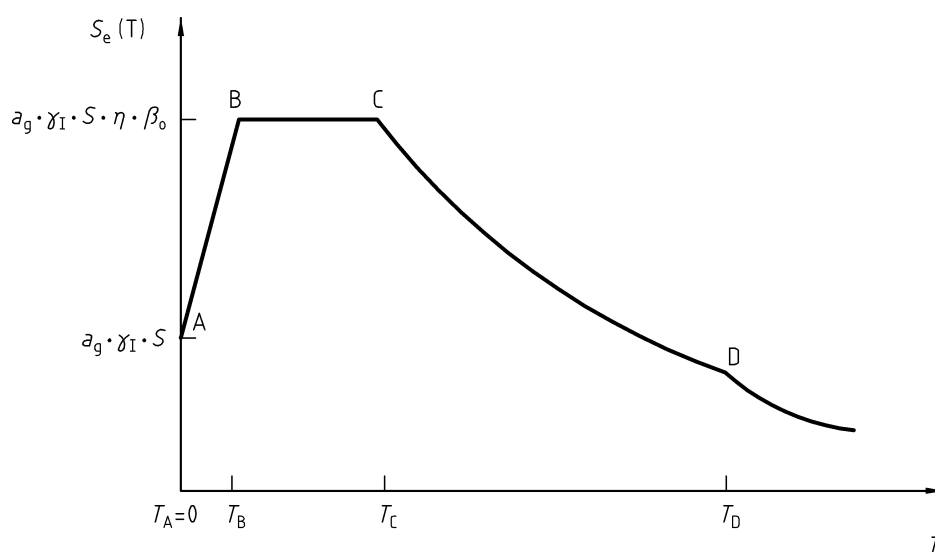


Bild 4 — Elastisches Antwortspektrum

(2) Der Einfluss der Untergrundverhältnisse auf das elastische Antwortspektrum wird für die horizontale Bodenbewegung durch die Wahl der Parameter nach Tabelle 4 und für die vertikale Bodenbewegung nach Tabelle 5 berücksichtigt.

Tabelle 4 — Werte der Parameter zur Beschreibung des elastischen horizontalen Antwortspektrums

Untergrundverhältnisse	S	T_B s	T_C s	T_D s
A-R	1,00	0,05	0,20	2,0
B-R	1,25	0,05	0,25	2,0
C-R	1,50	0,05	0,30	2,0
B-T	1,00	0,1	0,30	2,0
C-T	1,25	0,1	0,40	2,0
C-S	0,75	0,1	0,50	2,0

Tabelle 5 — Werte der Parameter zur Beschreibung des elastischen vertikalen Antwortspektrums

Untergrundverhältnisse	S	T_B s	T_C s	T_D s
A-R	1,00	0,05	0,20	2,0
B-R	1,25	0,05	0,20	2,0
C-R	1,50	0,05	0,20	2,0
B-T	1,00	0,1	0,20	2,0
C-T	1,25	0,1	0,20	2,0
C-S	0,75	0,1	0,20	2,0

(3) Der Wert des Dämpfungs-Korrekturbeiwerts η kann durch Gleichung (5) bestimmt werden.

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0,55 \quad (5)$$

Dabei ist

ξ der Wert der viskosen Dämpfung des Bauwerks in Prozent.

Falls für spezielle Untersuchungen eine andere viskose Dämpfung als 5 % verwendet werden soll, ist dieser Wert besonders zu begründen.

5.4.3 Bemessungsspektrum für lineare Berechnung

(1) Alle Bauwerke besitzen die mehr oder weniger ausgeprägte Fähigkeit, durch seismische Einwirkungen eingeleitete Energie durch hysteretische Energiedissipation abzubauen. Dies gestattet vereinfachend ihre Bemessung für Kräfte, die kleiner sind als diejenigen, die bei einer linearelastischen Reaktion ohne Energiedissipation auftreten würden.

