

ERLÄUTERUNG 02/2013

Fassung vom 17.08.2013

Über die Kompensation von Schubwänden in Wiener Gründerzeithäusern
-Allgemeine Grundlagen

Wien, am 17.08.2013

Herausgeber: Fachgruppe Bauwesen der LK W/Nö/Bgld
Seiten 1 bis 11

Verfasser: Peter Bauer

Coautoren: Erich Kern

Anmerkung

Erläuterungen geben, mangels anderer Normenwerke und kompakter Literatur, einen Hinweis auf Verfahren die dem jeweiligen, zusammengefassten Stand der Technik entsprechen. Sie ersetzen eigene Überlegungen und die Prüfung des Anwenders, ob sie für seinen Anwendungsfall geeignet sind, nicht. Sie beschränken auch nicht die Methodenvielfalt des Ingenieurwesens, sondern ergänzen sie, bzw. weisen auf jeweils einzuhaltende Rahmenbedingungen hin.

Inhaltsverzeichnis

1.0	Hinweise zu Öffnungen in aussteifenden Zwischenwänden und ihre Kompensation.....	3
1.1	Allgemeines	3
1.2	Kompensation einer Zwischenwand	6
1.3	Wesentliche und unwesentliche Wandöffnungen	8
2.0	Hinweise zur Modellierung von Wandscheiben	9
3.0	Hinweise zur Materialprüfung bei einfachen Kompensationsmaßnahmen (Türdurchbrüche, einzelne Wandscheiben)	11
4.0	Literatur.....	12

1.0 Hinweise zu Öffnungen in aussteifenden Zwischenwänden und ihre Kompensation

1.1 Allgemeines

Horizontales Tragverhalten in Längsrichtung

Beschreibungen zur Ermittlung des Tragverhaltes einer Einzelwandscheibe unter horizontalen Einwirkungen finden sich zahlreichen Veröffentlichungen (z.B. [5],[9], [10] aber auch [6]).

Zur sicheren Ermittlung der erforderlichen Kompensation einer Wandöffnung muss die Tragfähigkeit der zu beurteilenden Wand an der oberen Grenze ermittelt werden.

Im Wesentlichen wird die horizontale, elastische Grenzlast einer Mauerwerksscheibe durch Umkippen oder Gleiten begrenzt. Dies drücken auch die Formeln C.1 und C.2 in EN 1998-3 aus, die durch vergleichende Untersuchungen in [5] im Wesentlichen bestätigt werden. In [5] werden weiters Hinweise zur Mitwirkung von Pfeileranteilen der anschließenden Querwände gegeben.

Der erforderliche Widerstand in Bestandsgebäuden darf nach ÖNORM B 1998-3 im Grenzzustand der wesentlichen Schädigung ermittelt werden.

EN 1998-3 gibt im Anhang C für den Grenzzustand der wesentlichen Schädigung zwei Gleichungen an:

Biegung/ Kippen

$$V_f = \frac{DN}{2H_0} (1 - 1.15v_d) \quad \text{Gleichung C.1 aus EN 1998-3}$$

mit $v_d = N/(D t f_d)$

Schub/ Gleiten

$$V_f = f_{vd} D' t \quad \text{Gleichung C.2 aus EN 1998-3}$$

mit $f_{vd} = f_{mv0} + 0.4 N/(D' t) \leq 0.065 f_m$

ANMERKUNG: f_{mv0} und f_m sind durch die Teilsicherheitsbeiwerte für Mauerwerk gemäß EN 1998-1 zu dividieren!

Die Bedeutung der Faktoren ist Abschnitt C in EN 1998-3 zu entnehmen.

Geometrie

D.. Länge der Wandscheibe; D´.. Länge der überdrückten Wandscheibe

Ho.. Höhe der Einwirkung der Horizontalkraft bis zur Einspannstelle

N.. wirksame Normalkraft (üblicherweise: Wandgewicht und anteilige Deckenaufasten, wenn vorhanden)

t.. Wanddicke

Material

f_m (eigentlich: f_d !) in f_{vd} .. Mittelwert (!) der Druckfestigkeit, reduziert um den Konfidenzbeiwert CF_m und γ_M , $f_d = f_m / (\gamma_M CF_m)$

f_{vm0} (eigentlich: f_{vm0d} !) in f_{vd} .. Mittelwert (!) der Schubfestigkeit ohne Auflast –Anfangsscherfestigkeit, reduziert um den Konfidenzbeiwert CF_m und γ_M , $f_{vm0d} = f_{vm0} / (\gamma_M CF_m)$

f_d .. Mittelwert (!) der Mauerwerksfestigkeit reduziert um den Konfidenzbeiwert CF_m , $f_d = f_m / CF_m$

Grundsätzlich ist zu unterscheiden ob der Nachweis nach EC6 (z.B. Antwortspektrenmethode nach EN 1998-1) oder nach Verschiebungsverfahren (Push-over, EN 1998-3/Anhang C) geführt wird. Das ist der Grund warum sich die Formeln für die Ermittlung von f_{vd} in EN 1996-1-1 und EN 1998-3 unterscheiden.

