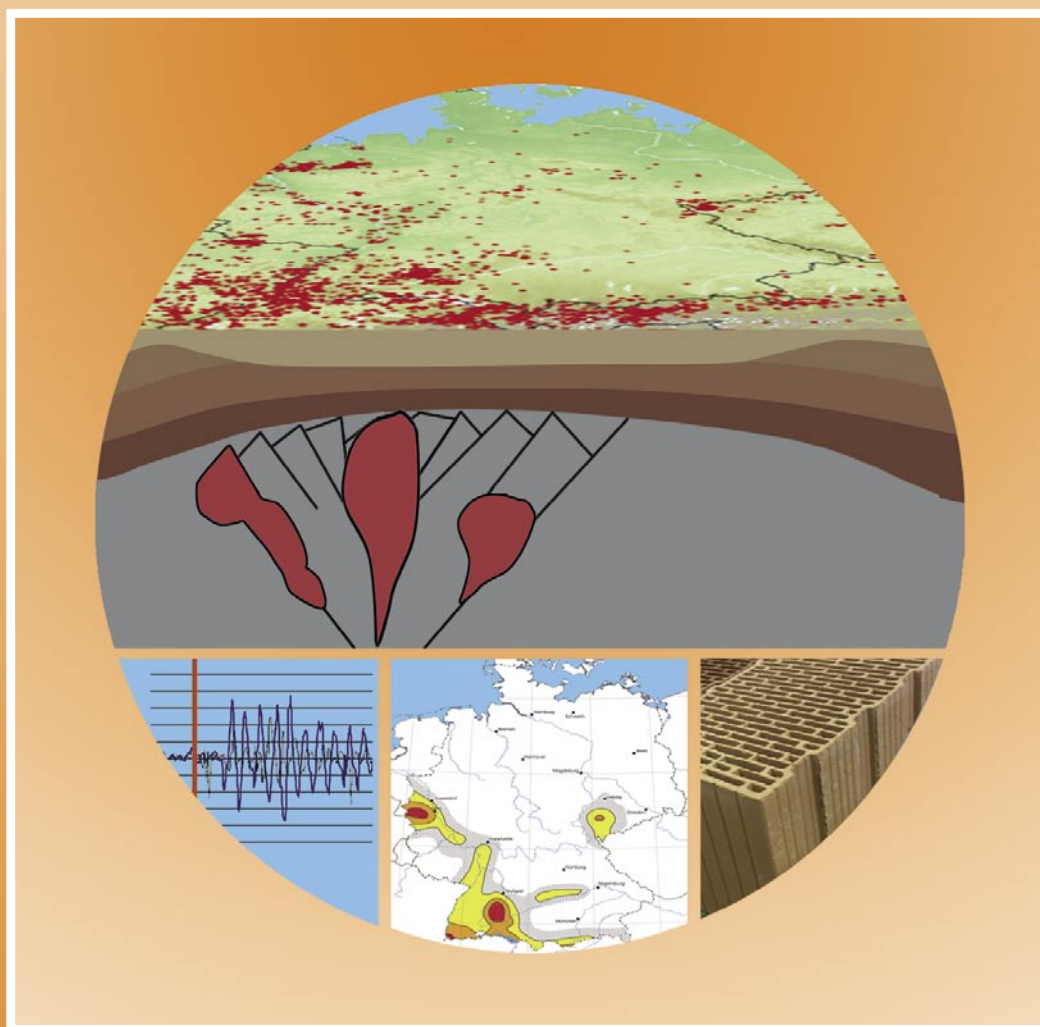


Erdbebensicherer Bauen mit Ziegelmauerwerk



ZIEGEL

Impressum

Herausgeber:
Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel
im Bundesverband der Deutschen
Ziegelindustrie e.V.
Schaumburg-Lippe-Straße 4
53113 Bonn

Verfasser:
Dr.-Ing. Udo Meyer

1. Ausgabe, März 2007

Alle Rechte vorbehalten.
Nachdruck, auch auszugsweise nur
mit ausdrücklicher Genehmigung von
©Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel
Bonn, 2007

Gestaltung und Satz:
Eva Weeger

Druck:
M. Brimberg
Druck und Verlag GmbH
Dresdener Straße 1
52068 Aachen

Erdbeben sind in der Bundesrepublik Deutschland eine sehr seltene Naturkatastrophe. Obwohl es in den letzten 100 Jahren keine Erdbeben mit gravierenden Personenschäden gab, sind Erdbeben dennoch auch in Deutschland ein nicht zu vernachlässigendes Risiko. In einigen Regionen müssen Erdbeben daher bei der Auslegung von baulichen Anlagen berücksichtigt werden.

Für übliche Hochbauten sind die Regeln für die Erdbebenbemessung in Deutschland in der DIN 4149:2005-04 [1] enthalten. Diese Norm wurde in den letzten Jahren überarbeitet und auf den neuesten Stand der Erkenntnisse gebracht. Sie liegt seit April 2005 als Weißdruck vor.

In Baden-Württemberg wurde die DIN 4149:2005-04 im Dezember 2005 als technische Baubestimmung bekannt gemacht und ist dort seitdem baurechtlich verbindlich. In Rheinland-Pfalz ist dies im Februar 2006, in Nordrhein-Westfalen und Hessen im Dezember 2006 erfolgt.

Die Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel informiert über die wesentlichen Regelungen der DIN 4149 für Hochbauten aus Mauerwerk. Dabei werden

- die Erdbeben- und Untergrundzonen,
- grundlegende Konstruktionsempfehlungen,
- die Anforderungen an die Mauerwerkbaustoffe,
- die Voraussetzungen für das Entfallen des rechnerischen Erdbebennachweises und
- die besonderen konstruktiven Regeln für Mauerwerkbauten

erläutert.

Diese konstruktiven Regeln wurden durch Vergleichsrechnungen mit nichtlinearen Berechnungsmethoden abgeleitet und ermöglichen daher in einigen Fällen wirtschaftlichere Bemessungsergebnisse als Berechnungen mit den in DIN 4149 zugelassenen linear-elastischen Methoden.

