

6

# Mauerwerk

Zeitschrift für Technik und Architektur

10. Jahrgang  
Dezember 2006  
Heft 6, S. 235-244  
ISSN 1432-3427

A 43283

Sonderdruck

## Kalksandstein- mauerwerk in deutschen Erbebengebieten

Antonio Caballero González  
Stephanie Brinkmann  
Rudolf Herz





Antonio Caballero González  
Stefanie Brinkmann  
Rudolf Herz

# Kalksandsteinmauerwerk in deutschen Erdbebengebieten

Die Erdbebenbemessung von Bauten ist in Deutschland über die bauartspezifischen Bemessungs- und Ausführungsnormen hinaus in der DIN 4149 geregelt. Die mit Ausgabe April 2005 erschienene Norm ist seit Ende 2005 in Baden-Württemberg bauaufsichtlich eingeführt. Der nachfolgende Beitrag befaßt sich mit der Erdbebenbemessung nach den Regeln der neuen Norm, mit Schwerpunkt auf den konstruktiven Regeln für erdbebengerechte Konstruktionen. Die sich aus der neuen DIN 4149 ergebenden Schlußfolgerungen für Kalksandsteinmauerwerk werden besonders herausgearbeitet.

## 1 Allgemeines

Denkt man an Erdbeben in Europa, so bringt man sie in der Regel mit Regionen wie Italien, Griechenland oder der Türkei in Verbindung – auch dann, wenn man selbst in einer deutschen Erdbebenregion wohnt. Doch auch wenn Deutschland im europaweiten und weltweiten Vergleich zu den Schwachbebengebieten gezählt wird, treten bei uns Erdbeben auf. Die letzten beiden größeren Erdbebenereignisse, die in Deutschland nennenswerte Sachschäden verursachten, waren das Erdbeben von 1978 in Albstadt, in der Schwäbischen Alb, und das von 1992 in Roermond, in den Niederlanden, nahe der deutschen Grenze bei Heinsberg, rd. 50 km von Aachen entfernt.

In den Medien wird die Schwere von Erdbeben meist in Form der jeweiligen Magnitudewerte auf der Richterskala angegeben. In den Ingenieurwissenschaften hingegen bedient man sich i. d. R. der Intensität eines Bebens als Bewertungsmaßstab. Der Grund hierfür ist, daß die Magnitude ein Maß für die vom Erdbebenherd ausgehende, seismische Energie ist, während die Intensität letztlich ein Maß für die Bodenerschütterung an der Erdoberfläche – und damit der Einwirkung auf die Gebäude – darstellt [1]. Ein direkter Zusammenhang zwischen beiden Größen existiert nicht, da die Magnitude aus gemessenen Seismogrammen berechnet wird, die Intensität hingegen durch Zuordnung der beobachteten Phänomene, wie etwa der Schwere der Gebäudeschäden, zu den vordefinierten Klassen ermittelt wird.

## 2 Erdbebenbemessung in Deutschland

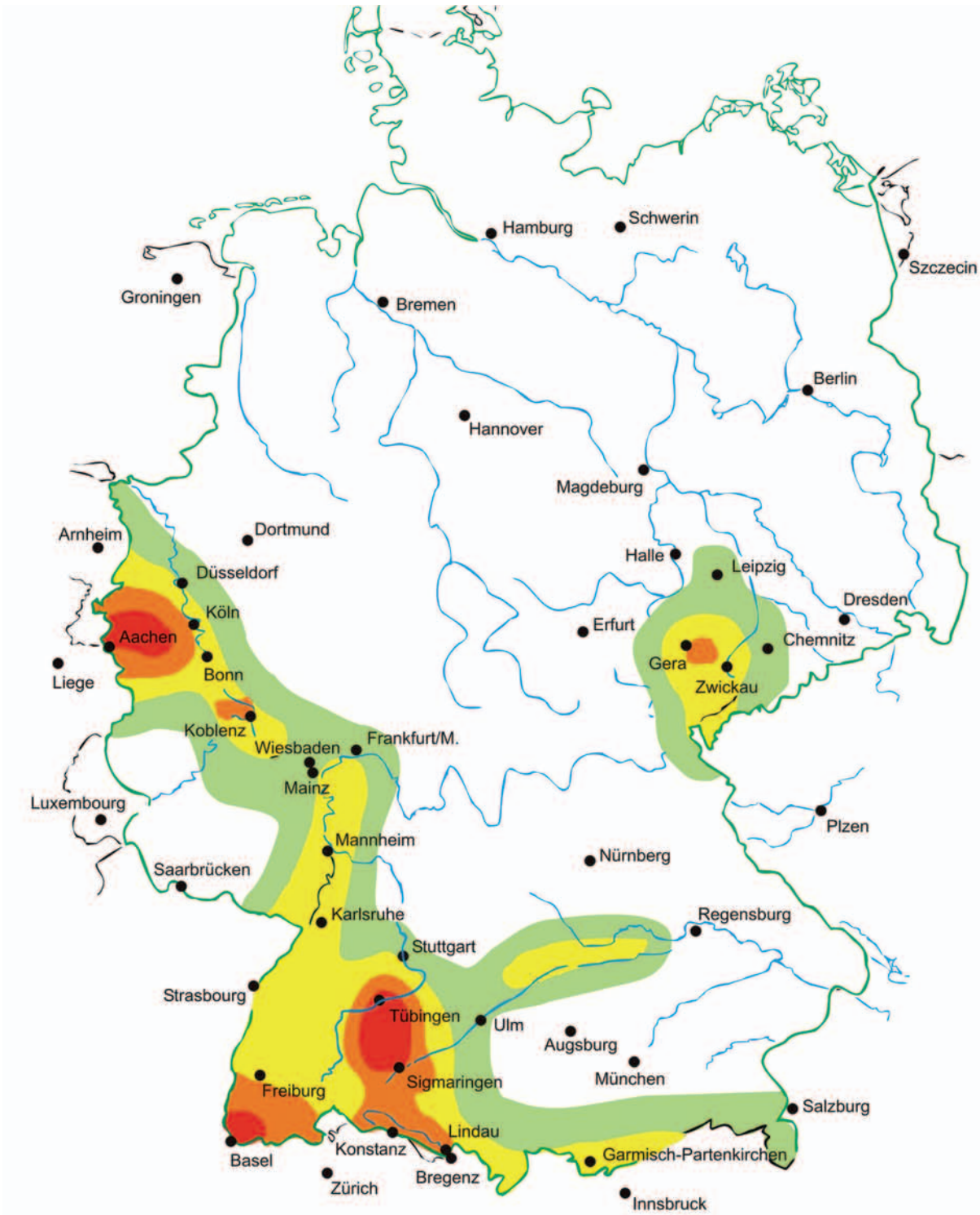
Die Erdbebenbemessung von Bauten in deutschen Erdbebengebieten ist in Deutschland über die bauartspezifischen Bemessungs- und Ausführungsnormen, wie etwa DIN 1045 für den Beton-, Stahl- und Spannbetonbau oder DIN 1053 für den Mauerwerkbau, in der DIN 4149 gere-