In Gleichung C.1 drückt der Faktor v_d den „Platzbedarf“ der Druckstrebe aus. Nachdem V_f erreicht ist, ist die Fähigkeit der Wand Energie aufzunehmen, noch nicht erschöpft. Die Mauer kann bis zu einer (plastischen) Grenzverschiebung von ca. 4 Promille ihrer Höhe¹ weiter beansprucht werden. Gemäß [5] ist beim Gleiten entlang der Lagerfugen (erster Teil von f_{vd} in Formel C.2) ein großes Verformungsvermögen möglich. Sprödes Verhalten hingegen ist bei Schubversagen der Steine (zweiter Teil von f_{vd} in Formel C.2) zu erwarten.

In der Praxis wird in der Mehrzahl der Fälle (solange die horizontale Einwirkung kleiner als $0.4 \cdot N$ und Versagen auf Schub maßgebend ist) die Begrenzung von f_{vd} auf Schub zufolge Steinzugversagen ($f_{vd} < 0.065 \cdot f_m$, bei NF-Verbandsmauerwerk mit vermörtelten Stoßfugen) wirksam. Die resultierende Normalkraft (aus H und N) in der Wand steht dann auf der Wandlänge D´ im Eckbereich der Wand und gleitet bis zur maximalen Verschiebung von 4 Promille.

In Abbildung 1.1 wird dieser Sachverhalt dargestellt.

¹ siehe aber auch die Einschränkung in C.4.2.1 (2) der EN 1998-3 und des Vorschlages in [5] –Pkt. 6.3.2

