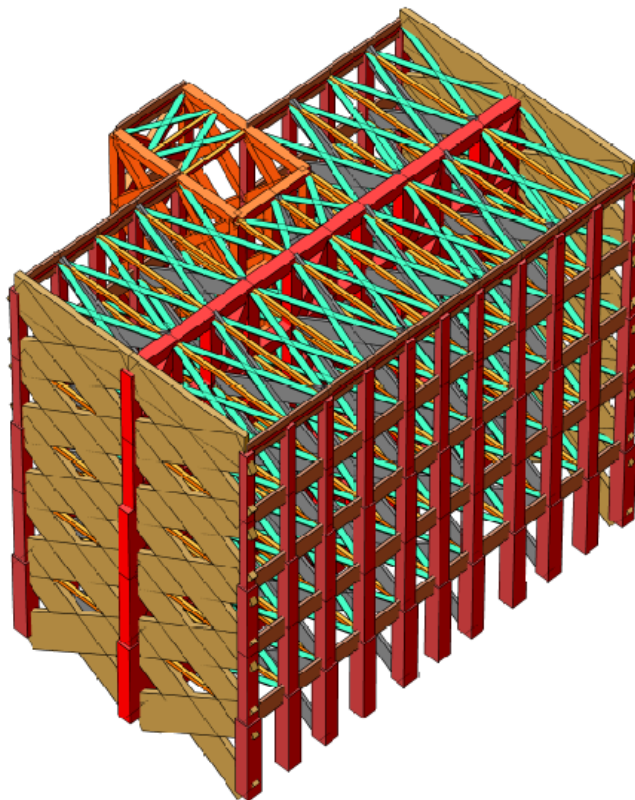


ERDBEBENBEANSPRUCHUNG EINES GRÜNDERZEITHAUSES

Untersuchung des Zustandes des Gebäudes

vor- und nach einem DG-Ausbau

mittels Fachwerksmodell (CAT)



Seiten: 1 - 6
Anlagen: CAT 1 und 2

Verfasser: Dimitrios Stefanoudakis

Mitarbeit: Peter Bauer
Erich Kern
Alexander Krakora

Datum: Wien, am 05. November 2008

Die im Grundlegendokument E03 der Ingenieur- und Architektenkammer beschriebene Methode kann selbstverständlich in 3D-Modellen weiterentwickelt werden. Die technischen und rechtlichen Hinweise des Dokumentes bleiben davon unberührt.

Im vorliegenden Dokument wird ein Gebäude aus Mauerwerk als Fachwerk (Truss) simuliert. Die Methode ist in Anlehnung zu ÖNORM B 4015 v. 2007-02-01 Anhang D.3.2 und EC8 Kap. 9.4 entwickelt worden. Ähnliche Modelle werden seit längerem im Betonbau verwendet, siehe zB: <http://www.baufachinformation.de/artikel.jsp?v=215828> (Fachwerksanalogie nach Prof. Schleich).

Bei der Methode, kurz **CAT** getauft (**C**omputer **A**ided **T**russ-model), werden die vertikalen AW-Pfeiler als rechteckige Biegestäbe, die horizontalen Parapete als Koppelbalken modelliert. Die Feuermauer (FM) und die Scheidewände (SW) werden als geneigte X-förmige Fachwerksstreben modelliert. Die Mittelmauer (MM) wird als Fachwerk mit den Randpfeilern als Biegestäbe, die waagrecht und geneigten Streben der Kaminbereiche werden als quadratische Fachwerksstreben modelliert, um den Kaminzügen Rechnung zu tragen. Die X-förmigen Streben der Feuermauer und der Scheidewände wurden in den Beispielen im Anhang mit der Breite t des Querschnitts und mit der mitwirkenden Höhe $6xt$, maximal jedoch $1/2$ Länge zwischen den angrenzenden senkrechten Biegestäben, modelliert.