(2) Um die günstig wirkenden dissipativen Effekte auch bei linearer Berechnung berücksichtigen zu können, wird das elastische Antwortspektrum durch den konstruktions- und bauartspezifischen Verhaltensbeiwert q abgemindert, der auch den Einfluss einer von 5 % abweichenden Dämpfung berücksichtigt.

(3) Das Bemessungsspektrum $S_d(T)$ wird durch die folgenden Ausdrücke bestimmt.

$$T_A \leq T \leq T_B: \quad S_d(T) = a_g \cdot \gamma_1 \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{\beta_0}{q} - 1 \right) \right] \quad (6)$$

$$T_B \leq T \leq T_C: \quad S_d(T) = a_g \cdot \gamma_1 \cdot S \cdot \frac{\beta_0}{q} \quad (7)$$

$$T_C \leq T \leq T_D: \quad S_d(T) = a_g \cdot \gamma_1 \cdot S \cdot \frac{\beta_0}{q} \cdot \frac{T_C}{T} \quad (8)$$

$$T_D \leq T: \quad S_d(T) = a_g \cdot \gamma_1 \cdot S \cdot \frac{\beta_0}{q} \cdot \frac{T_C T_D}{T^2} \quad (9)$$

Dabei ist

$S_d(T)$ die Ordinate des Bemessungsspektrums;

q der Verhaltensbeiwert (siehe Abschnitte 8 bis 12).

(4) Die Werte für die Parameter T_B , T_C , T_D und S sind in Tabelle 4 und Tabelle 5 angegeben.

(5) Das in Absatz (3) angegebene Bemessungsspektrum ist nicht geeignet für die Bemessung von Bauwerken mit Fundamentisolierungs- oder anderen Energiedissipations-Systemen.

5.4.4 Bodenverschiebung

(1) Die Bodenverschiebung d_g kann näherungsweise mit Hilfe der Gleichung (10) ermittelt werden.

$$d_g = 0,05 a_g \cdot \gamma_1 \cdot S \cdot T_C \cdot T_D \quad (10)$$

(2) Die Parameter a_g , γ_1 , S , T_C und T_D sind nach 5.1 und 5.4.2 zu bestimmen.

5.5 Kombinationen der Erdbebeneinwirkung mit anderen Einwirkungen

(1) Für die Ermittlung des Bemessungswerts E_{dAE} der Beanspruchungen gelten die Kombinationsregeln nach DIN 1055-100 für die Bemessungssituation Erdbeben.

(2) Der Bemessungswert einer Einwirkung infolge von Erdbeben A_{Ed} ist unter Berücksichtigung aller Vertikallasten, die in die folgende Kombination eingehen, zu ermitteln.

$$\sum G_{kj} \oplus \sum \psi_{Ei} \cdot Q_{ki} \quad (11)$$

Dabei ist

$\oplus$ „zu kombinieren mit“;

$\sum$ „die kombinierte Wirkung von“;

G_{kj} der charakteristische Wert der ständigen Einwirkung j ;

Q_{ki} der charakteristische Wert der veränderlichen Einwirkung i ;

ψ_{Ei} der Kombinationsbeiwert für die veränderliche Einwirkung i .

(3) Die Kombinationsbeiwerte ψ_{Ei} berücksichtigen die Wahrscheinlichkeit, dass die veränderlichen Lasten $\psi_{2i} \cdot Q_{ki}$ während des Erdbebens nicht in voller Größe vorhanden sind.

(4) Die Kombinationsbeiwerte ψ_{Ei} sind mit Hilfe des folgenden Ausdrucks zu berechnen:

$$\psi_{Ei} = \varphi \cdot \psi_{2i} \quad (12)$$

Dabei sind die Werte für φ Tabelle 6 und für ψ_{2i} DIN 1055-100 zu entnehmen.