Diese Nachweismethode wird am Beispiel eines 6-Familienhauses in der Erdbebenzone 2 vorgeführt.

Ein Software-Tool zur vereinfachten Durchführung dieses Nachweises wurde unter Mitarbeit der Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel am Lehrstuhl für Baustatik und Baudynamik der RWTH Aachen erarbeitet. Dieses Tool steht unter www.ziegel.de sowie auf den Internetseiten der Mitglieder der Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel e.V. zum Download zur Verfügung.

2 DIN 4149 – Bemessung von Hochbauten in den deutschen Erdbebengebieten

2.1 Erdbebenzonen und Untergrundzonen

Auf der Grundlage umfangreicher statistischer Auswertungen historischen Datenmaterials wurde für die DIN 4149:2005-04 eine völlig neue Erdbebenzonenkarte erarbeitet, s. Bild 1. Diese Karte unterscheidet sich deutlich von den bisherigen Festlegungen in DIN 4149-1:1981.

Für die Definition des Bemessungserdbebens wurde, wie international üblich, eine 10prozentige Überschreitungswahrscheinlichkeit in 50 Jahren als Bemessungslastfall festgelegt. Dies bedeutet, dass das Bemessungserdbeben statistisch einmal in 475 Jahren auftritt.

Die Gebiete in Deutschland, in denen mit nennenswerten Bemessungserdbeben zu rechnen ist, sind je nach Gefährungsgrad in 4 Erdbebenzonen eingeteilt.

Die Regeln der DIN 4149 müssen nur in den Erdbebenzonen 1 bis 3 beachtet werden.

Es ist jedoch grundsätzlich sinnvoll, die grundlegenden konstruktiven Empfehlungen auch bei Projekten in der Erdbebenzone 0 zu berücksichtigen.

In der Tabelle 1 sind die in den deutschen Erdbebenzonen in diesem Fall zu erwartenden Erdbebenintensitäten I mit einer Beschreibung der zu erwartenden Schäden und dem zugehörigen Bemessungswert der Bodenbeschleunigung zusammengestellt.

Diese Schäden sind im Vergleich mit Bildern aus stark erdbebengefährdeten Regionen der Welt gering. Um mögliche Personen- und Gebäudeschäden zu begrenzen, sind entwurfstechnische Mindestanforderungen einzuhalten.

In sehr seltenen Fällen können allerdings auch in Mitteleuropa extrem starke Erdbeben auftreten. Das Beben 1356 in Basel hatte nach den überlieferten Schadensberichten vermutlich eine vergleichbare Stärke wie das Beben von Kobe/Japan im Jahr 1995.

Neben den erheblichen direkten Zerstörungen durch das Erdbeben, u. a. von Münster und Stadtmauer, wurden die verheerendsten Zerstörungen jedoch durch die nachfolgenden Brände im Stadtzentrum ausgelöst.

Tabelle 1: Erdbebenzonen mit zugehörigem Intensitätsintervall, Beschreibung zu erwartender Schäden und Bemessungswert der Bodenbeschleunigung

Erdbebenzone	Intensitätsintervall nach EMS-Skala	Zu erwartende Schäden	Bemessungswert der Bodenbeschleunigung
			a_g in m/s^2
0	$6 \leq I < 6,5$	Leichte Gebäudeschäden, vornehmlich an Häusern in schlechterem Zustand, feine Risse im Putz	Keine Berechnung erforderlich
1	$6,5 \leq I < 7$		0,4
2	$7 \leq I < 7,5$	Gebäudeschäden; die meisten Personen erschrecken und flüchten ins Freie; Risse im Putz, Spalten in Wänden und Schornsteinen	0,6
3	$7,5 \leq I$		0,8