Türöffnungen bis zu einer Öffnungsbreite von bis zu einem Viertel der Scheibenlänge werden lt. EC8 nicht berücksichtigt. Weiters geht es hier lediglich um eine Vergleichsberechnung. Die Tram- und DB-Decken werden so berücksichtigt, dass lediglich jeder AW-Pfeiler mit nur einem Tram abstützend verbunden wird. Eine mitwirkende Breite der schubbeanspruchten Wände wird wie im Anhang D der B4015 oder EC8 Kap. 9 nicht berücksichtigt, kann aber berücksichtigt werden. In diesem Fall entfallen die X-förmigen Streben.

Insgesamt sollten die Steifigkeiten der Ersatzstäbe so gewählt werden, dass das Verformungsverhalten des Bestandes möglichst „real“ abgebildet wird. In Zweifelsfällen ist nach dem Grundsatz des Grundlegendokumentes E03-18072008 der Ingenieur- und Architektenkammer vorzugehen: lastabgebende Bauteile sind in der Steifigkeit eher zu überschätzen, lastaufnehmende Bauteile sind eher zu unterschätzen. Im Modell wird der „gerissene“ E-Modul (und G-Modul) angesetzt, wie in den o.a. Normen beschrieben wird.

Die Ergebnisse liegen unter den o.a. Voraussetzungen auf der sicheren Seite. Im Modell werden übliche elastische Stäbe verwendet. Die Kräfte werden lediglich im Vergleich „Nachher-Vorher“ ausgewertet. Zugkräfte würden zur Rissbildung führen. Zugspannungen in Mauerwerkstäben haben daher keine physikalische Relevanz. Es werden die Druck- und Schubspannungen verglichen, zu Vergleichszwecken die Vergleichsspannungen der Druckstäbe berechnet. Es wurden auch Systeme mit Stäben untersucht, welche nur Druckkräfte aufnehmen können. Der Mehraufwand dieser Methode lohnt sich für Vergleichszwecke nicht. Vergleichende Untersuchungen mit nicht linearen Elementen finden sich u.a. in K. Meskouris „Bauwerke und Erdbeben“, Seite 210 ¹.

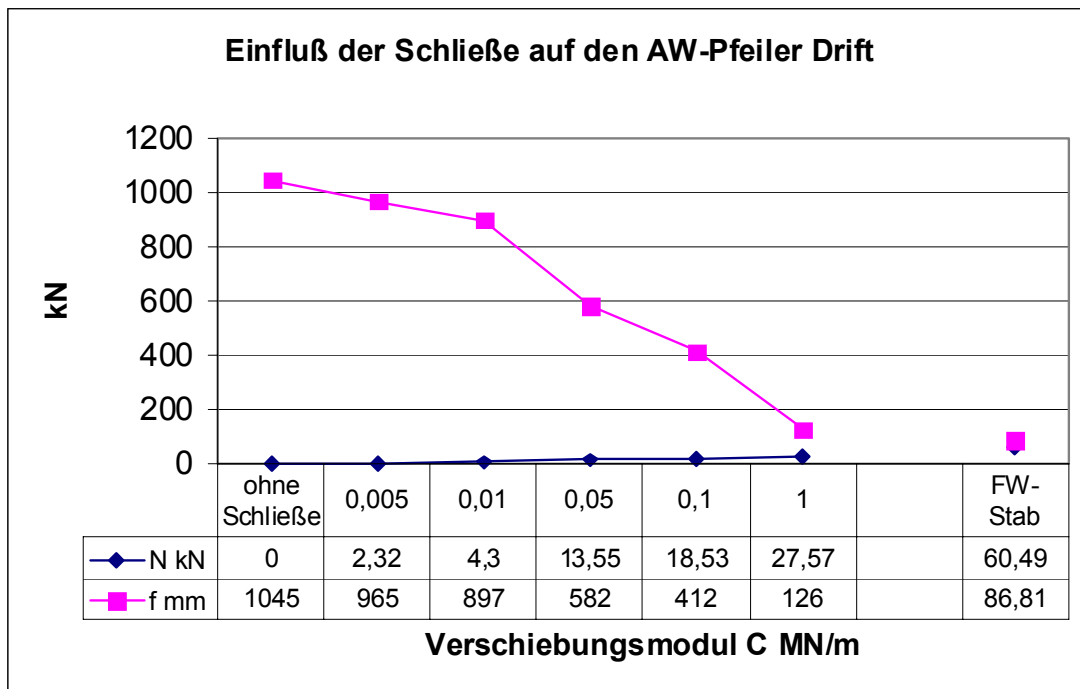
Anmerkung zu den Holzdecken des Bestandes:

Die bestehenden Holzdecken sind sehr wahrscheinlich nicht genügend schubsteif, sie sind somit nicht in der Lage, Horizontalkräfte an stärkere Bauteile zu verteilen. Sie wirken aber abstützend und verbinden die senkrechten Bauteile miteinander. Die Verbindung erfolgte in den Gründerzeithäusern in der Regel mittels Stahlschließen. Dabei wird jeder Außenwandpfeiler mit mindestens einer Tram mittels der zugehörigen Schließe mit der Mittelmauer verbunden. Sie dienen der Knickhaltung des Pfeilers. Bei der Untersuchung von historischen Bauten, zB des Aachener Doms von Prof. Meskouris, wurden die Schließen besonders berücksichtigt. Die bestehenden Holzdecken des Hauses werden in diesem Modell schwach schubfest modelliert. Es wird, wie oben angeführt, jeder AW-Pfeiler mit einer Tram verbunden. Zusätzlich werden die Träme mit Querstreben, welche die Schalung darstellen sollen, verbunden. Hier werden die abstützenden Holzdecken mit einem Tram, welcher mittels Schließen an die vertikalen Mauerwerksteile verbunden ist, mit einer Lagerfeder modelliert. Das Verschiebungsmodul von verschiedenen Verbindungsmitteln im Holz mit starren Materialien wie Beton und MW liegt, lt Prof.Dr. König, Leipzig ², zwischen 600 und 25.000 MN/m, für Altnägel und Stifte kann

¹ Konstantin Meskouris, Klaus-G Hinzen: Bauwerke und Erdbeben. Grundlagen -Anwendung - Beispiele, Vieweg Verlag, Wiesbaden 2003

² König, Holschmacher, Dehn: Holz-Beton-Verbund. Innovation im Bauwesen. Beiträge aus Praxis und Wissenschaft. Bauwerk Verlag GmbH, Berlin 2004

ein $C \geq 1 \text{ MN/m}$ angenommen werden. Der Einfluss der Steifigkeit der Schließen auf die Verformung eines AW-Pfeilers wird im Folgenden grafisch angegeben:



Für diese Berechnung ist eine noch genauere Modellierung des Tramanschlusses, der Scheidewände und der Drenpelmauer nicht erforderlich, da es Grundsätzlich um den Vergleich des Bestandshauses ohne DG-Leicht mit schubsteifer Decke zum Bestandshaus nach Ausbildung der obersten Decke des Gebäudes als schubsteife Decke inklusive DG-Leicht geht. Dabei ist sehr wichtig, dass das Gebäudemodell in beiden Zuständen gleich bleibt. Es werden nur die schubsteife Decke und die Zusatzlasten hinzumodelliert. Die Schließe wird mit dem Verschiebungsmodul $C=1 \text{ MN/m}$ berechnet, obwohl Verschiebungsmodule $>0,05 \text{ MN/m}$ zu große Zugkräfte in der Verbindung erzeugen. Wir wollen, solange keine Versuchsergebnisse vorliegen, vermeiden, dass das Bestandsgebäude „zu weich“ modelliert wird, um dieses dann auf einfache Weise aussteifen zu können. Bei Modellierung der Tram samt Schalung soll die Summe der Verschiebungsmodule 1 sein. Der Tram wird mit dem tatsächlichen Querschnitt eingegeben, die Schalung mit der Höhe $2 \times 2,5 = 5 \text{ cm}$ und einer mitwirkenden Breite von $6 \times t = 30 \text{ cm}$ mit dem halben E-Modul des Holzes modelliert. Tatsächlich braucht man die Schalung nur für die Untersuchung in der Längsrichtung, um plausible Ergebnisse zu erhalten. Bei annähernd symmetrischen Eckhäusern kann die Modellierung der Schalung entfallen.