Tabelle 6 — Beiwerte für φ zur Berechnung von ψ_{Ei}

Art der veränderlichen Einwirkung	Geschoss		φ
	Nutzung	Lage	
Nutzlasten und Verkehrslasten in Lagerräumen, Bibliotheken, Werkstätten und Fabriken mit schwerem Betrieb, Warenhäusern, Parkhäusern	—	—	1,0
Nutzlasten und Verkehrslasten in sonstigen Gebäuden (Wohnhäuser, Bürogebäude, Krankenhäuser usw.)	Alle Geschosse sind unabhängig voneinander genutzt	oberstes Geschoss	1,0
		andere Geschosse	0,5
	Mehrere Geschosse haben eine in Beziehung stehende Nutzung	oberstes Geschoss	1,0
		andere Geschosse	0,7

(5) Als charakteristische Werte der ständigen und veränderlichen Einwirkungen gelten die Werte der Normenreihe DIN 1055. Darüber hinausgehende wesentliche Lasten (z. B. der Reihe DIN 1055 nicht erfasste schwere Maschinenlasten) sind zu berücksichtigen.

6 Tragwerksberechnung

6.1 Modellabbildung

(1) Das Bauwerksmodell muss alle für das Verhalten unter Erdbebeneinwirkung wesentlichen Kenngrößen erfassen.

- (2) Für Bauwerke, die die Kriterien der Regelmäßigkeit nach 4.3.2 bzw. die Bedingungen nach 6.2.2.4.2 erfüllen, darf die Berechnung mittels zweier ebener Modelle, eines für jede Grundrisshaupttrichtung, erfolgen.
- (3) In Stahlbeton- und Mauerwerksbauten darf die Steifigkeit der tragenden Bauteile in der Regel unter Annahme von ungerissenen Querschnitten angesetzt werden¹⁾.
- (4) Nicht tragende Ausfachungen, die das Schwingungsverhalten des Tragwerks wesentlich beeinflussen, sind im Rechenmodell zu berücksichtigen.
- (5) Die Verformbarkeit des Baugrunds muss im Modell immer dann berücksichtigt werden, wenn sie das Verhalten des Tragwerks ungünstig beeinflussen kann.

6.2 Berechnungsverfahren

6.2.1 Allgemeines

- (1) Bei der Auslegung von Hochbauten gegen Erdbeben können die Erdbebeneinwirkungen und die anderen Einwirkungen, die nach den Kombinationsregeln in 5.5 zu berücksichtigen sind, auf der Grundlage eines linear-elastischen Verhaltens des Tragwerks bestimmt werden.
- (2) Das Referenzverfahren für die Bestimmung der Erdbebeneinwirkungen ist die Berechnung nach dem Antwortspektrenverfahren unter Berücksichtigung mehrerer Schwingungsformen für ein linear-elastisches Tragwerksmodell unter Verwendung des in 5.4.3 angegebenen Bemessungsspektrums.
- (3) In Abhängigkeit vom Tragwerk kann eines der beiden folgenden Berechnungsverfahren verwendet werden:
- Das „vereinfachte Antwortspektrenverfahren“ für Bauwerke, die die Bedingungen in 6.2.2 erfüllen,
 - das „Antwortspektrenverfahren unter Berücksichtigung mehrerer Schwingungsformen“, das für alle Arten von Bauwerken anwendbar ist (siehe 6.2.3).

6.2.2 Vereinfachtes Antwortspektrenverfahren

6.2.2.1 Allgemeines

- (1) Dieses Berechnungsverfahren kann bei Bauwerken angewandt werden, die sich durch zwei ebene Modelle darstellen lassen und deren Verhalten durch Beiträge höherer Schwingungsformen nicht wesentlich beeinflusst wird.
- (2) Diese Anforderungen werden als erfüllt erachtet bei Bauwerken,
- die die in 4.3.2 und 4.3.3 angegebenen Kriterien für die Regelmäßigkeit im Grundriss und im Aufriss erfüllen oder
 - die die in 4.3.3 angegebenen Kriterien für die Regelmäßigkeit im Aufriss erfüllen und eine symmetrische Verteilung von Horizontalsteifigkeit und Masse aufweisen
- und deren Grundschwingzeit in jeder der beiden betrachteten Ebenen die Bedingung