2 DIN 4149 – Bemessung von Hochbauten in den deutschen Erdbebengebieten

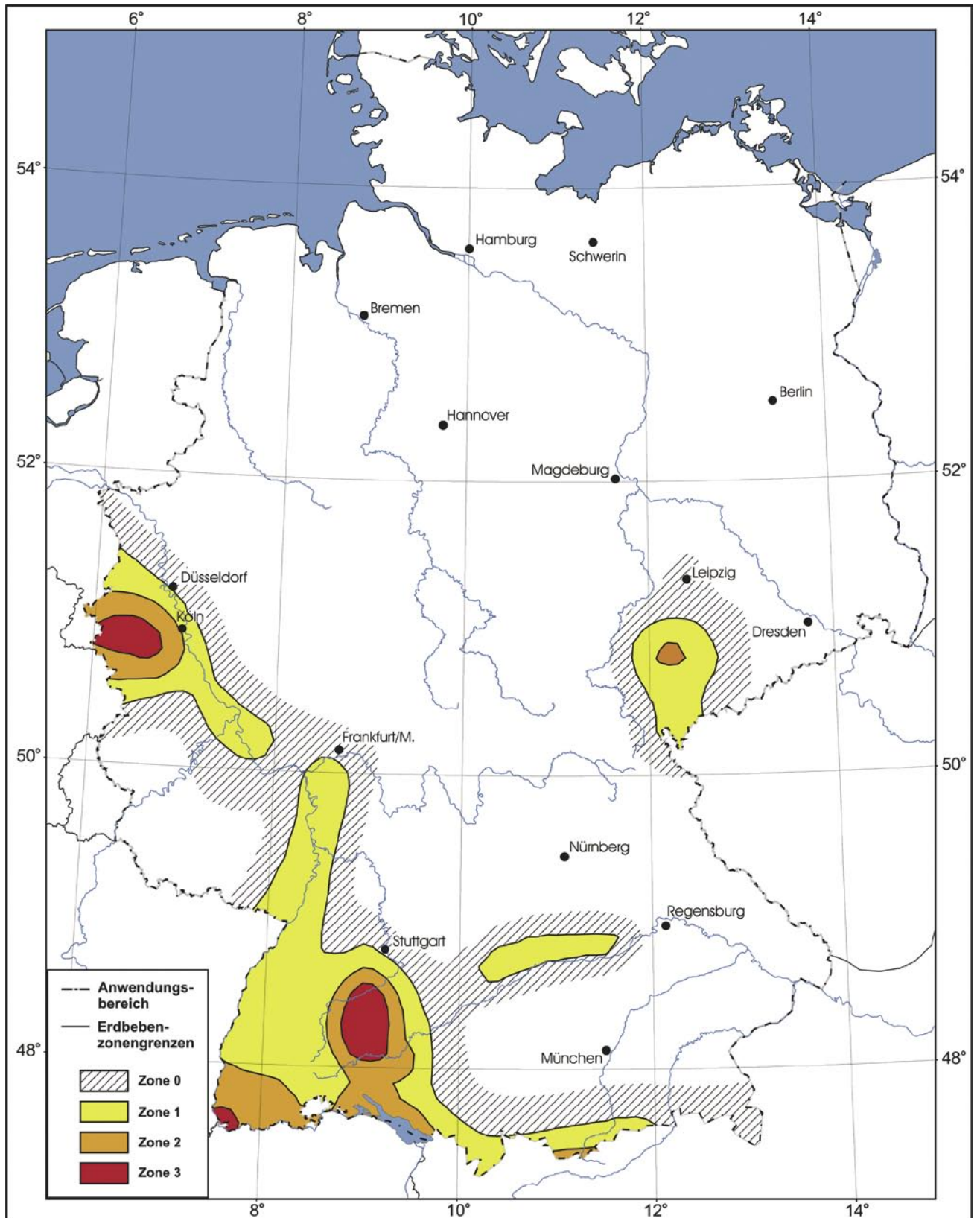


Bild 1: Erdbebenzonierungskarte für die DIN 4149 in der Fassung von 2005 [1, 2] auf der Grundlage der Einschätzung der Erdbebengefährdung der Bundesrepublik Deutschland [3, 4]

2 DIN 4149 – Bemessung von Hochbauten in den deutschen Erdbebengebieten

Neben der Erdbebenzone beeinflussen auch der Untergrund und der Baugrund das Verhalten eines Gebäudes bei einem Erdbeben. Diese beiden Parameter wurden für die Neufassung der DIN 4149 ausführlich untersucht und in die Norm mit aufgenommen.

Der geologische Untergrund (Bereich ab 20 m unterhalb der Geländeoberkante) wird nach DIN 4149 in die drei Klassen

- R (Gebiete mit felsartigem Gesteinsuntergrund),
- T (Gebiete relativ flachgründiger Sedimentbecken sowie Übergangsbereiche zwischen R und S) und
- S (Gebiete tiefer Beckenstrukturen mit mächtiger Sedimentbildung)

unterschieden.

Beim Baugrund (Bereich zwischen 3 und 20 m unter der Geländeoberkante) wird in DIN 4149 unterschieden zwischen unverwitterten (Klasse A), mäßig (Klasse B) und stark (Klasse C) verwitterten Festgesteinen.

Die zugeordneten Untergrundparameter S liegen zwischen $S = 1,5$ (Untergrund R mit Baugrundklasse C, z. B. in Tallagen der Mittelgebirge) und $S = 0,75$ (Untergrund S mit Baugrundklasse C, z. B. in Bereichen der niederrheinischen Bucht und des Oberrheingrabens), siehe Tabelle 2.

Die detaillierte bauordnungsrechtlich verbindliche Zuordnung von Verwaltungsbezirken zu Erdbebenzonen und Untergrundzonen erfolgt in Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen über Karten, die beim Geologischen Landesamt Baden-Württemberg und beim Geologischen Dienst Nordrhein-Westfalen bezogen werden können. Entsprechende Unterlagen werden in den übrigen betroffenen Bundesländern vorbereitet.

Baugrundinformationen müssen durch Vor-Ort-Untersuchungen gewonnen werden. Falls keine Baugrunduntersuchung vorliegt, ist für den Nachweis der ungünstigste Baugrund C nach DIN 4149, Abschnitt 5.2 anzusetzen.

Bei genauer Kenntnis des Baugrunds/Untergrunds kann in vielen Fällen eine wirtschaftlichere Auslegung von Gebäuden erfolgen.

2.2 Konstruktionsempfehlungen für Hochbauten in den deutschen Erdbebengebieten nach DIN 4149 – Abschnitt 4.2

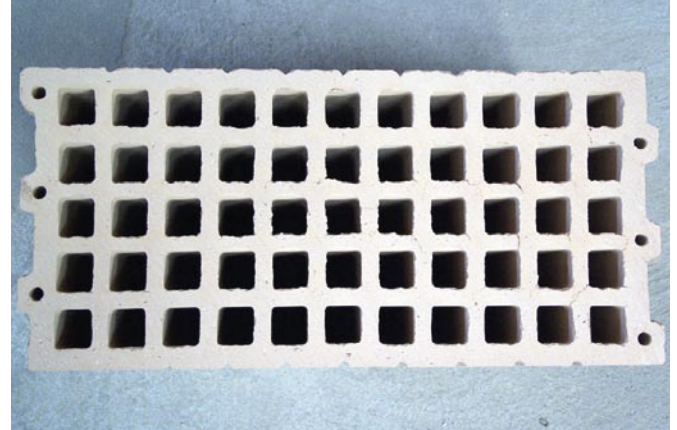
Die DIN 4149 enthält in Abschnitt 4.2 grundlegende Empfehlungen für Gebäude in den deutschen Erdbebenzonen. Bei Beachtung dieser Regeln kann für alle Bauarten der rechnerische Erdbebennachweis entfallen.

Insbesondere werden empfohlen:

- Wahl eines einfachen Tragwerks mit eindeutigen Wegen für die Übertragung von Erdbebenkräften,
- Vermeidung von Steifigkeitssprüngen zwischen Geschossen,
- Sicherstellung einer ausreichenden Torsionssteifigkeit im Grundriss,
- Vermeidung von „Halbgeschossen“ (unterschiedliche Höhenlage von benachbarten Geschossen),
- Ausbildung der Geschossdecken als Scheiben,
- Sicherstellung einer einheitlichen Verschiebung der Gründung bei Erdbebenbeanspruchung,
- Vermeidung großer Massen in oberen Geschossen.