gelt. Zur Zeit findet ein Wechsel von der bisher bauaufsichtlich gültigen Fassung aus dem Jahr 1981 auf die neueste Fassung der DIN 4149 vom April 2005 statt. In Baden-Württemberg, dem am stärksten von Erdbeben betroffenen Bundesland, fand die Umstellung auf die DIN 4149: 2005-04 [2] bereits Ende 2005 statt, in Nordrhein-Westfalen soll dies in 2006 erfolgen.

Die DIN 4149 gilt für bauliche Anlagen des üblichen Hochbaus und hat als Ziel, im Falle eines Erdbebens Menschenleben zu schützen und Schäden zu begrenzen. Hierzu sind die baulichen Anlagen auf ein Erdbeben auszulegen, welches statistisch betrachtet alle 475 Jahre zu erwarten ist. Dies bedeutet jedoch nicht, daß zwischen zwei Erdbeben 475 Jahre „Ruhe herrscht“, vielmehr liegt die Wahrscheinlichkeit dafür, daß dieses oder ein stärkeres Beben innerhalb von 50 Jahren auftritt, bei immerhin 10%.

Dieser statistischen Betrachtung folgend, teilt die DIN 4149 die erdbebengefährdeten Gebiete der Bundesrepublik in die Zonen 0 bis 3 ein (s. Bild 1). Ein Erdbebennachweis ist jedoch nur in den Zonen 1 bis 3 zu erbringen. Den Erdbebenzonen sind, basierend auf der Europäischen Makroseismischen Skala (EMS-92), Intensitätsintervalle von 6 bis über 7,5 zugeordnet. Die Intensitätswerte sind als Einwirkungswert für die Bemessung jedoch nicht brauchbar, hierfür werden den einzelnen Erdbebenzonen Bemessungswerte der Bodenbeschleunigung  $a_g$  zugeordnet, anhand derer die einwirkenden Kräfte berechnet werden können. Die Bodenbeschleunigung ist jedoch nicht allein ausschlaggebend für die auf das Gebäude wirkenden Kräfte, hierfür sind u. a. auch die Untergrundverhältnisse von besonderer Bedeutung. Bei ungünstigen Untergrundverhältnissen können die einwirkenden Kräfte an einem Standort tatsächlich größer sein als an einem anderen, in der nächst höheren Erdbebenzone gelegenen Standort, wenn dort günstigere Untergrundverhältnisse vorliegen.

Zur Einstufung der Untergrundverhältnisse unterscheidet die DIN 4149 drei geologische Untergrundklassen (R, T und S) sowie drei Baugrundklassen (A, B und C), die in unterschiedlichen Kombinationen vorkommen können. Der Einfluß der Untergrundverhältnisse, d. h. der zusammengefaßte Einfluß des geologischen Untergrunds und des Baugrunds, wird über einen Untergrundparameter S berücksichtigt, mit dem im Nachweisverfahren der Bemessungswert der Bodenbeschleunigung  $a_g$  multipliziert wird. Während sich der geologische Untergrund



Erdbebenzone	Intensitätsintervalle	Bemessungswert der Bodenbeschleunigung $a_g$ [m/s <sup>2</sup> ]	Mindestanforderungen an aussteifende Wände (Schubwände)		
			$h_k/t$ [-]	$t$ [mm]	$l$ [mm]
0	$6 \leq I \leq 6,5$	-	nach DIN 1053-1		
1	$6,5 \leq I \leq 7$	0,4	nach DIN 1053-1		$\geq 740$
2	$7 \leq I \leq 7,5$	0,6	$\leq 18$	$\geq 150^a$	$\geq 980$
3	$I \geq 7,5$	0,8	$\leq 15$	$\geq 175$	$\geq 980$

