



## Kurzfassung zum Abschlussbericht

**Titel:**

### **Konstruktive Maßnahmen zur Gewährleistung der Erdbebensicherheit im Mauerwerksbau**

**Verifizierung von konstruktiven Maßnahmen zur Gewährleistung  
ausreichender Erdbebensicherheit von üblichen Mauerwerks-  
bauten in erdbebengefährdeten Gebieten Deutschlands  
mit wirklichkeitsnahen Berechnungsmodellen**

Aktenzeichen: Z6-10.07.03-03.09 / II 13 – 80 01 03-09 *1 Bz. Nr.  
F 2475*

**Auftraggeber:**

**Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung**  
Referat II 13  
Deichmanns Aue 31-37  
53179 Bonn

**Auftragnehmer:**

**Technische Universität Dresden**  
Fakultät Architektur  
Lehrstuhl Tragwerksplanung  
Prof. Dr.-Ing. Wolfram Jäger

**Bearbeiter:**

**Prof. Dr.-Ing. Wolfram Jäger**  
**Dr.-Ing. Song Ha Nguyen**  
**Dipl.-Ing. Peter Schöps**

**Datum:**

**22.04.2005**

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung gefördert.

(Aktenzeichen: Z6-10.07.03-03.09 / II 13 – 80 01 03-09)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor

# 1 Einführung

## 1.1 Problemstellung, Ziel der Forschungsaufgabe

Durch Einhaltung der in DIN 4149-1: 1981 bzw. in [1] beschriebenen konstruktiven Grundsätze war es bisher möglich, den Anforderungen der DIN 4149-1: 1981 gerecht zu werden und im Wesentlichen auf gesonderte rechnerische Nachweise zu verzichten, wodurch Mehrkosten für spezielle Maßnahmen zur Erdbebensicherung entfallen oder gering gehalten werden konnten.

Wegen der verschärften Erdbebeneinwirkung nach DIN 4149-1: 2002, DIN 4149-1: 2004 und ENV 1998-1-3 sowie prEN 1998 (EC 8) wurden die Konstruktionsregeln für Mauerwerksbauten ohne rechnerischen Nachweis des Grenzzustandes der Tragfähigkeit für den Lastfall Erdbeben ebenfalls verschärft. Eine Reihe von quantitativen Beschränkungen bezüglich der Geschossanzahl, der Gebäudegestaltung im Grundriss und Aufriss sowie für die Anordnung und die Gesamtfläche der Schubwände wird vorgegeben. Sie können für die in Deutschland üblichen Mauerwerkskonstruktionen eine hohe Hürde darstellen.

Aufgrund der verschärften Erdbebeneinwirkung ist eine Aussage zur Übertragbarkeit der in DIN 4149-1: 1981 beschriebenen konstruktiven Grundsätze bezüglich der Standsicherheit im Lastfall Erdbeben ohne gesonderte Untersuchungen nicht möglich. Jedoch führt die unmodifizierte Anwendung des EC 8 auf Bauwerke aus Mauerwerk dazu, dass viele der bisher in Deutschland üblichen Mauerwerksbauten in erdbebenrelevanten Gebieten nicht mehr ausführbar würden. Außerdem sind die Regeln für Mauerwerksbauten ohne rechnerischen Nachweis des Grenzzustandes der Tragfähigkeit für den Lastfall Erdbeben nach derzeitigen Normen (DIN 4149 oder EC 8) wie z.B. die Anzahl der Vollgeschosse über Gründungsniveau, die maximale Geschosshöhe und die Mindestanforderungen an die auf die Geschossgrundrissfläche bezogene Querschnittsfläche von Schubwänden (bzw. aussteifenden Wänden) empirisch unbegründet und unbefriedigend festgelegt. Diese empirische Festlegung ist von den Stein-Mörtel-Kombinationen unabhängig. Die Beziehung zwischen Geschosshöhe und den Mindestanforderungen an Schubwänden wurde vernachlässigt. Die Wirkung von Ringankern sowie zusätzlicher Bewehrung in Schubwänden wurden ebenfalls nicht berücksichtigt.