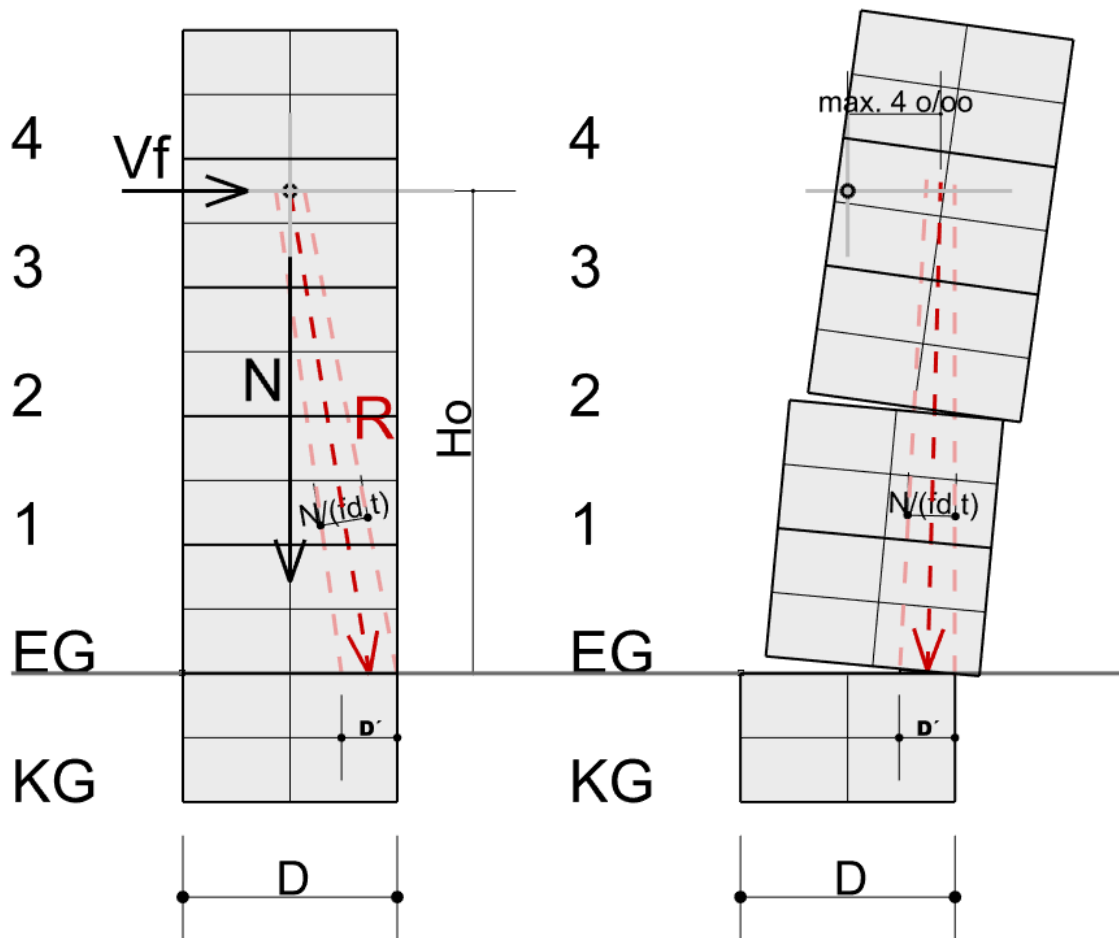


Abbildung 1.1 –Umkippen und Gleiten einer Mauerwerksscheibe

Damit ist als obere Grenze, also auf der sicheren Seite für eine etwaige Kompensationsmaßnahme, für die Beurteilung der horizontalen Tragkraft einer Mauerwerksscheibe das Gewicht der Wandscheibe selbst und der *ungestörte Lastpfad der Druckstrebe im Grenzzustand des Kippens* maßgebend.

Horizontales Tragverhalten in Querrichtung –Querwandbeschleunigung

Zu Nachweisen für Schubwandschlankheiten, die größer sind, als sie EN 1998-1 in Tabelle 9.2 vorsieht, siehe [7], erläutert auch in [5] und [6]. Grundsätzliche Aussagen zu „*typischen Wiener Gründerzeitzwischenwänden*“ siehe auch Erläuterungen 01/2013.

1.2 Kompensation einer Zwischenwand

Herleitung der Ersatzkraft

Aus dem vorher gesagtem ergibt sich, dass sich die maximal mögliche Horizontalkraft in einer Mauerwerkswand unter Vernachlässigung der Mauerwerksfestigkeit selbst (die kaum einen Einfluss auf diese Betrachtung hat –siehe auch Bandbreite der üblichen Druckdiagonale) aus rein geometrischen Überlegungen, bzw. bei genaueren Ermittlungen aus dem Schubversagen zufolge Erreichen der Steinzugfestigkeit, ermitteln lässt.

Die Größenordnung für V_f ermittelt sich damit für das „typische Wiener Gründerzeithaus“ mit einer Wandhöhe H von $H \sim 19.2$ m, $D \sim 5.9$ m (Lichte zwischen Wandquerachsen) und der Ersatzhöhe² $H_o \sim 0.75 H \sim 14.4$ m ca.:

$N \sim 19.2 * 5.9 * 3.1 = 351$ kN (Gewicht vorsichtig nur mit Mauerlichte ermittelt)

und f_d für $f_{b,k} = 21,25$ N/mm² und $f_{m,k} = 1$ n/mm², Verbandsmauerwerk $f_k \sim 3.5$ N/mm² (siehe auch Annahmen Musterhaus) und daraus $f_d \sim 4.90$ N/mm²

„Geometrische“ Ermittlung der Horizontalkraft

$V_{f,kippen,max} \sim D * N / (2 H_o) = 5.9 * 351 / (2 * 14.4) = 71.9$ kN

für die Zwischenwandachse ohne Pfeileranteil, unter Vernachlässigung von v_d (für die Kompensationsmaßnahme auf der sicheren Seite). Mit Berücksichtigung des Pfeileranteils bei etwa dem Doppelten.

Ermittlung gemäß EN 1998-3/ Anhang C

Die Bandbreite der Druckdiagonale (hellroter Bereich der Abbildung 1.1) in einer Gründerzeitzwischenwand ergibt sich hier mit ca.

$D'_{kippen} = 351 / (4900 * 0.15) = 0.48$ m (für $CF_m = 1.0$)

$D'_{schub} = 71.9 / (0.065 * 4900 * 0.15) = 1.51$ m (für $CF_m = 1.0$ und $\gamma_m = 1.0$) bzw.

$D'_{schub} = 71.9 / (0.065 / 1.67 * 4900 * 0.15) = 2.51$ m (für $CF_m = 1.0$ und $\gamma_m = 1.67$)

ANMERKUNG: Für die Ermittlung der Tragwirkung von Kompensationsmaßnahmen sollten die Sicherheitsbeiwerte auf der vorsichtigen Seite zu 1.0 gesetzt werden!