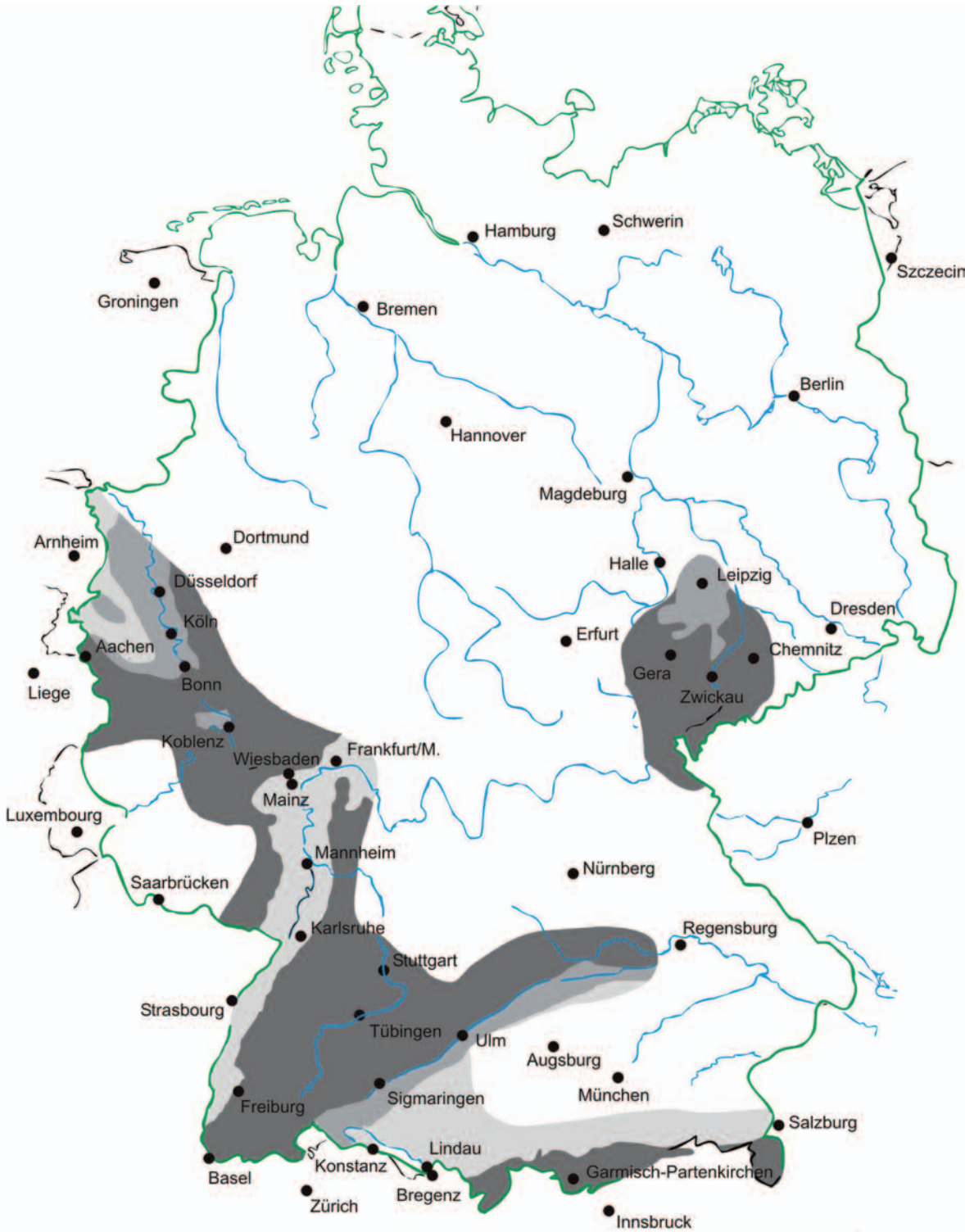
$h_k$  Knicklänge nach DIN 1053-1

$t$  Wanddicke

$l$  Wandlänge

<sup>a</sup> Wände der Wanddicke  $\geq 115$  mm dürfen zusätzlich berücksichtigt werden, wenn  $h_k/t \leq 15$  ist

Bild 1. Erdbebenzonen in Deutschland, zugehörige Intensitäten und Bemessungswerte der Bodenbeschleunigung, Mindestanforderungen an aussteifende Mauerwerkswände (Schubwände)



Untergrundklasse	R			T		S
Baugrundklasse	A	B	C	B	C	C
Untergrundparameter S	1,00	1,25	1,50	1,00	1,25	0,75

Bild 2. Geologische Untergrundklassen in den deutschen Erdbebengebieten; Untergrundparameter S in Abhängigkeit von der Untergrund- und Baugrundklasse

großräumig klassieren und kartieren läßt (vgl. Bild 2), ist dies für den Baugrund nicht möglich. Die drei genannten Baugrundklassen decken zudem lediglich die am häufigsten vorkommenden Baugründe mit dominierenden Scherwellengeschwindigkeiten oberhalb von 150 m/s ab,

ungünstigere Baugrundverhältnisse (vgl. DIN 4149, 5.2.3 (2)) sind nicht ausgeschlossen. Zur Beurteilung der Baugrundverhältnisse ist daher die Kenntnis der örtlichen Verhältnisse unerlässlich, es sei denn, man kann Baugrundverhältnisse nach DIN 4149, 5.2.3 (2) ausschließen

und nimmt von vornherein die ungünstige Baugrundklasse C für den Nachweis an.

Auch wenn DIN 4149 sowohl Karten für die Erdbebenzonen als auch für die geologischen Untergrundklassen liefert, dienen diese lediglich der groben Orientierung. Maßgebend für die Einstufung von Standorten in Erdbebenzonen und Untergrundklassen sind die von den jeweiligen Bundesländern herausgegebenen Karten, wie etwa [3], [4].

Gemäß der zuvor erläuterten Betrachtung kennzeichnet beispielsweise die Erdbebenzone 2 die Gebiete, in denen eine 10prozentige Wahrscheinlichkeit dafür besteht, daß innerhalb von 50 Jahren ein Erdbeben einer Intensität von mindestens 7 auftritt. Gemäß Definition in der EMS-92 würde man bei dieser Intensität als Wirkung beobachten, daß sich die meisten Personen erschrecken und ins Freie flüchten, Möbel verschoben werden, Gegenstände in großen Mengen aus Regalen fallen, an vielen Häusern solider Bauart mäßige Schäden (Mauerrisse) auftreten und sich vornehmlich bei Gebäuden in schlechterem Zustand größere Mauerrisse zeigen und Zwischenwände einstürzen.

### 3 Erdbebengerechte Konstruktionen

Die Beschreibung der zu beobachtenden Phänomene nach EMS-92 impliziert bereits, daß Gebäude entsprechend der zu erwartenden Einwirkung solide konstruiert werden müssen, was grundsätzlich der Fall sein sollte. Die Schadensaufnahme nach dem Beben in Albstadt widerspricht dieser Annahme jedoch in einigen Fällen. Dies gab den Anstoß für die vom Land Baden-Württemberg heraus-

gegebene Planungshilfe [5], in der u. a. gestützt auf den Beobachtungen nach dem Albstädter Beben die grundlegenden Konstruktionsregeln für das erdbebensichere Bauen in deutschen Erdbebengebieten zusammengestellt wurden. Die Planungshilfe unterstrich damit die grundsätzliche und in Erdbebengebieten besondere Bedeutung einer richtigen, d. h. soliden Konstruktion von Gebäuden als Voraussetzung für eine wirtschaftliche und sichere Bemessung.

Der erdbebengerechten Konstruktion wird konsequenterweise in der neuen DIN 4149 mehr Bedeutung geschenkt als in der Vorgängerversion. Neben den allgemeinen Empfehlungen und Kriterien im Abschnitt 4 der Norm (vgl. Bilder 3 und 4) werden auch bauartspezifische Konstruktionsregeln genannt, die für Mauerwerk im Abschnitt 11 der DIN 4149 enthalten sind.

Die Bedeutung erdbebengerechter Konstruktionen wird insbesondere dadurch betont, daß für entsprechend konstruierte Wohngebäude und ähnliche Gebäude – dazu zählen auch Bürogebäude – auf den rechnerische Nachweis verzichtet werden darf, sofern

- die allgemeinen Empfehlungen für die Konstruktion (vgl. Bild 3) und in den Erdbebenzonen 2 und 3 darüber hinaus auch die Regelmäßigkeitskriterien (Bild 4) eingehalten werden
- die Anzahl der Vollgeschosse auf den in Abhängigkeit von der Bedeutung des Gebäudes und der Erdbebenzone vorgegebenen Wert (s. Bild 5) beschränkt bleibt
- die Geschosshöhe max. 3,5 m beträgt
- für Mauerwerkbauten die konstruktiven Regeln nach Abschnitt 11.6 der DIN 4149 eingehalten werden.