Letztendlich bewirkt die abstützende Holzdecke in Verbindung mit der schwachen Plattenwirkung der Mauerwerkswände einen Ausgleich der Verformungen in beiden Richtungen. Dieser Ausgleich kann, programmtechnisch, auch mit einer elastischen Koppelung der Verdrehungen der nicht durch Scheidewände gehaltenen Außenwandpfeiler an die Verdrehung der Mittelmauer in der Querrichtung bzw. der Verdrehung der Feuermauer an die Mittelmauer in der Längsrichtung modelliert werden. Es wird die gleiche Verschiebung $f \sim 120 \text{ mm}$ wie für $C=1 \text{ MN/m}$ für einen Tramstab berechnet. Der Vorteil ist eine raschere Modellierung des Gebäudes.

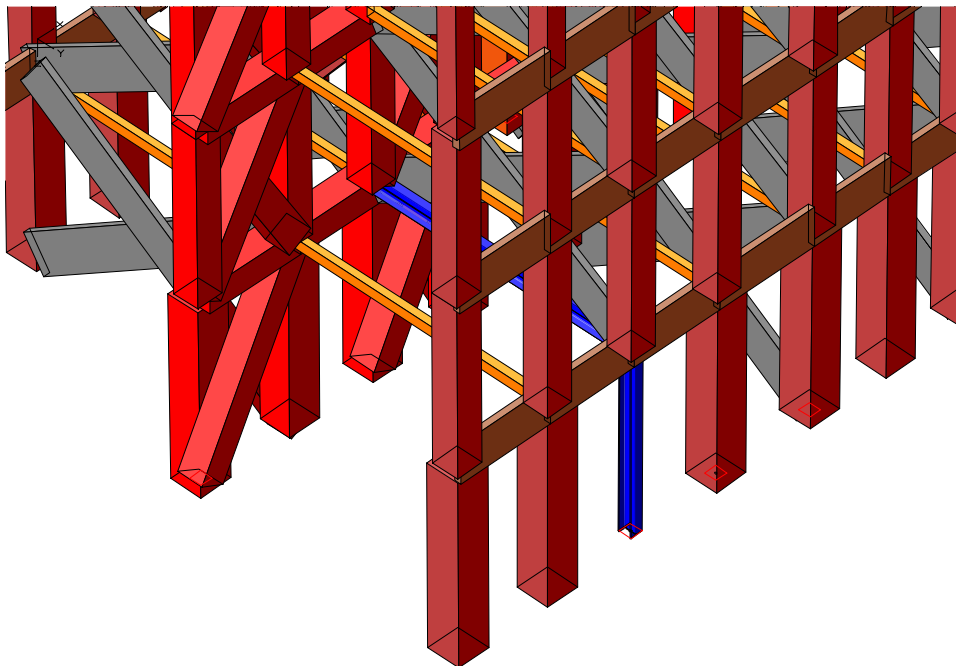
Die Berechnungen der Modelle CAT1 und 2 in der Anlage werden konservativerweise mit Tram und Schalung berechnet.

Nach der Modellierung des Bestandsgebäudes werden die Erdbebenlasten analog des Grundlagendokumentes E03-18072008 ermittelt und den Wandscheiben zugeordnet. Die aus dem Modell ermittelten Kräfte können zur Berechnung der Kapazität wie in der Musterstatik E03-18072008 gezeigt, verwendet werden. Die Grundaussage allerdings, ob das Gebäude nach einem DG-Ausbau besser oder schlechter geworden ist, ist aus den Ergebnissen der beiden Modelle direkt ablesbar. Es wären dann in den meisten Fällen keine weiteren Kapazitätsnachweise notwendig.