Aktuelle Untersuchungen an Einzelscheiben von Ötes bestätigen die stark unterschiedlichen Verformungseigenschaften und horizontalen Tragfähigkeiten zwischen hochfesten Kalksandsteinen mit Dünnbettmörtel (KS20/DM), mittelfesten Ziegeln, Leichtbetonvollsteinen mit Normalmörtel (H12/IIa, V12/IIa) und hochwärmedämmenden Porenbetonsteinen mit Dünnbettmörtel (PP2/DM). Detaillierte Festlegungen für die in Deutschland üblichen Stein-Mörtel-Kombinationen zur Gewährleistung ausreichender Erdbebensicherheit sind daher notwendig.

Das Hauptziel des Forschungsvorhabens ist es, in einem „Schwachbebengebiet“ wie Deutschland auf zusätzliche und vor allem aufwendige Nachweise zu verzichten und stattdessen Stein-Mörtel-Kombinationen und konstruktive Bedingungen auf der Basis von anspruchsvollen theoretischen und numerischen Modellen herauszuarbeiten, mit denen die Erdbebensicherheit in typischen Mauerwerksbauten in Deutschland ohne weitere Nachweisführungen in den üblichen Anwendungsformen gegeben ist und den Effekt der Kosteneinsparung durch Nutzung realitätsnaher mechanischer Analysen mit sich bringen kann.

## 1.2 Lösungsansatz

Der Ansatz der Arbeit besteht darin, für typische Referenzgebäude aus Mauerwerk auf Basis von realitätsnahen FE-Modellen und schrittweiser Verfeinerung den wissenschaftlichen Nachweis für die ausreichende Erdbebensicherheit bzw. deren Grenzen zu führen, um zukünftig in der Praxis auf genauere Nachweise verzichten zu können. Dies gilt vorrangig für die Erdbebenzone 1 nach DIN 4149-1: 2002 bzw. DIN 4149-1: 2004. Die gewonnenen Erkenntnisse lassen sich aber auch auf die anderen Zonen übertragen.

Im Rahmen des Forschungsprojektes werden die unterschiedlichen Materialkombinationen auf ihr Verhalten unter Erdbebenlast untersucht und mechanisch klassifiziert. Weiter sind konstruktive Maßnahmen, wie Größe der aussteifenden Wände, Wirkung von Ringankern sowie steifen Stahlbetondecken, die Wirkung des Baugrundes und der Einfluss der Gebäudegeometrie durch Erfassung in den numerischen Modellen zu analysieren. Zur Kalibrierung der FE-Modelle sollten auch Ergebnisse bereits laufender Erdbebenforschungen, wie z.B. Versuche an Einzelscheiben von Ötes [3], durch Nachstellung genutzt werden. Sie bilden eine gute Basis für eine erhöhte Effizienz der Arbeit.

## 2 Realitätsnahe Mauerwerksanalyse unter Erdbebeneinwirkung

### 2.1 Allgemeines

Zur Beschreibung der Erdbebenbeanspruchung von Mauerwerken werden unterschiedliche numerische Modelle entwickelt. Viele nationale Vorschriften über die Erdbebensicherheit schreiben frequenz- und tragwerksabhängige statische Ersatzlasten für die entsprechende Erdbebenregion vor, die bei dem Nachweis der Tragsicherheit der Konstruktion zu berücksichtigen sind. Beim Ersatzkraftverfahren wird nur eine statische Berechnung durchgeführt. Die Erdbebeneinwirkung wird – wie der Name andeutet – durch eine horizontale statische Ersatzkraft dargestellt.

Das Antwortspektrenverfahren ist für die Anwendung im Hochbau (Türme, Hochhäuser etc.) entwickelt worden. Mit diesem Verfahren werden die maximalen Antworten des Systems auf die Erdbebenanregung bestimmt, wodurch die zeitliche Entwicklung der Antwort des MDOF-Systems (multi-degree-of-freedom-system) verloren geht. Diese Methode ist mehr oder weniger auf lineare Systeme beschränkt. Nichtlineares Verhalten kann nur näherungsweise über einen Duktilitätsfaktor (bzw. Verhaltensfaktor oder Abminderungsfaktor) berücksichtigt werden.

Zur realitätsnahen Mauerwerksanalyse unter Erdbebeneinwirkung ist lediglich die Zeitverlaufsmethode geeignet. Für diese Methode sind die Beschleunigungs-Zeit-Funktion der Bodenbewegung und die realitätsnahe Beschreibung des nichtlinearen Materialverhaltens unter zyklischer Beanspruchung erforderlich.