Konstruktionsmerkmale für einen erdbebengerechten Entwurf von baulichen Anlagen:

- Wahl eines einfachen Tragwerkssystems, mit eindeutigen und direkten Wegen für die Abtragung der Horizontalkräfte
- Aussteifende Tragwerksteile sollten in jeder Hauptrichtung des Bauwerks ähnlich steif und tragfähig sein
- Vermeidung von Steifigkeitssprüngen zwischen Geschossen
- Anordnung der tragenden Bauteile so, dass
  - ⇒ eine torsionssteife Konstruktion gewährleistet ist und
  - ⇒ der Masse- und Steifigkeitsmittelpunkt möglichst nahe beieinander liegen
- Geschossdecken als (ausreichend steife) Scheiben ausbilden

Bild 3. Empfehlungen für den erdbebengerechten Entwurf von baulichen Anlagen (Auszug aus DIN 4149, Abschnitt 4.2)

Wesentliche Kriterien für die Regelmäßigkeit von Bauwerken:

- Der Gebäudegrundriss
  - ⇒ ist hinsichtlich der Aussteifung und der Masseverteilung um zwei zueinander senkrechte Achsen nahezu symmetrisch und
  - ⇒ weist eine kompakte Form auf
- Die einzelnen Geschosse sind ausreichend torsionssteif
- Rücksprünge sollten - sowohl im Grund- als auch im Aufriss möglichst vermieden oder auf die in DIN 4149 genannten Maße begrenzt werden
- Decken müssen ausreichend steif im Vergleich zu den horizontalen Steifigkeiten der Stützen und Wände sein
- Tragwerksteile, die zur Aufnahme der horizontalen Erdbebenlasten herangezogen werden, gehen ohne Unterbrechung von der Gründung bis zur Oberkante des Gebäudes durch
- Die Massen und die Steifigkeiten der Geschosse sind über die Bauwerkshöhe konstant oder nehmen nur allmählich nach oben hin ab

Bild 4. Kriterien für die Regelmäßigkeit des Bauwerks (vgl. DIN 4149, Abschnitt 4.3)

Für Mauerwerksbauten in den Erdbebenzonen 1 bis 3 gelten neben den Festlegungen der betreffenden Teile der DIN 1053 die besonderen Regeln nach Abschnitt 11 der DIN 4149. Dabei läßt die DIN 4149 grundsätzlich alle Mauersteine und Mauermörtel für Mauerwerk nach DIN 1053 zur Verwendung in den Erdbebengebieten zu. Die einzige Einschränkung der DIN 4149 hinsichtlich der verwendbaren Baustoffe gilt bezüglich der Erdbebenzonen 2 und 3. In diesen Gebieten dürfen Mauersteine (Lochsteine) nur dann verwendet werden, wenn sie entweder über in Steinlängsrichtung durchgehende Innenstege verfügen oder wenn sie mindestens eine Steinlängsdruckfestigkeit von 2,0 N/mm<sup>2</sup> (kleinster Einzelwert) bzw. von mindestens 2,5 N/mm<sup>2</sup> (Mittelwert) aufweisen.

Kalksandsteine können auch als Lochsteine in allen drei Erdbebenzonen verwendet werden. Zum einen verfügen Kalksandlochsteine über solide, in der Regel durchlaufende Längsstege. Zum anderen ist die geforderte Längsdruckfestigkeit bei Kalksandsteinen nach DIN V 106 bzw. nach einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung, für die in der Praxis angebotenen Steinfestigkeitsklassen 12 und darüber, grundsätzlich gegeben.

Als allgemeine Konstruktionsregeln für Mauerwerksbauten gibt die DIN 4149 zum einen vor, daß in Hochbauten aus Mauerwerk die Geschoßdecken als aussteifende Scheiben wirken müssen. Zum anderen stellt die Norm Mindestanforderungen an die Schlankheit der aussteifenden Wände sowie an die Wanddicken und -längen. Während in der Erdbebenzone 1 hinsichtlich der Schlankheit und der Wanddicke keine über die DIN 1053 hinausgehenden Anforderungen gestellt werden, ist dies in den Erdbebenzonen 2 und 3 der Fall (vgl. Bild 1).

Hervorzuheben ist, daß 115 mm dicke Wände in der Erdbebenzone 2 zusätzlich als aussteifenden Wände berücksichtigt werden dürfen, sofern deren Schlankheit auf 15 begrenzt ist. Dies ermöglicht dem Tragwerksplaner durch den Austausch nichttragender, leichter Trennwände, gegen tragende, schlanke KS-Wände, wertvolle, zusätzliche Aussteifungsquerschnitte zu aktivieren. Die gewohnt hohen Tragfähigkeiten schlanker KS-Wände kommen dabei besonderes bei kurzen, dreiseitig gehaltenen Wänden zum Tragen.

Die zuvor genannten Regeln für Mauerwerksbauten gelten grundsätzlich auch dann, wenn der Nachweis rechnerisch erfolgt. Weitere Anforderungen und Regeln gelten darüber hinaus für eingefaßtes sowie für bewehrtes Mauerwerk. Beide Varianten haben jedoch in Deutschland nach wie vor keine nennenswerte Marktbedeutung, weshalb auf diese Regeln an dieser Stelle nicht weiter eingegangen wird.

Unter Berücksichtigung der zuvor genannten Einschränkungen ist zusammenfassend hervorzuheben, daß – neben europäisch genormten Produkten, die den deutschen Anwendungs- bzw. Restnormen entsprechen, auch allgemein bauaufsichtlich zugelassene Mauersteine, -elemente und -mörtel verwendet werden dürfen – die Verwendung von Mauerwerk mit unvermörtelten Stoßfugen auch in Erdbebengebieten gestattet ist und auch

– stumpf gestoßene Wandanschlüsse zulässig sind. Die typische und seit Jahrzehnten bewährte Kalksandsteinbauweise ist somit auch in den deutschen Erdbebengebieten nahezu uneingeschränkt anwendbar!