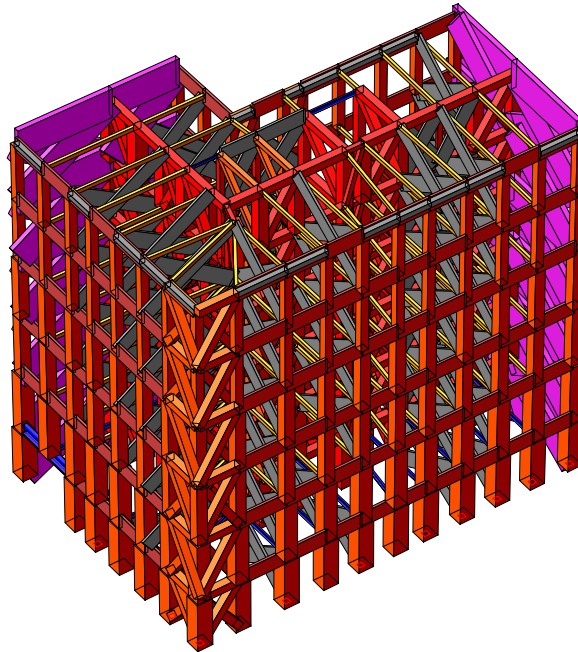
Für Vergleichszwecke und zur Überprüfung des Modells können die Lasten auch mittels Wichtungsfaktoren eingegeben werden. Werden die Schnittkräfte für die Ermittlung der Kapazität oder für normenmäßige Nachweise verwendet, muss man die Lasten auch normenmäßig verteilen, wie im Grundlagendokument E03 der Ingenieur- und Architektenkammer gezeigt. Lastkonzentrationen sind besonders zu berücksichtigen.

Die Methode würde auch weiterführende Untersuchungen wie zB. nach dem Antwortspektrum etc. ermöglichen, wenn Erkenntnisse über das Verhalten in mehreren Schwingformen und die dabei auftretenden Frequenzen vorliegen. Man könnte auch Ergebnisse aus Versuchen ins Modell einfließen lassen. Es können auch Bauteile mit anderen Materialien außer MW (z.B. Rahmen wie in der u.a. Grafik) untersucht werden und Effekte aus Veränderungen (zB. Abbruch einer Scheidewand) leicht verglichen werden. Es könnte auch die Baugrund/Gebäude-Interaktion berücksichtigt werden.

Eine Wand kann zB. im EG abgetragen und durch einen Stahlrahmen ersetzt werden. Mit der Methode kann der Effekt dieser Maßnahme überprüft werden.



Mit der CAT-Methode können Gebäude beliebiger Geometrie berechnet werden, wie zB ein Eckhaus:



Im Folgenden werden 2 Modelle mit der Normlast berechnet (Siehe Musterstatik E03-18072008):

CAT 1 - Der bestehende Altbau im Ist-Zustand

CAT 2 - Der bestehende Altbau mit der VB-Decke als Scheibe (i.M. 7 cm STB) nach Ausbau

Erläuterungen zur Ermittlung der Spannungen und zum Ausdruck des hier verwendeten Programms © InfoGraph

Es werden die Längs- und Schubspannungen für polygonal berandete, homogene Querschnitte infolge Längskraft, Biegemomente, Querkräfte und ggfs. Torsionsmomente berechnet. Die Ermittlung der Schubkenngößen erfolgt nach der Boundary-Element-Methode. Die Berechnungspunkte für alle Spannungen sind Randpunkte des Querschnitts. Die ausgegebenen Schubspannungen verlaufen längs der Querschnittsränder.

Sigma: Längsspannungen
Sigma.v: Vergleichsspannungen
Tau.xy,xz : Schubspannungen aus Querkräften und ST.VENATscher Torsion
x: Ort im Stab, gemessen vom Stabanfang [m]
y, z: Ort im Querschnitt [m]
Einheiten: Spannungen [MN/m²], Schnittgrößen [kN, kNm]

Anmerkung: Bei den MW-Pfeilern können die ermittelten Spannungen direkt abgelesen werden. Bei Wänden, welche mittels vertikalen Biegestäben und geneigten Streben modelliert worden sind, wie die FM und die MM, führt die Methode zur Spannungskonzentrationen im Bereich der vertikalen Biegestäbe. Man kann diese korrigieren, indem man die Schnittkräfte mit den tatsächlichen mitwirkenden Wand-Querschnitten, wie im Anhang D der B4015 oder EC8 Kap. 9, berechnet. Bereiche mit Lastkonzentrationen, wie Kamin- und Türöffnungen, sind besonders zu berücksichtigen.