Die Beschleunigungs-Zeit-Funktion der Bodenbewegung wird in Abschn. 2.2 beschrieben. Zur realitätsnahen Beschreibung des nichtlinearen Materialverhaltens wird ein so genanntes verschmiertes Modell basierend auf der Plastizitätstheorie entwickelt, bei dem die inhomogenen und anisotropen Eigenschaften über Fließbedingungen und Bruchgesetze eines homogenen Vergleichsmaterials abgebildet werden (siehe Abschn. 2.3).

## 2.2 Erdbebeneinwirkung

Für das Erdbebeningenieurwesen stellen Beschleunigungs-Zeit-Funktionen der Bodenbewegung die wichtigsten Daten zur Beschreibung der Erdbebenbelastung dar. Diese Funktionen werden als Erdbebenerrregung für die dynamische Berechnung eines Tragwerkes nach der Zeitverlaufsmethode verwendet.

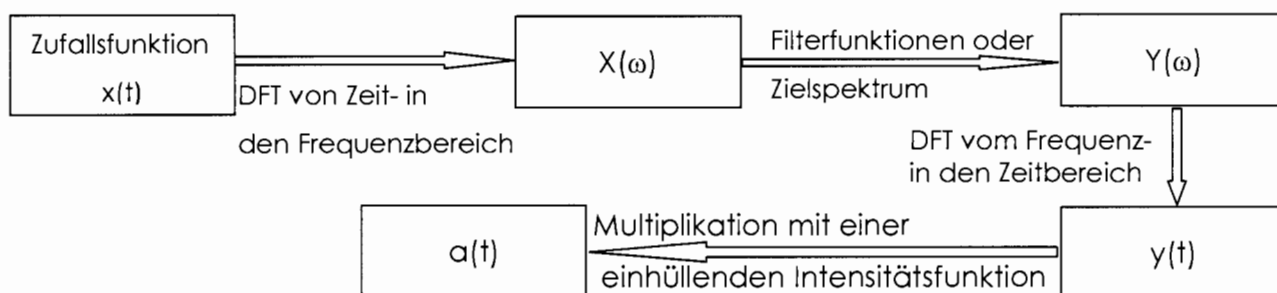


Bild 1 Generierung der Beschleunigungs-Zeit-Funktion

Die Beschleunigungs-Zeit-Funktionen haben i.d.R. einen beliebigen Zeitverlauf, der keine Periodizität aufweist (transiente Belastung). Neben den in diversen Erdbebenbibliotheken vorhandenen Beschleunigungs-Zeit-Funktionen werden künstlich generierte Beschleunigungs-Zeit-Funktionen verwendet. Das Modell zur Erzeugung einer Beschleunigungs-Zeit-Funktion ist in Bild 1 skizziert.

In Bild 2 ist beispielhaft eine horizontale Beschleunigungs-Zeit-Funktion für die Erdbebenzone 1 ( $a_g = 0,4 \text{ m/s}^2$ ) und Kombination von geologischem Untergrund und Baugrund CT dargestellt, die auf Grundlage des in Bild 3 abgebildeten Antwortspektrums (nach DIN 4149-1: 2004) generiert worden ist.

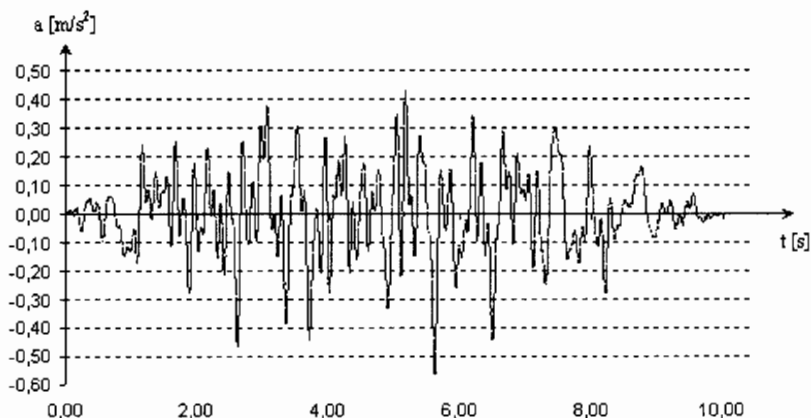


Bild 2 horizontale Bodenbeschleunigungs-Zeit-Funktion ZV1 für die Erdbebenzone 1 ( $a_g = 0,4 \text{ m/s}^2$ ) und die Boden-Baugrund-Kombination CT (E DIN 4149 2004-05)