Alle diese Regeln sind bei Wohngebäuden aus Ziegelmauerwerk problemlos zu berücksichtigen.

2 DIN 4149 – Bemessung von Hochbauten in den deutschen Erdbebengebieten



Bilder 2/3: Beispiele für Hochlochziegel mit in Wandlängsrichtung durchgehenden Innenstegen für Außen- und Innenwände

2.3 Anforderungen an Mauerwerkbaustoffe für die Verwendung in den deutschen Erdbebengebieten

Es dürfen grundsätzlich alle Mauersteine und Mauermörtel für Mauerwerk nach DIN 1053-1 in den deutschen Erdbebengebieten verwendet werden, also auch alle bauaufsichtlich zugelassenen Hochlochziegel.

In den Erdbebenzonen 2 und 3 müssen Mauersteine entweder in Wandlängsrichtung durchgehende Stege haben, s. Bilder 2/3, oder eine Längsdruckfestigkeit von mindestens $2,5 \text{ N/mm}^2$ aufweisen.

Mauersteine der Festigkeitsklasse 2 dürfen ohne rechnerischen Nachweis der Erdbebensicherheit nur verwendet werden, wenn mindestens 50 % der erforderlichen Schubwandquerschnittsflächen nach Tabelle 5 dieser Broschüre aus Steinen der Festigkeitsklasse 4 bestehen.

Zusätzliche Anforderungen an die Ausführung der Stoßfugen bestehen nicht, da das Modell für die Schubbemessung nach DIN 1053 keine Kraftübertragung in den Stoßfugen berücksichtigt. In allen Erdbebenzonen darf daher auch Mauerwerk mit unvermörtelten Stoßfugen verwendet werden, wenn die übrigen Randbedingungen der Norm eingehalten werden.

Tabelle 2: Untergrundparameter S nach DIN 4149, Tabelle 4

Untergrund (tief)		Baugrund (3 bis 20 m unter GOK)		
		A	B	C
		Unverwitterte	Mäßig verwitterte	Stark verwitterte
		Festgesteine		
R	Rock	1,00	1,25	1,50
T	Transition	nicht zutreffend	1,00	1,25
S	Sediment	nicht zutreffend		0,75
Beispiele:		C-R	Täler der Mittelgebirge	
		C-S	Oberrheingraben	

2 DIN 4149 – Bemessung von Hochbauten in den deutschen Erdbebengebieten

Tabelle 3: Bedeutungskategorie und zulässige Anzahl der Vollgeschosse für Gebäude ohne rechnerischen Standsicherheitsnachweis

Erdbebenzone	Bedeutungskategorie	Maximale Anzahl von Vollgeschossen
0	Keine Einschränkung	Keine Anforderung
1	I bis III	4
2	I und II	3
3	I und II	2

Tabelle 4: Bedeutungskategorien und Bedeutungsbeiwerte der DIN 4149

Bedeutungskategorie	Bauwerke	Bedeutungsbeiwert γ_1
I	Bauwerke von geringer Bedeutung für die öffentliche Sicherheit, z. B. landwirtschaftliche Bauten	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 während des Erdbebens von Bedeutung für den Schutz der Allgemeinheit ist, z. B. Krankenhäuser, wichtige Einrichtungen des Katastrophenschutzes und der Sicherheitskräfte, Feuerwehrhäuser usw.	1,4

2.4 Voraussetzungen für das Entfallen des rechnerischen Nachweises im Grenz-zustand der Tragfähigkeit für den Lastfall Erdbeben

Die DIN 4149 definiert im Abschnitt 7.1 Randbedingungen, bei denen ein rechnerischer Nachweis der Standsicherheit für den Lastfall Erdbeben für alle Bauarten entfallen kann. Diese Regeln sind nachfolgend zusammengestellt.

1. Eine wesentliche Anforderung ist dabei die Begrenzung der Anzahl der Vollgeschosse, die nach Erdbebenzonen differenziert ist, s. Tabelle 3.

Das oberste Geschoss gilt nach DIN 4149, Abschnitt 7.1 (4) dann nicht als Vollgeschoss, wenn

die zu berücksichtigenden Massen aus Eigen-gewicht und Verkehrslasten maximal 50 % der Werte des darunter liegenden Geschosses betragen.

Die Bedeutungskategorien (bisher Gebäude-klassen) sind in Tabelle 4 zusammengestellt.

2. Die Auslegungsregeln nach DIN 4149, Abschnitt 4.2 sind einzuhalten, s. Abschnitt 2.2 dieser Broschüre.

3. Die maximale Geschosshöhe beträgt 3,50 m.

4. Für Mauerwerksbauten sind die in DIN 4149, Ab-schnitt 11.6, angegebenen konstruktiven Regeln zu beachten, s. Abschnitt 2.5 dieser Broschüre.

2 DIN 4149 – Bemessung von Hochbauten in den deutschen Erdbebengebieten

Tabelle 5: Mindestanforderungen an aussteifende Wände (Schubwände) aus Mauerwerk nach DIN 4149

Erdbebenzone	Schlankheit h_k/t	Wanddicke t	Wandlänge l
		mm	
0	Keine Anforderung		
1	Nach DIN 1053-1		≥ 740
2	≤ 18	≥ 150 ¹⁾	≥ 980
3	≤ 15	≥ 175	≥ 980

h_k Knicklänge nach DIN 1053-1

¹⁾ Wände der Wanddicke ≥ 115 mm dürfen zusätzlich berücksichtigt werden, wenn die Schlankheit $h_k/t \leq 15$ ist

2.5 Konstruktive Regeln für Mauerwerksbauten nach DIN 4149, Abschnitt 11.6

Abschnitt 11.6 der DIN 4149 enthält einige über Abschnitt 4.2 hinaus gehende Anforderungen, bei deren Einhaltung auf einen rechnerischen Erdbebenachweis verzichtet werden darf.

1. Das Gebäude muss kompakt und annähernd rechteckig sein, das Verhältnis Gebäudebreite/ Gebäudelänge muss größer als 0,25 sein. Dies gilt auch für durch erdbebengerechte Fugen getrennte Gebäudeabschnitte.