Zusammenfassung der Ergebnisse:

	Modell		Bestand	DG-Ausbau+ssDecke
			CAT 1	CAT 2
	Drift MM / FM / SW - Querrichtung	[mm]	61,52	29,37
	Drift AW-Pfeiler - Querrichtung	[mm]	92,62	54,62
MM	N	[kN]	1.350,70	1.311,86
	Q	[kN]	29,42	29,68
	M	[kNm]	117,59	115,46
	Sigma v	[MN/m ²]	1,99	1,90
AW	N	[kN]	1.103,72	1.409,42
	Q	[kN]	20,36	18,13
	M	[kNm]	74,44	69,74
	Sigma v	[MN/m ²]	3,03	3,21
FM	N	[kN]	272,23	411,23
	Q	[kN]	35,56	46,89
	Sigma v	[MN/m ²]	0,53	0,78
SW	N	[kN]	187,87	179,51
	Q	[kN]	8,89	9,44
	Sigma v	[MN/m ²]	1,40	1,34

Die Verbesserung ist am deutlichsten bei der Verformung der nicht durch Scheidewände gehaltenen Außenwandpfeiler zu sehen (bei Annahme einer Decke ohne Schubsteifigkeit). Es wird grundsätzlich die FM höher beansprucht. Diese hat aber genügend Reserve, die Lasterhöhung aufzunehmen. Genauer kann die tatsächliche Kapazität, wie in der Musterstatik gezeigt, unter Zugrundelegung der ermittelten Schnittkräfte berechnet werden.

Die Ergebnisse sind plausibel, bei Einbau der schubsteifen Decke werden die Bauteile im oberen Teil des Gebäudes steifer miteinander verbunden. Dadurch findet eine Umlagerung der Erdbebenkräfte von schwächeren auf stärkere benachbarte Bauteile statt. Praktisch kann eine gleiche Verformung der Wandköpfe im Obergeschoß angenommen werden. Die Verteilung der Erdbebenkräfte an die aussteifende Wände kann aus den Ergebnissen der CAT durch die Kontrolle der Auflagerreaktionen rasch auch mit einfachen Formeln (s. zB. Tragwerke Seite 136 von Pech, Kolbitsch, Zach³) oder wie in der Musterstatik gezeigt, verifiziert werden. Die Übereinstimmung der CAT mit diesen beiden Rechenmodellen ist besser, wenn lange Wände wie zB. die FM halbiert und als Wandreihe betrachtet werden.

Es ist wichtig, dass beide Richtungen untersucht werden. Für bestimmte Gebäude oder für bestimmte Teile eines Gebäudes kann auch die Längsrichtung maßgebend sein. Im aktuellen Beispiel trifft dies auf die AW zu. Dies ist dadurch bedingt, weil den abstützenden Holzdecken aus Vorsichtsgründen keine volle Quersteifigkeit zugewiesen wurde (Ankopplung der Pfeiler an die Mittelmauer) und weil das Parapet als horizontaler Koppelbalken modelliert wurde. In Wien gibt es Häuser mit schlanken Parapeten und solche mit hohen, etwa quadratischen Parapeten. Diese können als X-formige Streben modelliert werden. Es ergibt sich dann eine höhere Längssteifigkeit.

Zusammenfassend haben die Berechnungen gezeigt:

Der in diesem Musterhaus geplante DG-Ausbau kann nach Herstellung der schubsteifen DB-Decke ohne zusätzliche Maßnahmen ausgeführt werden. Das Vermögen des untersuchten Gebäudes, den horizontalen Belastungen zufolge Erdbeben zu widerstehen, ist verbessert worden.

³ Pech, Kolbitsch, Zach: Tragwerke, Springer-Verlag Wien 2007, Seite 136

Danksagung:

Herrn SR Mag. Dr. Cech MA37 und Herrn SR DI Wedenig, für die Herausgabe des Merkblattes „Statische Vorbemessung“ vom 31.03.2008, Herrn Dr.Ing. Schally MA/37 S für konstruktive Hinweise und Anregungen,.