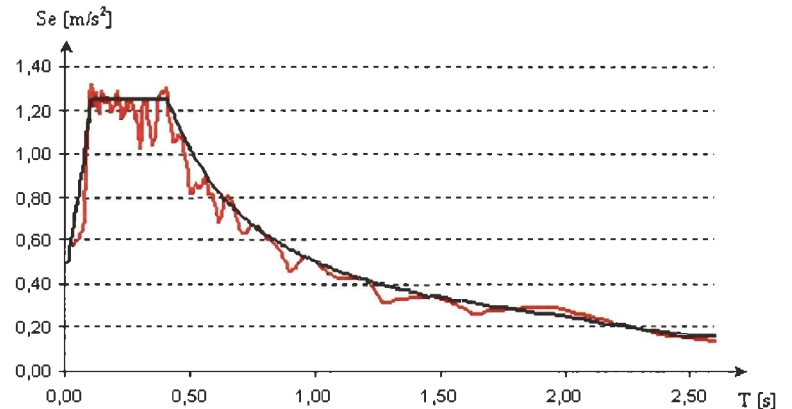
## 2.3 Stoffgesetz von Mauerwerk

### 2.3.1 Materialmodell

Zur Beschreibung des nichtlinearen Materialverhaltens von Mauerwerk wird im Rahmen dieser Arbeit ein einfaches und robustes Stoffgesetz auf Makroebene auf Grundlage der Plastizitätstheorie entwickelt. Mit diesem Stoffgesetz kann das zyklische elasto-plastische Verhalten wirklichkeitsnah simuliert werden. An jedem Querschnittspunkt kann somit das

Materialverhalten im inelastischen Bereich sowie die fortschreitende Materialschädigung (Entfestigungseffekte) erfasst werden.

Bild 3 elastisches horizontales Antwortspektrum für die Erdbebenzone 1 ( $a_g = 0,4 \text{ m/s}^2$ ) und die Boden-Baugrund-Kombination CT sowie das Antwortspektrum der Bodenbeschleunigungs-Zeit-Funktion ZV1



Aufgrund der Vielzahl möglicher Versagensmechanismen von Mauerwerk werden die Fließflächen aus den Bruchbedingungen abgeleitet. Als Versagenskriterien unter kombinierter Schub- und Vertikalbeanspruchungen werden die Bruchbedingungen des Schubmodells von Mann/Müller verwendet (siehe Bild 4). Die erste Versagensart, das Haftzugversagen, tritt ein, wenn die Vertikalspannung eine Zugspannung wird und die Haftzugfestigkeit zwischen Stein und Mörtel überschreitet. Die zweite Versagensart wird maßgebend, wenn die Hauptzugspannung die Scherfestigkeit zwischen Stein und Mörtel überschreitet. Bei Steinzugversagen ist davon ausgegangen worden, dass die größte Schubspannung in Steinmitte auftritt und somit zusammen mit der vertikalen Spannung an dieser Stelle auch die größte Hauptzugspannung vorhanden ist. Bei der dritten und letzten berücksichtigten Versagensart handelt es sich um das Druckversagen, dass mit zunehmender Schubspannung schon bei immer geringeren Druckspannungen eintritt.

Vorteil des Modells ist die geringe Zahl der Eingangsparameter, die im Wesentlichen denen der Schubbemessung nach DIN 1053-1 entsprechen. Die plastischen Dehnungen im Fall des Reibungsversagens in der Lagerfuge werden nicht beschränkt, da sich in Versuchen bei diesem Kriterium ein nahezu ideal-plastisches Verhalten ohne erkennbaren Tragfähigkeitsverlust zeigte. Für das Kriterium „Druckversagen“ wird eine aus einaxialen Versuchen hergeleitete Arbeitsverfestigungsbeziehung angesetzt. Das Bruchverhalten wird dabei durch die Entfestigung nach dem Erreichen der Maximalbeanspruchung sowie durch die Beschränkung der maximalen Dehnung erfasst. Die im Fall des Steinzugversagens auftretenden Risse werden durch eine lineare Entfestigungsbeziehung verschmiert abgebildet.