Bedeutungskategorie	Bauwerke	Bedeutungsbeiwert $\gamma_i$	max. Anzahl von Vollgeschossen <sup>7)</sup> in der Erdbebenzone		
			1	2	3
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		3	2
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	4	kein Verzicht auf den rechnerischen Nachweis möglich	
IV	Bauwerke, deren Unversehrtheit im Erdbebenfall von Bedeutung für den Schutz der Allgemeinheit ist, z. B. Krankenhäuser, wichtige Einrichtungen des Katastrophenschutzes und der Sicherheitskräfte, Feuerwehrrhäuser usw.	1,4			

<sup>7)</sup> Wenn das Kellergeschoss bzw. das Geschoss über Gründungsebene als steifer Kasten ausgebildet und auf einheitlichem Niveau gegründet ist, muss es bei der Ermittlung der Geschossanzahl nicht berücksichtigt werden. Sofern die Konstruktion in dieser Hinsicht nicht zweifelsfrei bewertet werden kann, darf die Bedingung als erfüllt angesehen werden, wenn in jeder Richtung die Gesamtsteifigkeit dieses Geschosses, d. h. Biege- und Schubsteifigkeit aller Bauteile, die primär zur Abtragung der horizontalen Erdbebenbelastungen herangezogen werden, mindestens 5-mal größer ist als die entsprechende Steifigkeit des darüber liegenden Geschosses.

Bild 5. Bedeutungskategorien und zul. Anzahl Vollgeschosse als eine Voraussetzung für den Verzicht auf einen rechnerischen Nachweis (vgl. DIN 4149, Abschnitt 7.1)

Beim rechnerischen Nachweis von Mauerwerkkonstruktionen ist dem Tragwerksmodell besondere Beachtung zu schenken. Dieses soll das Verhalten der Konstruktion angemessen darstellen. Hierbei ist insbesondere die Einspannung der Wände in die Decken, vor allem bei kurzen Wandscheiben, realitätsnah zu berücksichtigen. Stark vereinfachende bzw. zu sehr auf der sicheren Seite liegende rechnerische Modelle führen zu sehr unwirtschaftlichen Ergebnissen. Aus diesem Grund empfiehlt es sich stets, den Nachweis über die Einhaltung der konstruktiven Regeln in Abschnitt 11.6 von DIN 4149 einem rechnerischen Nachweis vorzuziehen. Bezüglich der grundsätzlichen und besonderen Verfahrensweisen für den rechnerischen Nachweis von Mauerwerksbauten wird auf DIN 4149 und z. B. [6] verwiesen.

Die konstruktiven Regeln in Abschnitt 11.6 der DIN 4149 erlauben es, auf einen rechnerischen Erdbebennachweis von Hochbauten aus Mauerwerk zu verzichten. Bei einem Teil dieser Regeln handelt es sich um allgemeine Konstruktionsregeln, die lediglich präzisiert werden. Als zusätzliche Anforderung an die Kompaktheit des Bauwerks wird beispielsweise verlangt, daß es annähernd rechteckig ist und das Verhältnis zwischen der kürzeren und längeren Seite  $b/l \geq 0,25$  betragen muß. Abweichend von der Forderung, daß aussteifende Wände ohne Unterbrechung über alle Geschosse verlaufen sollen (vgl. Bild 4), wird für das Dachgeschoß eine Aussteifung durch andere konstruktive Maßnahmen zugelassen.

Zentraler Bestandteil der konstruktiven Regeln in Abschnitt 11.6 ist die Tabelle 15. Sie gibt, in Abhängigkeit von der Anzahl der Vollgeschosse, den Steifigkeitsklassen sowie den einwirkenden Kräften die erforderliche Fläche an Aussteifungswänden (Schubwänden) je Gebäude richtung, als Prozentwert der Geschoßgrundrißfläche an. Die Einwirkungen werden dabei vereinfacht betrachtet und nach oben hin in drei Stufen abgegrenzt. Als Grenzwerte werden Prozentualwerte der Erdbebenbeschleunigung vorgegeben, die ggf. durch einen Faktor  $k$  um bis zu 100 % erhöht werden können:

$$a_g \cdot S \cdot \gamma_I \leq \begin{cases} 0,06 \cdot g \cdot k \\ 0,09 \cdot g \cdot k \\ 0,12 \cdot g \cdot k \end{cases}$$

$a_g$  Bemessungswert der Bodenbeschleunigung, vgl. Bild 1

$S$  Untergrundparameter, vgl. Bild 2

$\gamma_I$  Bedeutungsbeiwert, vgl. Bild 5

$g$  Erdbeschleunigung,  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

$k$  Faktor zur Berücksichtigung eines erhöhten Anteils ( $\geq 70 \%$ ) von Schubwänden mit  $l \geq 2 \text{ m}$  in der betrachteten Gebäude richtung

$$k = 1 + \frac{\ell_{ay} - 2}{4} \leq 2$$

$\ell_{ay}$  mittlere Wandlänge der betrachteten Schubwände in m

Die Anwendung der Werte nach Tabelle 15 von DIN 4149 setzt dabei voraus, daß

- die aussteifenden Wände den überwiegenden Teil der Vertikallasten tragen
- von den berücksichtigten Schubwänden in jeder Gebäude richtung mindestens zwei Schubwände mit einer Länge von jeweils mindesten 1,99 m vorhanden sind

- für Bemessungswerte  $a_g \cdot S \cdot \gamma_I > 0,09 \cdot g \cdot k$  mindestens 50% der erforderlichen Schubwandquerschnitte aus Wänden mit einer Länge von mindestens 1,99 m bestehen und
- für das auszuführende Mauerwerk mindestens die Schubfestigkeiten nach DIN 1053-1 für Mauerwerk mit unvermörtelten Stoßfugen angesetzt werden dürfen sowie bzgl. der Druckfestigkeit mindestens die Grundwerte der zulässigen Spannungen  $\sigma_0$  nach DIN 1053-1 gelten.

Die letzt genannte Voraussetzung leitet sich daraus ab, daß die in Tabelle 15 von DIN 4149 angegebenen Mindestschubwandquerschnitte für Mauerwerk nach DIN 1053-1 ermittelt wurden. Während das Kriterium der Schubfestigkeit, gekennzeichnet durch ein Fugen- oder ein Steinzugversagen, vor allem bei längeren Wänden, etwa ab einem Verhältnis  $l/h$  von 0,75 bis 1,0 zum Tragen kommt, ist die Mauerwerkdruckfestigkeit meist bei kurzen Wänden bestimmend. Die Anwendung der konstruktiven Regeln für den Verzicht auf einen rechnerischen Nachweis ist jedoch auch dann für Mauerwerk aus allgemein bauaufsichtlich zugelassenen Produkten zulässig, für die abgeminderte Rechenwerte der Steinzug- oder der Haftscherfestigkeit gelten, wenn die geforderten Wandquerschnitte entsprechend erhöht werden [6]. Auf der sicheren Seite liegend kann eine solche Erhöhung proportional zu der betreffenden Festigkeitsabminderung angenommen werden.