Bei Reihenhaustrennwänden gilt ein Abstand von mindestens 40 mm nach DIN 4149, Abschnitt 7.2.6 (3) als erdbebengerecht.

2. Aussteifende Wände müssen den überwiegenden Teil der vertikalen Lasten tragen und über die gesamte Gebäudehöhe durchgehen. In Dachgeschossen darf die Aussteifung auch über andere geeignete Maßnahmen sichergestellt werden.

3. Das Gebäude muss in beiden Hauptrichtungen durch genügend lange Wände ausreichend ausgesteift werden. Die DIN 4149 enthält hierzu die Tabelle 15, in der auf die Grundrissfläche bezogene erforderliche Wandquerschnittsflächen angegeben sind.

Für die Ermittlung dieser Wandquerschnittsflächen dürfen nur solche Wände angesetzt werden, die den Anforderungen der Tabelle 5 bezüglich der Schlankheit, Mindestdicke und -länge von Schubwänden genügen.

Diese Tabellenwerte wurden im Zuge der Normenarbeit durch Vergleichsrechnungen mit nichtlinearen Bemessungsverfahren abgeleitet.

4. Zusätzlich müssen in jeder Gebäuderichtung mindestens zwei Schubwände mit mindestens 1,99 m Länge angeordnet werden, da dies eine der Randbedingungen für die Vergleichsrechnungen war.

3 Beispiel eines Nachweises der Erdbebensicherheit eines 3-geschossigen Mehrfamilienhauses in der Erdbebenzone 2 mit konstruktiven Regeln

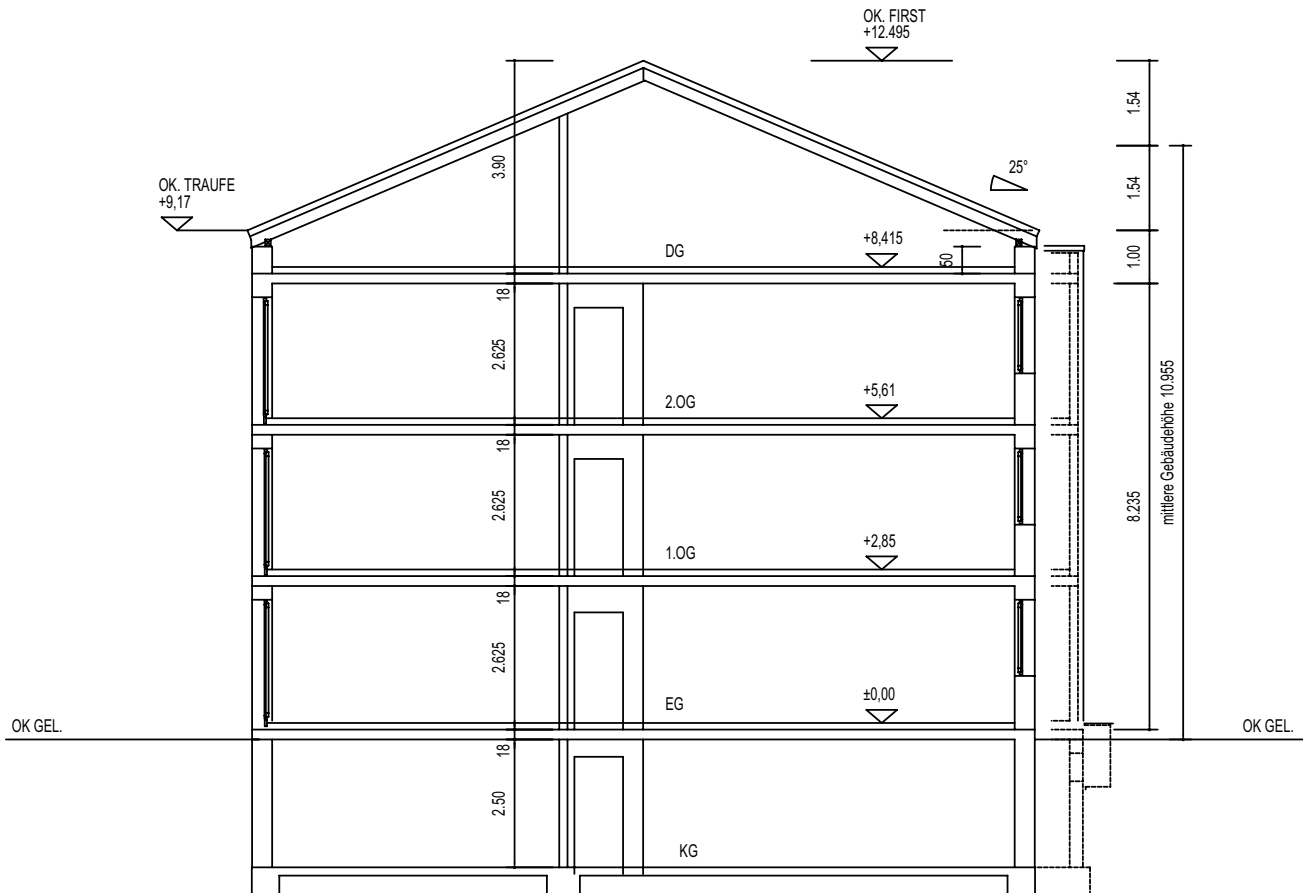


Bild 4: Schnitt durch das Mehrfamilienhaus

Nachfolgend wird der Nachweis der Erdbebensicherheit für ein ein dreigeschossiges unterkellertes Mehrfamilienhaus mit einem Walmdach geführt.

Die Dachkonstruktion wird in Holzbauweise erstellt. Alle Geschosse werden aus Mauerwerk erstellt. Die Geschossdecken wirken als aussteifende Deckenscheiben.

Für die verputzten, einschaligen Außenwände werden wärmedämmende Hochlochziegel und Leichtmauermörtel verwendet.

Als Wandbaustoffe für die Zwischenwände und nichttragenden Wände werden Hochlochziegel eingesetzt. Diese werden ebenso wie die Kelleraußenwände mit Normalmauermörtel verarbeitet.