1) In Stahlbetonbauten kann diese Annahme zu auf der unsicheren Seite liegenden Ermittlungen der Verschiebungen führen, insbesondere wenn hohe Werte für den Verhaltensbeiwert q angenommen werden. In solchen Fällen und falls die Verschiebungen kritisch sind, kann hinsichtlich der Berechnung der Verschiebung nach 6.3 ein genauerer Ansatz der Steifigkeit der Bauteile unter Erdbebeneinwirkung erforderlich sein. Wenn keine genaueren Angaben vorliegen, sollte eine Steifigkeit von 50 % derjenigen des ungerissenen Querschnitts angenommen werden.

$$T_1 \leq 4 T_c \quad (13)$$

erfüllt, mit T_c nach Tabelle 4.

6.2.2.2 Gesamterdbebenkraft

(1) Die Gesamterdbebenkraft F_b für jede Hauptrichtung wird wie folgt bestimmt:

$$F_b = S_d(T_1) \cdot M \cdot \lambda \quad (14)$$

Dabei ist

- $S_d(T_1)$ die Ordinate des Bemessungsspektrums (siehe 5.4.3) bei Grundswingzeit T_1 ;
- T_1 die Grundswingzeit des Bauwerks für die Translationsbewegung in der betrachteten Richtung;
- M die Gesamtmasse des Bauwerks, die nach 5.5 (2) berechnet wurde;
- λ ein Korrekturfaktor mit dem Wert $\lambda = 0,85$ für $T_1 \leq 2 T_c$ für Gebäude mit mehr als 2 Geschossen und $\lambda = 1,0$ in allen anderen Fällen.

ANMERKUNG Der Beiwert λ berücksichtigt die Tatsache, dass in Gebäuden mit mindestens drei Stockwerken und Verschiebungsfreiheitsgraden in jeder horizontalen Richtung die effektive modale Masse der Grundeigenform durchschnittlich um 15 % kleiner ist als die gesamte Gebäudemasse.

(2) Zur Bestimmung der Grundswingzeiten T_1 der beiden ebenen Modelle eines Bauwerks dürfen vereinfachte Beziehungen der Dynamik angewendet werden.

6.2.2.3 Verteilung der horizontalen Erdbekräfte

(1) Die Grundswingungsformen der beiden ebenen Bauwerksmodelle können mittels baulastdynamischer Verfahren berechnet oder durch linear mit der Bauwerkshöhe anwachsende Horizontalverschiebungen angenähert werden.

(2) Die Schnittgrößen aus Erdbekeneinwirkung sind zu bestimmen, indem an den beiden ebenen Modellen horizontale Kräfte F_i an allen Geschossmassen m_i aufgebracht werden.

(3) Die Kräfte F_i werden wie folgt ermittelt

$$F_i = F_b \cdot \frac{s_i m_i}{\sum s_j m_j} \quad (15)$$

Dabei ist

- F_i die am Geschoss i angreifende Horizontalkraft;
- F_b die Gesamterdbebenkraft nach Gleichung (14);
- s_i, s_j die Verschiebungen der Massen m_i, m_j in der Grundswingungsform;
- m_i, m_j Geschossmassen, berechnet nach 5.5 (2).

Die Grundswingungsform darf auch durch linear mit der Bauwerkshöhe anwachsende Horizontalverschiebungen angenähert werden.

(4) Die nach Gleichung (15) bestimmten Horizontalkräfte F_i sind auf das System zur Abtragung von Horizontal-lasten unter der Annahme starrer Decken zu verteilen.

6.2.2.4 Torsionswirkung

6.2.2.4.1 Allgemeines

(1) Die Ermittlung der Torsionswirkung erfolgt an einem räumlichen Modell.