Für die Beanspruchungsrichtung parallel zu den Lagerfugen wird linear-elastisches Verhalten angenommen. Da die Spannungen und Dehnungen in dieser Richtung bei den hier betrachteten Beanspruchungssituationen gering sind und deutlich unter experimentell ermittelten Festigkeitswerten liegen, werden dahingehend keine Versagenskriterien oder Fließregeln angesetzt.

1.  $\tau_{R,1} = (\beta_{HZ} + \sigma) \cdot \frac{\ddot{u}}{h}$
2.  $\tau_{R,2} = (\beta_{HS} + \mu \cdot \sigma) \cdot \frac{1}{1 + \mu \cdot \frac{h}{\ddot{u}}}$
3.  $\tau_{R,3} = 0,45 \cdot \beta_{RZ} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma}{\beta_{RZ}}}$
4.  $\tau_{R,4} = (\beta_R - \gamma \cdot \sigma) \cdot \frac{\ddot{u}}{h}$

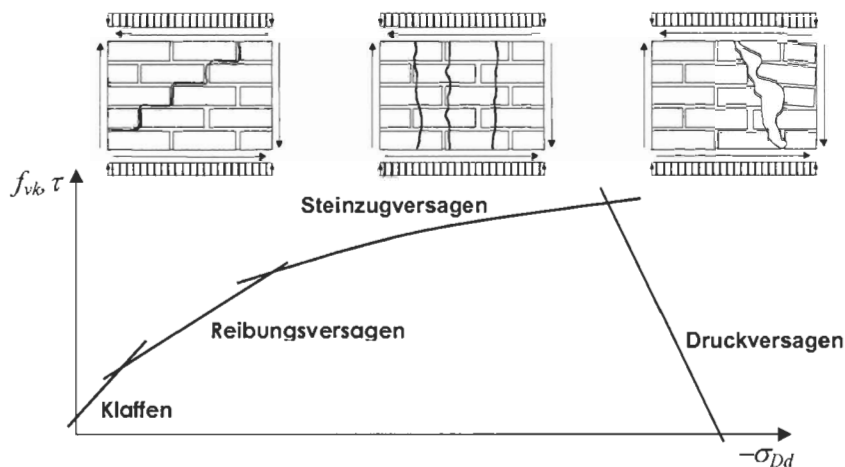


Bild 4 Versagensarten und Abhängigkeit der zulässigen Schubspannung nach Mann/Müller

### 2.3.2 Implementierung in ANSYS

Für die numerischen Analysen wird das FE-Programmsystem ANSYS verwendet, mit dem seit vielen Jahren am Lehrstuhl Tragwerksplanung gearbeitet wird.

Das bekannte, oben dargestellte Stoffgesetz wird in ANSYS mit Hilfe einer Benutzerroutine implementiert. Die Knotenverschiebungen sowie Dehnungen in den Integrationspunkten in jedem bestimmten Zeitschritt bzw. Zeitpunkt werden vom Differentialgleichungssystem (DGL-System) für das dynamische Kontengleichgewicht mit Hilfe des NEWMARKSchen Operators und des modifizierten NEWTON-RAPHSON-Verfahrens errechnet. Zusammen mit den Spannungen und Dehnungen des vorhergehenden Zeitschrittes werden die Zustandsgrößen der Benutzerroutine für jeden Integrationspunkt übergeben. Die resultierenden Spannungen sowie die Tangentensteifigkeit  $K_T$  werden an das Hauptprogramm zurückgeführt. Auf Systemebene werden am Ende des Iterationsschrittes die Residualkräfte ermittelt und für den Fall, dass diese die festgelegten Toleranzkriterien nicht erfüllt, wird ein neuer Iterationsschritt mit aktualisierten Zustandgrößen aus der Benutzerroutine durchgeführt.

Der Weg der Beschränkung auf ein zweidimensionales, verschmiertes Materialmodell im Rahmen von 3D-Modellierungen wird aus Gründen der Aufwandsbeschränkung gegangen. Die Vorgehensweise ist für die gesetzte Zielstellung ausreichend.

### 2.3.3 Überprüfung des Materialmodells

Zur Überprüfung des oben entwickelten Stoffgesetzes werden die Versuche von Ötes nachgestellt und die Ergebnisse miteinander verglichen (siehe Bild 5). Der Vergleich der beiden Kraft-Verformungsbilder zeigt, dass die Bruchlast in der Nachrechnung gut erfasst wird, die Bruchverformung des Versuchs jedoch deutlich größer als die Bruchverformung der Nachrechnung ist. Ein Grund dafür ist die Diskontinuität infolge Rissbildung im Mauerwerk beim Versuch, die von der Kontinuumsmechanik nicht erfasst wird.