Die Wandstöße werden in Stumpfstoßtechnik mit Flachblechankern ausgeführt.

Die Trennwände zum Treppenhaus werden aus Schallschutzziegeln erstellt. Dieses gilt ebenso für die Trennwände zwischen den Wohneinheiten.

Die Geschossdecken weisen eine Dicke von 180 mm auf. Diese Decken liegen mit einer Auflagertiefe von 180 mm auf den Außenwänden auf, sodass eine Abmauerung auf der Wandaußenseite mit zusätzlicher Wärmedämmung eingebaut werden kann.

Im Bereich der Deckenaufleger wird auf der Unterseite und auf der Oberseite eine besandete Bitumendachbahn nach DIN 52128-R500 verwendet.

3 Beispiel eines Nachweises der Erdbebensicherheit eines 3-geschossigen Mehrfamilienhauses in der Erdbebenzone 2 mit konstruktiven Regeln

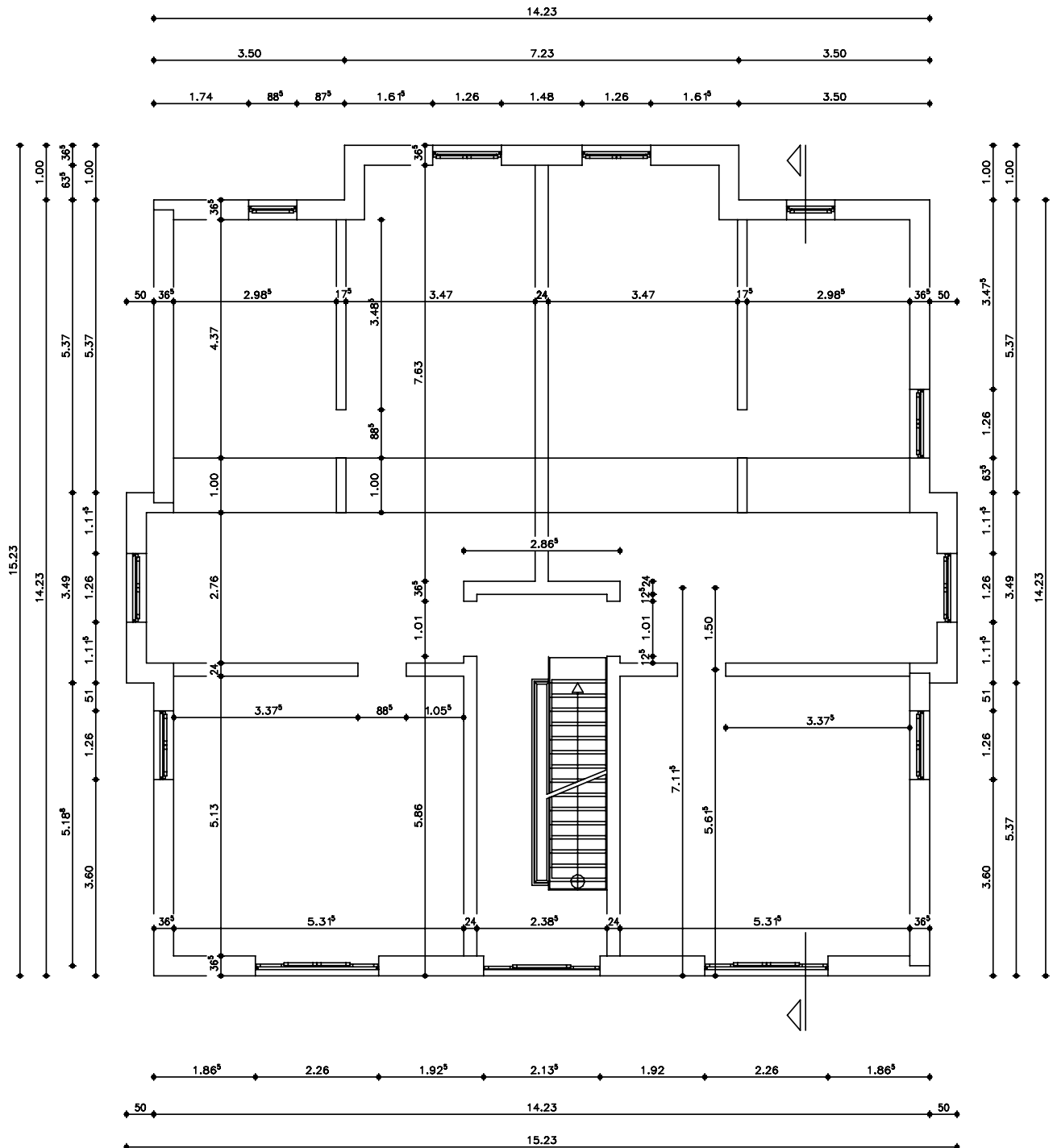


Bild 5: Grundriss des Mehrfamilienhauses

3 Beispiel eines Nachweises der Erdbebensicherheit eines 3-geschossigen Mehrfamilienhauses in der Erdbebenzone 2 mit konstruktiven Regeln

Tabelle 6: Mindestanforderungen an die auf die Geschossgrundrissfläche bezogene Querschnittsfläche von Schubwänden je Gebäuderichtung nach DIN 4149

Anzahl der Vollgeschosse	$a_g \cdot S \cdot \gamma_l$ $\leq 0,06 \text{ g} \cdot \text{k}^1)$			$a_g \cdot S \cdot \gamma_l$ $\leq 0,09 \text{ g} \cdot \text{k}^1)$			$a_g \cdot S \cdot \gamma_l$ $\leq 0,12 \text{ g} \cdot \text{k}^1)$		
	Steifigkeitsklasse nach DIN 1053-1 ^{2),3)}								
	4	6	≥ 12	4	6	≥ 12	4	6	≥ 12
1	0,02	0,02	0,02	0,03	0,025	0,02	0,04	0,03	0,02
2	0,035	0,03	0,02	0,055	0,045	0,03	0,08	0,05	0,04
3	0,065	0,04	0,03	0,08	0,065	0,05	Kein vereinfachter Nachweis zulässig (KvNz)		
4	KvNz	0,05	0,04	KvNz					

1) Für Gebäude, bei denen mindestens 70 % der betrachteten Schubwände in einer Richtung länger als 2 m sind, beträgt der Beiwert $k = 1 + (l_{ay} - 2)/4 \leq 2$. Dabei ist l_{ay} die mittlere Wandlänge der betrachteten Schubwände in m. In allen anderen Fällen beträgt $k = 1$. γ_l nach Abschnitt 5.3.