(2) Bei der Ermittlung der Torsionswirkung müssen nicht planmäßige Torsionswirkungen nach 6.2.2.4.3, die sich aus der nicht genauen Kenntnis bezüglich der Lage der Massen und der räumlichen Veränderlichkeit der Erdbewegungen ergeben, berücksichtigt werden.

(3) Kann es aus der Nutzung zu länger anhaltenden wesentlichen unsymmetrischen Belastungen kommen, z. B. bei einem über längere Zeit nur teilweise genutzten Lagergebäude, so sind die sich hieraus im Erdbebenfall ergebenden Torsionswirkungen bei den Nachweisen zu berücksichtigen.

(4) Werden die Kriterien der Regelmäßigkeit nach 4.2 erfüllt oder sind die Bedingungen nach 6.2.2.4.2 eingehalten, darf der Nachweis nach 6.2.2.4.2 geführt werden.

6.2.2.4.2 Vereinfachte Nachweise der Torsionswirkung

(1) Im Falle einer symmetrischen Verteilung von Horizontalsteifigkeit und Masse darf die nicht planmäßige Torsionswirkung durch Vergrößerung nach Gleichung (16) der Schnittgrößen, die an zwei nach den Hauptrichtungen ausgerichteten ebenen Modellen ermittelt wurden, berücksichtigt werden.

$$\delta = 1 + 0,6 \frac{x}{L_e} \quad (16)$$

Dabei ist

x der Abstand des betrachteten Bauteils zum Massenschwerpunkt des Bauwerks, gemessen senkrecht zur Richtung der betrachteten Erdbewegung;

L_e der Abstand zwischen den beiden äußersten Bauteilen, die Horizontallasten abtragen, gemessen wie zuvor.

(2) Für Hochbauten, die die Regelmäßigkeitskriterien im Grundriss nach 4.3.2 nicht erfüllen, darf die Berechnung nach den Annahmen in (6) bis (9) unter Verwendung zweier ebener nach den Hauptrichtungen ausgerichteter Modelle erfolgen.

(3) Folgende Bedingungen sind für die Berechnung nach (6) bis (9) zu beachten:

- a) Das Bauwerk besitzt gut verteilte und verhältnismäßig steife Außen- und Innenwände. Die Bauwerkshöhe beträgt nicht mehr als 10 m.
- b) Die Steifigkeit der Decken in ihrer Ebene ist im Vergleich zur Horizontalsteifigkeit der vertikalen Tragwerksteile genügend groß, so dass ein starres Verhalten der Deckenscheiben angenommen werden kann.
- c) Die Steifigkeitsmittelpunkte und Massenschwerpunkte der einzelnen Geschosse liegen jeweils näherungsweise auf einer vertikalen Geraden und es wird in jeder der beiden Berechnungsrichtungen die Bedingung $r^2 > l_s^2 + e_0^2$ erfüllt.

Dabei ist

- e_o der Abstand (die tatsächliche Exzentrizität) zwischen dem Massenschwerpunkt M und dem Steifigkeitsmittelpunkt S des Geschosses, gemessen in der senkrecht zur Berechnungsrichtung liegenden Richtung;
- r^2 das Quadrat des „Torsionsradius“, entspricht dem Verhältnis zwischen der Torsionssteifigkeit und der Horizontalsteifigkeit in der betrachteten Berechnungsrichtung;
- I_s^2 das Quadrat des „Trägheitsradius“, entspricht dem Quotienten aus dem Massenträgheitsmoment des Geschosses für Drehungen um die vertikale Achse durch seinen Massenschwerpunkt und der Geschossmasse. Bei gleichmäßig verteilter Masse entspricht dies auch dem Quotienten aus dem polarem Flächenträgheitsmoment des Grundrisses in Bezug auf seinen Flächenschwerpunkt und der Grundrissfläche. Für eine Rechteckfläche mit den Seitenlängen L und B (siehe Bild 5) ist $I_s^2 = (L^2 + B^2)/12$.