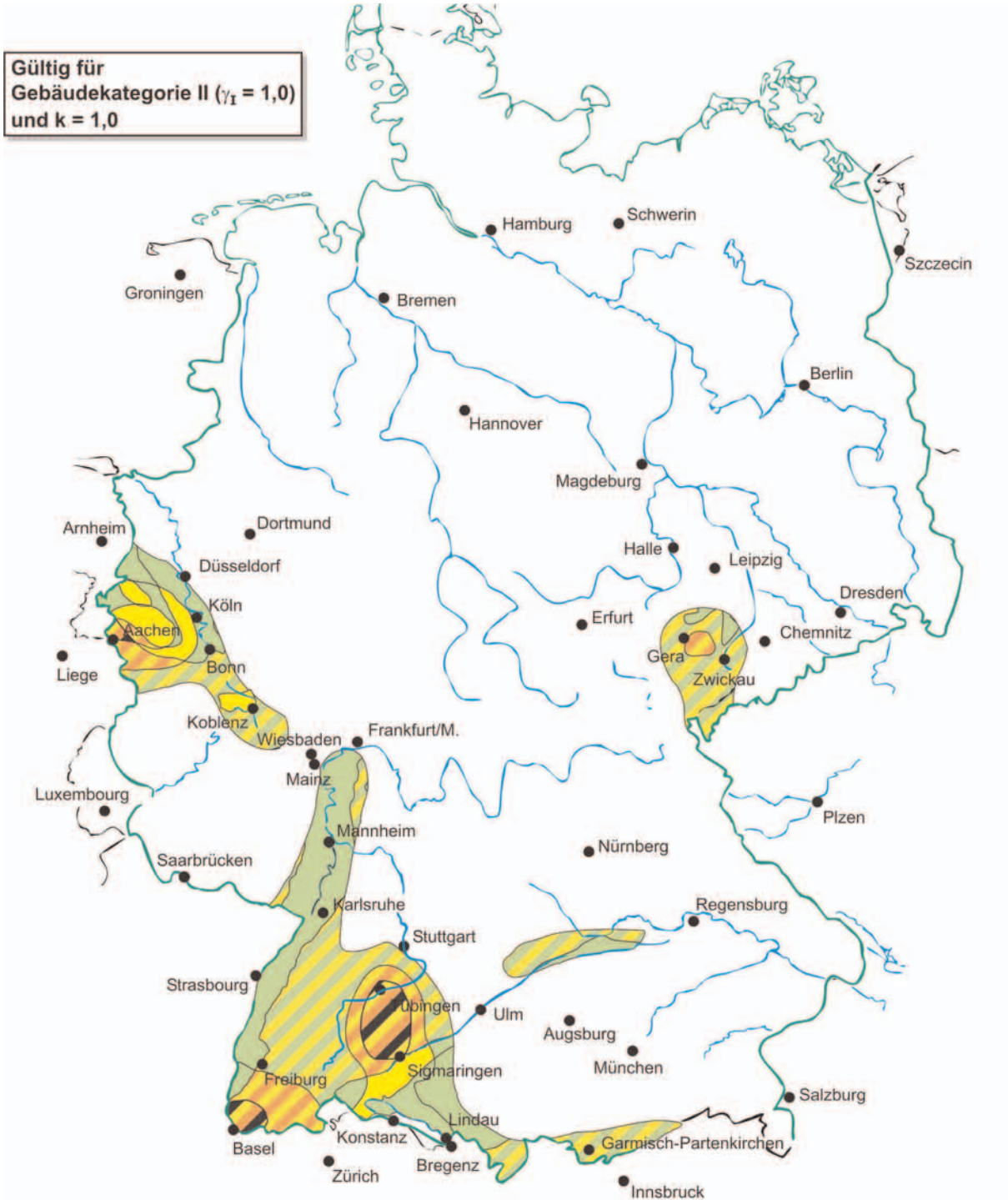
Mauerwerk aus Kalksandsteinen bzw. Kalksandplanelementen mit einem Überbindemaß von  $\ddot{u} \geq 0,4$  erreicht mindestens die erforderlichen Schubfestigkeiten und Grundwerte der zulässigen Druckspannungen, um Tabelle 15 anwenden zu dürfen. Bei Verwendung von Dünnbettmörtel sind zudem i. d. R. mindestens „stille“, d. h. nachgewiesene, aber derzeit rechnerisch nicht verwertbare Reserven vorhanden.

#### 4 Arbeitshilfen für das vereinfachte Verfahren nach DIN 4149, Abschnitt 11.6

In der Anlage zum Beitrag wird eine Arbeitshilfe zur Verfügung gestellt, mit der die Voraussetzungen für die Anwendung der konstruktiven Regeln zum Verzicht auf den rechnerischen Nachweis des Grenzzustandes der Tragfähigkeit für den Lastfall Erdbeben für Kalksandsteinmauerwerk systematisch überprüft und die geforderte Mindestschubwandquerschnittsfläche ermittelt werden kann. Diese Arbeitshilfe steht zudem als Datei unter [www.kalksandstein.de](http://www.kalksandstein.de) im Downloadbereich zur Verfügung.

Häufig werden die drei in DIN 4149, Tabelle 15, gesetzten Obergrenzen für  $a_g \cdot S \cdot \gamma_I$  fälschlicherweise mit den drei Erdbebenzonen gleichgesetzt. Wie zuvor bereits erwähnt, spielen jedoch die Untergrundverhältnisse eine entscheidende Rolle auf der Einwirkungsseite. Welche Bereiche der Bundesrepublik wie betroffen sind, zeigt Bild 6. Hier wurden die Erdbebenzonenkarte und die Karte der geologischen Untergrundkategorien überlagert, die jeweils gemeinsamen Schnittflächen ermittelt und farblich den Spalten der Tabelle 15 (in Bild 6, als Auszug in der rechten Tabelle dargestellt) zugeordnet. Diese grafische Auswertung wurde für Gebäude der Bedeutungskategorie II, also





		Erbebenzone		
		1	2	3
Utergrundverhältnisse	A-R			
	B-R			
	C-R			kvNz
	B-T			
	C-T			
	C-S			

Prozentuale Mindestquerschnittsfläche von Schubwänden je Gebäuderichtung bezogen auf die Geschossgrundrissfläche (Auszug Tab. 15, DIN 4149:2005-04)

Anzahl der Vollgeschosse	$a_g \cdot S \cdot 1,0$		
	$\leq 0,06 \cdot g \cdot 1,0$	$\leq 0,09 \cdot g \cdot 1,0$	$\leq 0,12 \cdot g \cdot 1,0$
	Steinfestigkeitsklasse $\geq 12$ nach DIN 1053-1		
1	0,02	0,02	0,02
2	0,02	0,03	0,04
3	0,03	0,05	kein
4	0,04	vereinfachter Nachweis zulässig!	