2) Bei Verwendung unterschiedlicher Steifigkeitsklassen z. B. für Innen- und Außenwände sind die Anforderungswerte im Verhältnis der Flächenanteile der jeweiligen Steifigkeitsklasse zu wichten.

3) Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.

Das zu untersuchende dreigeschossige Mehrfamilienhaus, s. Bilder 4 und 5, wurde in [5] ausführlich vorgestellt und nach DIN 1053-100 bemessen.

Der Standort liegt in der Erdbebenzone 2 mit Untergrundklasse S. In dieser Untergrundzone kann nur die Baugrundklasse C vorkommen, so dass der Untergrundparameter S nach DIN 4149, Abschnitt 5.4.2, Tabelle 4, $S = 0,75$ beträgt.

Der Bemessungswert $a_g \cdot S \cdot \gamma_l$ beträgt somit

$$0,6 \times 0,75 \times 1,0 = 0,45 < 0,06 \cdot g = 0,6.$$

Die Anforderungen der DIN 4149 an die erforderlichen Aussteifungsflächen sind in der Tabelle 6 zusammengestellt.

Die Flächen der ansetzbaren aussteifenden Wände sind in Tabelle 7 zusammengestellt.

Tabelle 7: Zusammenstellung der Aussteifungsflächen für den vereinfachten Nachweis nach DIN 4149, Abschnitt 11.6

Wandart	Wanddicke mm	Gebäuderichtung x	Gebäuderichtung y
		m ²	
Innenwände, Ziegelfestigkeitsklasse 12	240	2,81 (u. a. 2 x 3,375 m)	4,64 (u. a. 2 x 5,86 m)
	175	—	1,57
Außenwände, Ziegelfestigkeitsklasse 8	365	6,59	8,84

3 Beispiel eines Nachweises der Erdbebensicherheit eines 3-geschossigen Mehrfamilienhauses in der Erdbebenzone 2 mit konstruktiven Regeln

Die erforderlichen Aussteifungsflächen werden nach DIN 4149 entsprechend der Flächenanteile der verwendeten Ziegel-Festigkeitsklassen für beide Richtungen gewichtet.

Gebäuderichtung x

Die vorhandene Aussteifungsfläche in x-Richtung

$$\text{vorh. } A_x = 2,81 + 6,59 = 9,4 \text{ m}^2$$

entspricht 4,5 % der Geschossgrundfläche von 209,2 m².

Anteil Festigkeitsklasse 8	70 %
erforderliche Querschnittsfläche	4 %
Anteil Festigkeitsklasse 12	30 %
erforderliche Querschnittsfläche	3 %

Die erforderliche Aussteifungsfläche erf. A_x in x-Richtung beträgt damit:

$$\text{erf. } A_x = 0,70 \cdot 0,04 + 0,30 \cdot 0,03 = 0,037 = 3,7 \%$$

Die vorhandene Aussteifungsfläche in x-Richtung von 4,5 % ist größer als die erforderliche Fläche von 3,7 %.

Das Kriterium für einen Verzicht auf den rechnerischen Nachweis der Erdbebensicherheit ist damit in Gebäuderichtung x eingehalten.

Gebäuderichtung y

Die vorhandene Aussteifungsfläche in y-Richtung

$$\text{vorh. } A_y = 4,64 + 1,57 + 8,84 = 15,1 \text{ m}^2$$

entspricht 7,2 % der Geschossgrundfläche von 209,2 m².

Anteil Festigkeitsklasse 8	58,7 %
erforderliche Querschnittsfläche	4 %
Anteil Festigkeitsklasse 12	41,3 %
erforderliche Querschnittsfläche	3 %

Die erforderliche Aussteifungsfläche erf. A_y in y-Richtung beträgt damit:

$$\text{erf. } A_y = 0,587 \cdot 0,04 + 0,413 \cdot 0,03 = 0,036 = 3,6 \%$$

Die vorhandene Aussteifungsfläche in y-Richtung von 7,2 % ist größer als die erforderliche Fläche von 3,6 %.

Das Kriterium für einen Verzicht auf den rechnerischen Nachweis der Erdbebensicherheit ist damit in Gebäuderichtung y eingehalten.

In der Tabelle 8 sind die weiteren wesentlichen Kriterien der DIN 4149 zusammengestellt.

Das Gebäude entspricht allen Anforderungen der DIN 4149 für einen Nachweis der Standsicherheit durch die Einhaltung konstruktiver Regeln.

Für das untersuchte Gebäude in der Erdbebenzone 2 ist kein rechnerischer Nachweis der Erdbebensicherheit erforderlich.

Die Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel hat in Zusammenarbeit mit weiteren Verbänden der Mauerstein-Industrie den Lehrstuhl für Baustatik und Baudynamik der RWTH Aachen beauftragt, eine Softwarelösung für den Nachweis von Mauerwerkbauten mit konstruktiven Regeln zu erarbeiten.

Dieses Tool steht unter www.ziegel.de sowie auf den Internetseiten der Mitglieder der Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel zum Download zur Verfügung. Es enthält auch eine Routine, mit der der Gebäudestandort einer Erdbebenzone und Untergrundklasse zugeordnet werden kann.

Diese Zuordnung basiert auf einer Auswertung des Geologischen Landesamtes Baden-Württemberg. Sie liefert sehr gute Anhaltswerte, muss aber im Einzelfall mit den maßgebenden Festlegungen der einzelnen Bundesländer (z. B. Erdbebenkarten) abgeglichen werden.