(4) Die in Absatz (3) gestellte Bedingung betreffend die Lage der Steifigkeitsmittelpunkte der einzelnen Geschosse auf einer vertikalen Geraden kann unter folgenden Voraussetzungen als erfüllt betrachtet werden:

- Alle Systeme zur Abtragung von Horizontallasten, wie Kerne, tragende Wände oder Rahmen, verlaufen ohne Unterbrechung von der Gründung bis zur Bauwerksoberkante.
- Die Biegelinien der einzelnen Aussteifungssysteme unter Horizontallast unterscheiden sich nicht wesentlich. Diese Voraussetzung darf bei Rahmensystemen und Wandsystemen als erfüllt betrachtet werden. Im Allgemeinen ist sie bei Mischsystemen aus Rahmen und Wänden nicht erfüllt.

(5) Unter den Voraussetzungen von Absatz (4) kann bei Rahmen und bei Systemen aus schlanken Wänden mit überwiegenden Biegeverformungen die gemeinsame Lage der Steifigkeitsmittelpunkte aller Geschosse als Schwerpunkt der Trägheitsmomente der jeweiligen Stützen- oder Wandquerschnitte bestimmt werden. Wenn zusätzlich zu den Biegeverformungen auch Schubverformungen von Bedeutung sind, kann dies durch Verwendung von äquivalenten Querschnittsträgheitsmomenten berücksichtigt werden. Sind die Trägheitsmomente der in der Berechnungsrichtung liegenden Aussteifungselemente I_j und diejenigen der senkrecht dazu liegenden Aussteifungselemente I_k , und sind ihre jeweiligen Abstände zum Steifigkeitsmittelpunkt r_j und r_k , so ist

$$r^2 = (\sum_j I_j r_j^2 + \sum_k I_k r_k^2) / \sum_j I_j \quad (17)$$

(6) Wenn für Hochbauten mit unsymmetrischer Verteilung von Horizontalsteifigkeit und Masse, die die Bedingungen nach Absatz (3) erfüllen, die Berechnung unter Verwendung von zwei Ebenen, nach den Hauptrichtungen ausgerichteten Modellen durchgeführt wird, können dynamische Torsionswirkungen berücksichtigt werden, indem entweder die Exzentrizität e_{1i} in Gleichung (24) verdoppelt wird oder indem bei Anwendung von Absatz (1) der Faktor 0,6 in Gleichung (16) auf 1,2 erhöht wird.

(7) Für Hochbauten, welche die in 4.3.2 angegebenen Kriterien für die Regelmäßigkeit im Grundriss nicht erfüllen, jedoch die Bedingungen a) bis c) nach Absatz (3) wenigstens teilweise erfüllen, kann eine Berechnung ebenfalls unter Verwendung von zwei Ebenen Modellen, eines für jede Hauptrichtung, nach den Absätzen (7) bis (9) erfolgen. Die Torsionswirkungen werden gesondert für diese beiden Richtungen bestimmt. Die Horizontalkräfte F_i sind nach 6.2.2.3 zu ermitteln.

(8) Für Hochbauten, die die Bedingungen a) und b) nach Absatz (3), nicht aber Bedingung c) erfüllen, darf eine Berechnung unter Verwendung von zwei Ebenen Modellen, eines für jede Hauptrichtung, nach Absatz (7) durchgeführt werden, jedoch sind in diesem Fall alle berechneten Beanspruchungsgrößen infolge Erdbebeneinwirkung mit 1,25 zu multiplizieren.

(9) Für Hochbauten, die die Bedingungen b) und c) nach Absatz (3), nicht jedoch Bedingung a) erfüllen, darf eine Berechnung unter Verwendung von zwei Ebenen Modellen, eines für jede Hauptrichtung, durchgeführt werden, jedoch ist in diesem Fall die Torsionsberechnung nach Absatz (11) zu führen.