Bild 6. Überlagerung der Erdbebenzonen und Untergrundklassen für Gebäude der Bedeutungskategorie II (gewöhnliche Gebäude, z. B. Wohngebäude) entsprechend der Einstufung nach Tabelle 15, DIN 4149. Die Farben zeigen an, wo (Karte) bzw. für welche Einwirkungskombination von Untergrund und Erdbebenzone (linke Tabelle) welcher Bereich aus Tabelle 15 (rechte Tabelle) gilt

gewöhnliche Bauten, wie z. B. Wohngebäude, mit  $\gamma_1 = 1,0$  durchgeführt. Der Faktor  $k$  wurde, auf der sicheren Seite liegend, ebenfalls zu 1,0 gewählt. Aus der linken Tabelle in Bild 6 ist ersichtlich, für welche Erdbebenzonen-Untergrundkombination, unter den gewählten Randbedingungen für  $\gamma_1$  und  $k$ , welche Spalte in Tabelle 15 (in Bild 6 auszugswise die rechte Tabelle) zutrifft. Schraffierte Flächen in der Karte signalisieren, daß die Zuweisung zu einer Spalte nicht eindeutig möglich ist, sondern von der vor Ort vorhandenen Baugrundklasse (A, B oder C) abhängt. Zu beachten ist, daß nach DIN 4149 eine Interpolation zwischen den beiden betreffenden Spalten anhand des exakten Einwirkungswertes zulässig ist.

In den schraffierten Bereichen mit Schwarzanteilen ist, je nach Baugrund, z. T. der vereinfachte Nachweis nicht zulässig und stattdessen ein rechnerischer Nachweis der Mauerwerksbauten unabdingbar.

## 5 Ausblick

Die konstruktiven Regeln nach Abschnitt 11.6 der DIN 4149 nehmen besondere Rücksicht auf den praktischen Erkenntnisstand über Mauerwerk in deutschen Erdbebengebieten. In manchen Fällen läßt sich dieser Erkenntnisstand mit den derzeitigen rechnerischen Ansätzen nicht nachweisen. Dies unterstreicht die Bedeutung der Regeln für eine erdbebengerechte Konstruktion. Die Gründe für die Diskrepanz zwischen Beobachtung und Bemessung liegen meist in den konservativen Annahmen für das Tragmodell, welche weder die resultierenden Einwirkungen noch das Verhalten der Wandscheiben ausreichend realitätsnah widerspiegeln, sondern stets auf der sicheren Seite vereinfachen. Darüber hinaus läßt sich das komplexe Tragverhalten des Mauerwerks im Bruchzustand mit dem derzeitigen Bemessungsansatz der DIN 1053-1 für die Schubfestigkeit nicht zutreffend beschreiben, dies trifft vor allem für die modernen Mauerwerkbaustoffe zu. Dies war der Anlaß für ein breit angelegtes, von der Europäischen Kommission gefördertes Forschungsvorhaben (s. a. [7]), welches im Juni 2004 begonnen wurde. Erdbeben- und Mauerwerkexperten aus verschiedenen europäischen Mitgliedsstaaten arbeiten in diesem mit ESECMaSE abgekürzten Forschungsvorhaben daran, die derzeitige Lücke zwischen dem beobachteten und berechneten Schubtragverhalten von Mauerwerk zu verringern. Die bisher vorliegenden theoretischen Ergebnisse aus dem Forschungsvorhaben bestätigen bereits, daß die gängigen Annahmen das Tragmodell unzureichend beschreiben. Dies wird auch durch die ersten Ergebnisse aus den praktischen Versuchen untermauert. Der Abschluß des For-

schungsvorhabens, der planmäßig für Mitte 2007 vorgesehen ist, wird sich voraussichtlich um einige Monate verzögern. Dennoch werden Mitte/Ende 2007 verwertbare Ergebnisse erwartet.

## Literatur

- [1] Erdbeben in Deutschland, 1. Aufl., 2004. Hrsg.: Deutsche Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik e.V.
- [2] DIN 4149:2005-04. Bauten in deutschen Erdbebengebieten – Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten.
- [3] Karte der Erdbebenzonen – Karte der Erdbebenzonen und geologischen Untergrundklassen der BRD – NRW 1:350 000 Karte zu DIN 4149, gefaltet. Bezugsquelle: Dienst Nordrhein-Westfalen, De-Greiff-Straße 195, D-47803 Krefeld, Tel.: (02151) 897-0, www.gd.nrw.de
- [4] Karte der Erdbebenzonen und geologischen Untergrundklassen für Baden-Württemberg im Maßstab 1 : 350 000. Herausgeber: Innenministerium Baden-Württemberg. Bezugsquelle: Landesvermessungsamt Baden-Württemberg, Büchsenstraße 54, 70174 Stuttgart, Tel.: (0711) 123 – 2831, www.lv-bw.de
- [5] Erdbebensicher Bauen, Planungshilfe für Bauherren, Architekten und Ingenieure. Stuttgart, 5. Aufl., 2001. Hrsg.: Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg.
- [6] Meyer, U.: Mauerwerksbauten in den deutschen Erdbebengebieten – Regelungen der neuen DIN 4149. Mauerwerk 9 (2005), H. 6, S. 248–254.
- [7] Caballero González, A., Fehling, E., Kieker, J.: ESECMaSE – Enhanced Safety an Efficient Construction of Masonry Structures in Europe. Mauerwerk 9 (2005), H. 5, S. 238–243.