3 Beispiel eines Nachweises der Erdbebensicherheit eines 3-geschossigen Mehrfamilienhauses in der Erdbebenzone 2 mit konstruktiven Regeln

Tabelle 8: Checkliste für den Nachweis der Erdbebensicherheit nach DIN 4149 ohne expliziten rechnerischen Nachweis für das Gebäude aus Bild 4 in Erdbebenzone 2

Kriterium	Ist-Zustand	Anforderung	Bewertung/ Lösung
		Zone 2	
Gebäudeform	kompakt	kompakt	o. k.
Grundriss	B/L = 0,5 rechteckig	B/L \geq 0,25 annähernd rechteckig	o. k.
Regelmäßigkeit	keine sprunghaften Masseänderungen	keine sprunghaften Masseänderungen	o. k.
Bedeutungskategorie	Wohngebäude (Kategorie II)	Kategorie \leq II	o. k.
Anzahl der Vollgeschosse	3	\leq 3	o. k.
Geschosshöhe	2,625 m	\leq 3,5 m	o. k.
Geschossdecken	Stahlbeton	mit Scheibenwirkung	o. k.
Ausreichende Aussteifungsfläche x-Richtung	4,5 % bezogen auf die Geschossfläche	3,7 %	o. k.
Ausreichende Aussteifungsfläche y-Richtung	7,2 % bezogen auf die Geschossfläche	3,6 %	o. k.
Aussteifungswände	gehen über die Gebäudehöhe durch	gehen über die Gebäudehöhe durch	o. k.
Ausreichende Anzahl von langen Aussteifungswänden x-Richtung	Zwischenwände 2 x 3,375 m 1 x 2,865 m	in jede Richtung mindestens 2 x 1,99 m	o. k.
Ausreichende Anzahl von langen Aussteifungswänden y-Richtung	Treppenhauswände 2 x 5,86 m Wohnungstrennwand 7,63 m	in jede Richtung mindestens 2 x 1,99 m	o. k.
Mindestwanddicke der Aussteifungswände	175 mm	150 mm	o. k.
Mindestens 50 % der Aussteifungswände aus Steinfestigkeitsklasse \geq 4	alle Ziegel \geq HLz 8	$>$ 2	o. k.

4 Weitere Konstruktionsempfehlungen für Mauerwerksbauten in den deutschen Erdbebengebieten

Mauerwerksbauten in den Erdbebengebieten sollten so ausgelegt werden, dass ein rechnerischer Nachweis der Erdbebensicherheit möglichst entbehrlich ist.

Um die Anforderungen an die Mindestaussteifung möglichst sicher einzuhalten wird zusätzlich zu den Regeln der DIN 4149 empfohlen, für aussteifende Außenwände mindestens Ziegel der Festigkeitsklasse 6 und für Innenwände Ziegel der Festigkeitsklasse 12 zu verwenden.

Bei Reihenhäusern mit kurzen aussteifenden Wänden in Gebäudequerrichtung wird empfohlen, diese Wände mit Füll- oder Schalungsziegeln auszuführen.

Untersuchungen der Universität Dortmund [6,7] haben gezeigt, dass damit die erforderlichen Wandlängen bei gleicher Aussteifungswirkung deutlich reduziert werden können.

In kritischen Fällen kann der Einsatz einer konstruktiven Vertikalbewehrung in den Füllkanälen am Wandende die Tragfähigkeit nochmals deutlich verbessern.

In Vergleichsrechnungen mit der Kapazitätsspektrummethode [8] wurde gezeigt, dass derartige Gebäude in den deutschen Erdbebengebieten hohe Tragfähigkeitsreserven aufweisen.



Bild 6: Prüfkörper mit Schubwänden aus Hochlochziegeln und Füllziegeln

5 Literatur

- [1] DIN 4149: 2005-04:
Bauten in deutschen Erdbebengebieten. Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten.
Ersatz für DIN 4149-1:1981-04 und DIN 4149-1/A1:1992-12.
Normenausschuss im Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, 2005.
- [2] Grünthal, G.:
Die Erdbebenzonenkarte als Bestandteil der neuen DIN 4149.
In: Tagungsband der DGE/DIN-Gemeinschaftstagung „Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - die neue DIN 4149“, Beuth Verlag, Berlin [u. a.], Leinfelden-Echterdingen/Germany, 3-24, 2005.
- [3] Grünthal, G. and Bosse, C.:
Probabilistische Karte der Erdbebengefährdung der Bundesrepublik Deutschland - Erdbebenzonierungskarte für das Nationale Anwendungsdokument zum Eurocode 8: Forschungsbericht.
Report STR 96/10, GeoForschungsZentrum Potsdam, 24 pp., Potsdam, 1996.
- [4] Grünthal, G., Mayer-Rosa, D. and Lenhardt, W.:
Abschätzung der Erdbebengefährdung für die D-A-CH-Staaten - Deutschland, Österreich, Schweiz.
Bautechnik **75** (10), 753-767, 1998.
- [5] Brauer, N.; Ehmke, J.; Figge, D.; Meyer, U.:
Bemessung von Ziegelmauerwerk - Ziegelmauerwerk nach DIN 1053-100 - vereinfachtes Verfahren.
Bonn, 2006.
- [6] Ötes, A.; Löring, S.:
Tastversuche zur Identifizierung des Verhaltensfaktors von Mauerwerksbauten für den Erdbebennachweis. Abschlussbericht.
Lehrstuhl für Tragkonstruktionen, Universität Dortmund, 2003.
- [7] Ötes, A.; Löring, S.; Elsche, B.:
Tastversuche an Wänden aus Planfüllziegeln unter simulierter Erdbebeneinwirkung. Ergebnisbericht.
Lehrstuhl für Tragkonstruktionen, Universität Dortmund, 2004.
- [8] Meskouris, K.; Mistler, M.; Butenweg, C.:
Vergleichende Untersuchungen an einem Reihenmittelhaus aus Planfüllziegeln auf Grundlage der Kapazitätsspektrummethode.
Lehrstuhl für Baustatik und Baudynamik, RWTH Aachen, 2005.