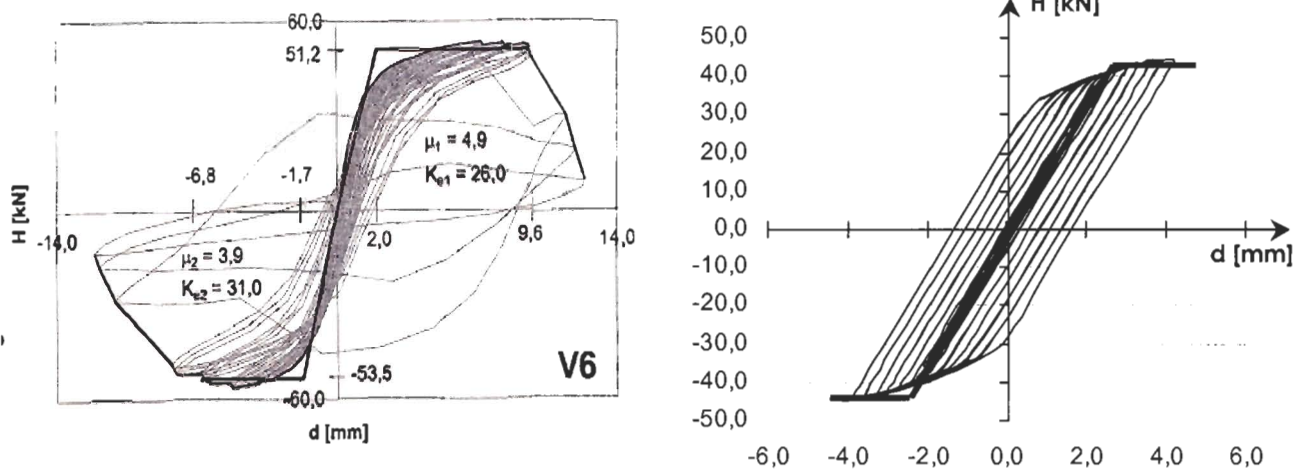


Bild 5 Hysterese des Versuchs V6 von Ötes und Ergebnis der Nachrechnung

### 3 Numerische Untersuchungen

Die numerischen Untersuchungen in dieser Arbeit konzentrieren sich auf die in Deutschland üblichen Stein-Mörtel-Kombinationen. Das Spektrum reicht von hochfesten Kalksandsteinen mit Dünnbettmörtel (KS20/DM) über mittelfeste Ziegel und Leichtbetonsteinen mit Normal- und Leichtmörtel (Hz6/LM21, Hz12/IIa, V6/LM21 und V12/IIa) bis zu hochwärmedämmenden Porenbetonsteinen mit Dünnbettmörtel (PP2/DM, PP4/DM).

Erdbebenbelastungen werden als generierte Bodenbeschleunigungs-Zeit-Funktionen dargestellt. Bei der numerischen Untersuchung werden die Bodenbeschleunigungs-Zeit-Funktionen für Erdbebenzone 1 mit den ungünstigsten Untergrundverhältnissen C-T und C-R verwendet. Wenn ein Gebäude bei diesen Untergrundverhältnissen als standsicher nachgewiesen werden kann, ist der Nachweis auch für die anderen Untergrundverhältnisse als erfüllt zu betrachten.

In der Arbeit werden einige typische Mauerwerksbauten (Standardreihenmittelhaus, Mehr- und Einfamilienhäuser) untersucht, um die Mindestwerte für die horizontalen Schubwandquerschnittsflächen (in Prozent der Geschossgrundrissfläche) in Abhängigkeit von der Stein-Mörtel-Kombination und Geschosshöhe festzulegen. Die Mindestlängen der Innenwände bzw. die Mindestwerte der horizontalen Schubwandquerschnittsfläche, in Prozenten der Gesamtfläche der Geschossdecke, für den Nachweis der Standsicherheit unter Erdbebeneinwirkung, sind für zwei unterschiedliche Schädigungszustände mit Hilfe einer numerischen Parameterstudie bestimmt worden. Beim ersten Zustand (Schädigungszustand I) tritt fast keine Schädigung ein. Die Rissbreiten in den Mauerwerkswänden unter Erdbebeneinwirkung sind kleiner als 0,1 mm. Beim zweiten Zustand (Schädigungszustand II) werden größere Schädigungen zugelassen. Es kommt aber noch nicht zum Versagen des Mauerwerks. Die Rissbreiten können größer als 0,1 mm werden.