## Autoren des Beitrags:

Dipl.-Ing. Antonio Caballero González  
Bundesverband Kalksandsteinindustrie eV  
Abteilungsleitung Normung  
Entenfangweg 15  
304189 Hannover

Dipl.-Ing. Stephanie Brinkmann  
Heidelberger Kalksandstein GmbH  
Produktmanagement Kalksandstein  
Malscher Straße 17  
76448 Durmersheim

Dipl.-Ing. Rudolf Herz  
Verein Süddeutscher Kalksandsteinwerke e.V. (KS-Süd e.V.)  
Leitender Beratungsingenieur  
Heidelberger Str. 2–8  
64625 Bensheim

## Anlage

## Arbeitshilfe für das vereinfachte Verfahren nach DIN 4149, Abschnitt 11.6

Gebäudegrundrißform kompakt und annähernd rechteckig ( $b/l \geq 0,25$ )				<input type="radio"/> Ja / <input type="radio"/> Nein									
Keine sprunghafte Steifigkeits- und Masseänderung über die Geschosse				<input type="radio"/> Ja / <input type="radio"/> Nein									
Alle Geschosse sind durch Decken mit Scheibenwirkung ausgesteift				<input type="radio"/> Ja / <input type="radio"/> Nein									
Aussteifende Wände (Schubwände) gehen über alle Geschosse durch (außer Dachgeschoss, wenn durch andere Maßnahmen ausgesteift)				<input type="radio"/> Ja / <input type="radio"/> Nein									
Schubwände tragen den überwiegenden Teil der vertikalen Lasten													
Geschoßhöhen $\leq 3,50$ m				<input type="radio"/> Ja / <input type="radio"/> Nein									
Mindestanforderung an die Schlankheit $h_k/t$ , Dicke $t$ und Länge $\ell$ von Schubwänden													
Erdbebenzone		$h_k/t$		$t$		$\ell$							
		-		mm									
1		nach DIN 1053-1				$\geq 740$							
2		$\leq 18$		$\geq 150^{*)}$		$\geq 980$							
3		$\leq 15$		$\geq 175$		$\geq 980$							
*) Wände der Wanddicke $\geq 115$ mm dürfen zusätzlich berücksichtigt werden, wenn $h_k/t \leq 15$ ist.													
Mindestanforderungen an Schubwände erfüllt				<input type="radio"/> Ja / <input type="radio"/> Nein									
mindestens 2 Schubwände je betrachtete Richtung mit $\ell \geq 1,99$ m vorhanden				<input type="radio"/> Ja / <input type="radio"/> Nein									
Bemessungswert der Bodenbeschleunigung $a_g$													
Erdbebenzone		1		2		3							
$a_g =$		<input type="radio"/> 0,4 m/s <sup>2</sup>		<input type="radio"/> 0,6 m/s <sup>2</sup>		<input type="radio"/> 0,8 m/s <sup>2</sup>							
						$a_g =$							
Bedeutungsbeiwert $\gamma_I$													
Gebäudebedeutungskategorie <sup>*)</sup>		I		II		III		IV					
$\gamma_I =$		<input type="radio"/> 0,8		<input type="radio"/> 1,0		<input type="radio"/> 1,2		<input type="radio"/> 1,4					
*) s. DIN 4149, Tabelle 3													
								$\gamma_I =$					
zulässige Anzahl Vollgeschosse $n_{Vollg}$													
Erdbebenzone		1		2		3							
Gebäudekategorie		I		II		I		II					
zul. $n_{Vollg}$ .		4		3		2							
vorhandene Anzahl Vollgeschosse $n_{Vollg}$													
$n_{Vollg}$ .		<input type="radio"/> 1		<input type="radio"/> 2		<input type="radio"/> 3		<input type="radio"/> 4					
								$n_{Vollg} =$					
Untergrundparameter S													
Untergrundklasse		R		T		S							
Baugrundklasse		A		B		C		C					
S =		<input type="radio"/> 1,00		<input type="radio"/> 1,25		<input type="radio"/> 1,50		<input type="radio"/> 1,00		<input type="radio"/> 1,25		<input type="radio"/> 0,75	
												S =	
$a_g \cdot S \cdot \gamma_I$								=					
Faktor k zur Berücksichtigung eines erhöhten Anteils langer Schubwände													
Anteil Schubwände mit $l \geq 1,99$ m		$< \textcircled{0} 50\%$		$< \textcircled{0} 70\%$		$\geq \textcircled{0} 70\%$							
$k =$		1				$1 + \frac{\ell_{ay} - 2}{4} \leq 2$							
$\ell_{ay} =$ mittlere Wandlänge der betrachteten Schubwände in m								$k \leq 2$					

Mindestfläche an Schubwänden $\min a_{\text{Schub}}$ in der betrachteten Richtung, bezogen auf die Geschoßgrundrißfläche				
Anzahl Vollgeschosse $n_{\text{Vollg.}}$	$\frac{a_g \cdot S \cdot \gamma_I}{9,81 \cdot k}$			
	$\leq \textcircled{0} 0,06$	$\leq \textcircled{0} 0,09^{*)}$	$\leq \textcircled{0} 0,12$	
	Steinfestigkeitsklasse $\geq 12$ nach DIN 1053-1			
$\textcircled{0} 1$	0,02	0,02	0,02	
$\textcircled{0} 2$	0,02	0,03	0,04	
$\textcircled{0} 3$	0,03	0,05	kein	
$\textcircled{0} 4$	0,04	vereinfachter Nachweis zulässig		
*) sofern $a_g \cdot S \cdot \gamma_I / 9,81 \cdot k > 0,09$ müssen mindestens 50% der erforderlichen Wandquerschnittsflächen aus Wänden mit $\ell \geq 1,99$ m bestehen				$a_{\text{Schub}} =$
Grundrißfläche $A$ [m <sup>2</sup> ]				$A =$
erforderliche Schubwandfläche in die betrachtete Richtung erf $A_{\text{Schub}}$ erf $A_{\text{Schub}} = A \cdot a_{\text{Schub}}$ [m <sup>2</sup> ]				erf $A_{\text{Schub}} =$
vorhandene Schubwandflächen in die betrachtete Richtung vorh $A_{\text{Schub}}$				
Anzahl $n$	Länge $\ell$ [m]	Dicke $t$ [m]	Schubwandfläche $n \cdot \ell \cdot t$ [m <sup>2</sup> ]	
		vorh $A_{\text{Schub}}$		
Alle Voraussetzungen zum Verzicht auf einen rechnerischen Nachweis nach Abschnitt 11.6 der DIN 4149 sind erfüllt				$\textcircled{0}$ Ja / $\textcircled{0}$ Nein
Die Mindestschubwandflächen nach Tabelle 15 der DIN 4149 sind in der betrachteten Richtung vorhanden (vorh $A_{\text{Schub}} \geq \min A_{\text{Schub}}$ )				$\textcircled{0}$ Ja / $\textcircled{0}$ Nein