Um eine möglichst genaue Abbildung der Mauerwerksbauten untersuchen zu können, wurde hier ein 3D-Modell mit Volumenelementen verwendet (siehe Bild 6). Das nichtlineare Verhalten der Stein-Mörtel-Kombinationen wird mit Hilfe des implementierten Materialgesetzes nach Mann/Müller (siehe Abschn. 2.3) berücksichtigt. Das nichtlineare Verhalten von Ringanker und Stahlbetondecken wird vernachlässigt und mit elastischen Volumenelementen (SOLID 45) modelliert.

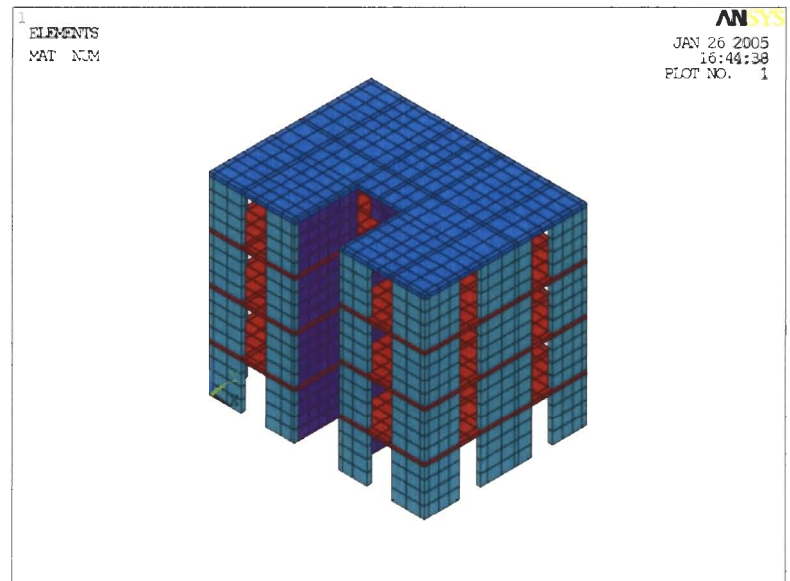


Bild 6 FE Modell für das Referenz-Mehrfamilienhaus (ab OKG)

## 4 Bewertung der Ergebnisse und Ausblick

In dieser Arbeit wurden die Anforderungen für Schubwände in Abhängigkeit von der Stein-Mörtel-Kombination, der Geschosshöhe und der Anzahl der Vollgeschosse für einige typische Referenz-Mauerwerksbauten auf der Basis von realitätsnahen numerischen Modellen festgelegt.

Die numerische Untersuchung eines 2½-geschossigen Standardreihenmittelhauses mit Holzdachkonstruktion hat gezeigt, dass die Anforderungen für Schubwände bei der Stein-Mörtel-Kombinationen KS20/DM, HLz6/LM21 - HLz12/IIa, V6/LM21 - V12/IIa fast identisch mit den Anforderungen nach DIN 4149-1: 2004, und günstiger als die Anforderungen nach prEN 1998-1 sind. Die Anforderungen für Schubwände bei der Stein-Mörtel-Kombination PP2/DM - PP4/DM sind viel günstiger als die Anforderungen nach DIN 4149-1: 2004 (bis zu 26,7% weniger Schubwandfläche). Der Einbau eines Ringankers führt zur Verringerung der erforderlichen Schubwandquerschnittsfläche (ca. 10 Prozent). Die erforderlichen Schubwandquerschnittsflächen sind stark abhängig von der Geschosshöhe und der Stein-Mörtel-Kombination. Die benötigte Schubwandquerschnittsfläche für PP2/DM - PP4/DM ist ca. 50% größer als die für KS20/DM im Schädigungszustand II.

Bei dem untersuchten Mehrfamilienhaus sind die benötigten Schubwandquerschnittsflächen neben den genannten Einflüssen stark von der Anzahl der Vollgeschosse abhängig. Für das ein- und zweigeschossige Mehrfamilienhaus ist der Erdbebennachweis im Schädigungszustand II schon bei maximaler Fensteröffnung in Querrichtung und der Mindestlänge der Schubwände (0,75 m) erfüllt. Für drei- und viergeschossige Mehrfamilienhäuser sind die Anforderungen für Schubwände deutlich niedriger als die nach DIN 4149-1: 2004 festgelegten Anforderungen. Für die Materialkombination 4 (PP2/DM - PP4/DM) ist der Mindestwert für die Schubwandquerschnittsfläche für das dreigeschossige Mehrfamilienhaus um bis zu 50% geringer im Vergleich mit dem nach DIN 4149-1: 2004 festgelegten Wert. Insbesondere wurde durch die numerische Untersuchung gezeigt, dass die Materialkombination 4 (PP2/DM - PP4/DM) auch für viergeschossige Mehrfamilien-

häuser verwendet werden kann, obwohl diese Materialkombination nach DIN 4149-1: 2004 nicht verwendet werden darf. Die berechneten Mindestwerte für die Materialkombinationen KS20/DM, HLz6/LM21-HLz12/IIa und V6/LM21-V12IIa für viergeschossige Gebäude sind wesentlich niedriger als die nach prEN 1998-1 festgelegten Anforderungen und fast identisch mit den Anforderungen nach DIN 4149-1: 2004.

Bei Einfamilienhäusern ist die benötigte Schubwandquerschnittsfläche nicht so sehr von der Stein-Mörtel-Kombination und der Geschosshöhe abhängig, sondern hauptsächlich von der Lage des Schubmittelpunktes. Das heißt die Position der Innenwände hat eine wesentliche Bedeutung.

Die durchgeführten Untersuchungen beziehen sich ausschließlich auf Mauerwerksbauten in der Erdbebenzone 1. Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse können aber auch auf die anderen Zonen übertragen und erweitert werden.

Die Auswirkungen weiterer zusätzlicher konstruktiver Maßnahmen auf die benötigten Schubwandquerschnittsflächen sind in Zukunft weiter zu untersuchen. So sind z.B. mit Stahlbetonstützen eingefasste Schubwände und bewehrte Schubwände von besonderem Interesse. Des Weiteren sind andere Fugenstärken für die erste und die letzte Lagerfuge, textile Bewehrung und so genannte „Corner-Gap“ Elemente auf ihre Auswirkungen zu untersuchen.

Um den Einfluss von Bewehrung abschätzen zu können sind in dieser Arbeit bereits punktuell einige Varianten des Mehrfamilienhauses unter statischen Belastungen mit und ohne Bewehrung gerechnet worden. Als erstes Ergebnis kann zusammengefasst werden, dass bei den untersuchten Varianten mit Porenbetonsteinen eine Laststeigerung von mind. 14% für den Risszustand II und auch für die maximale Traglast durch eine zusätzliche Bewehrung erreicht werden konnte. Eine erste Berechnung für eingefasstes Mauerwerk hat ebenfalls eine Steigerung der horizontalen Tragfähigkeit des Gebäudes ergeben. Allerdings ist hierzu eine feinere Vernetzung notwendig, welche zu einem höheren Rechenaufwand führt. Eine eingehende Voruntersuchung war im Rahmen dieses Forschungsprojektes somit nicht möglich.

## 5 Quellen

- [1] Döring, W.: *Erdbebensicher Bauen. 5. unveränderte Auflage*. Hrsg.: Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, November 2001
- [2] Jäger, W.; Nguyen, S.H.: Erdbebenbeanspruchung von Mauerwerk – Numerische Simulation zur Bewertung der Tragwerksschädigung. In: Brameshuber, W.; Schuber, P. (Hrsg.): 30. *Aachener Baustofftag „Mauerwerk“*. Festschrift zum Dank an Dr.-Ing. Peter Schubert, Aachen 2004, 175-191
- [3] Ötes, A.; Löring, S.: *Tastversuche zur Identifizierung des Verhaltensfaktors von Mauerwerksbauten für den Erdbebennachweis*. Abschlussbericht des Lehrstuhls für Tragkonstruktionen, Universität Dortmund 2003
- [4] Nguyen, S.H.; Jäger, W.: Damage Analysis of Masonry Structures under Earthquake Action using ANSYS-Software. In: 22. *CAD-FEM Users' Meeting 2004*, Intern. Congress on FEM Technology and ANSYS CFX & ICEM CFD Conference, Dresden 2004