² Berechnet aus: $H_o V_f = \sum H_i (V_f m_i \Phi_i / \sum m_j \Phi_j)$ und $\Phi_i = H_i$

Damit ist Steinzugversagen maßgebend und $V_{f,max}$ lässt sich durch Iteration ermitteln:

Hier ergibt sich $V_{f,max} = V_{f,schub} \sim 56.02 \text{ kN}$ (für $\gamma_M = 1.67$) bzw. 61.48 kN (für $\gamma_M = 1.00$)

Wiederum ohne Berücksichtigung der Pfeileranteile und mit etwa dem Doppelten bei Berücksichtigung derselben. V_f gemäß C.1 bzw. C.2 ermittelt liegt also nahe bei dem durch rein geometrische Überlegungen gewonnenen horizontalen Widerstand der Wand.

Eine Parameterstudie (siehe auch Tabelle 1.2) bestätigt diesen Zusammenhang. Sie zeigt auch auf, dass die Größenordnung von V_f relativ unabhängig von der tatsächlichen Werkstoffeigenschaft f_d (und damit von f_b und f_m) ist.

Parameterstudie V_f												
Einfache Schubwand, ohne Flanschenteil, $t = 15 \text{ cm}$												
				$f_d = 4.9 \text{ N/mm}^2$				$f_d = 3.9 \text{ N/mm}^2$				
				$\gamma_M = 1.67$		$\gamma_M = 1.00$		$\gamma_M = 1.67$		$\gamma_M = 1.00$		
$H_{tot} [\text{m}]$	$H_D \sim 0.75 H_{tot}$	$D [\text{m}]$	$N_{eigengewicht} [\text{kN}]$	$V_{f, Geometrie} [\text{kN}]$	$V_{f, c.1} [\text{kN}]$	$V_{f, c.2} [\text{kN}]$	$V_{f, c.1} [\text{kN}]$	$V_{f, c.2} [\text{kN}]$	$V_{f, c.1} [\text{kN}]$	$V_{f, c.2} [\text{kN}]$	$V_{f, c.1} [\text{kN}]$	$V_{f, c.2} [\text{kN}]$
19,20	14,40	5,90	351,17	71,94	65,24	56,20	65,24	61,48	63,54	53,04	63,54	59,29
18,00	13,50	5,40	301,32	60,26	55,00	47,82	55,00	52,14	53,67	45,44	53,67	50,42
17,00	12,75	5,10	268,77	53,75	49,32	43,15	49,32	46,86	48,19	41,09	48,19	45,38

Tabelle 1.2 –Vergleich V_f aus Geometrie, bzw. EN 1998-3/C.1 bzw. C.2 ermittelt

Beanspruchung Wandersatz (Ersatzrahmen)

Für die Kompensation einer Wand ist, nach Meinung des Verfassers, der oberste Wert der **horizontalen Tragkraft** der bestehenden Wand anzusetzen, die **bei einer ungestörten „typischen Gründerzeitzwischenwand“ mindestens bei $V_f \sim 55..75 \text{ kN}$** liegt, bzw. beim Doppelten bei Berücksichtigung von Flanschanteilen der angrenzenden Querwände (siehe auch Kapitel vor). Sie kann durch geometrische Überlegungen im Grenzzustand des Kippens gewonnen werden.

Diese Grenzkraft kann auch für die Rahmenberechnung oder jede andere Kompensation angesetzt werden, wobei auf eine entsprechende Ein- und Ausleitung der Schubkräfte in die angrenzenden Mauerwerkswände zu achten ist. Zu beachten ist, dass nicht nur V_f , sondern auch die damit verbundene Druckdiagonale R selbst (also auch der konzentrierte Normalkraftanteil) auf den Rahmen wirkt!

Damit aber der Rahmen mit den angrenzenden Mauerwerksscheiben mitwirken kann, ist darauf zu achten, dass der Rahmen eine entsprechende Grenzverschiebung einhält. Das sind bei Erreichen der Grenzkraft V_f die in C.4.2.1(2) der EN 1998-3 angegebenen **4 Promille** (also ein $h/250$) der Rahmenhöhe. Diese Verformungswerte gelten für Ziegelwände aus NF-Format, die voll verputzt sind³.

³ Hinweis: DIN EN 1998-1 begrenzt die max. Schiefstellung für Schubwände für mittlere Wandspannungen größer als 15% von f_k auf 3 Promille. In der Literatur wird der Verformungswert für Hochlochziegel ohne vermörtelte Stoßfugen oft ebenfalls mit 3 Promille begrenzt.

1.3 Wesentliche und unwesentliche Wandöffnungen

Die in der Praxis oft diskutierte Frage des „unwesentlichen“ Türdurchbruchs lässt sich mit dem vorgestellten Modell einfach und elegant beantworten. Hier ist zu beurteilen, ob eine Wandöffnung den „Weg der Druckdiagonale“ stört oder nicht. Näheres dazu in den Abbildungen 1.3A bis 1.3C. Damit lässt sich in eine grobe Abschätzung in einer guten Ingenieurernäherung geben.

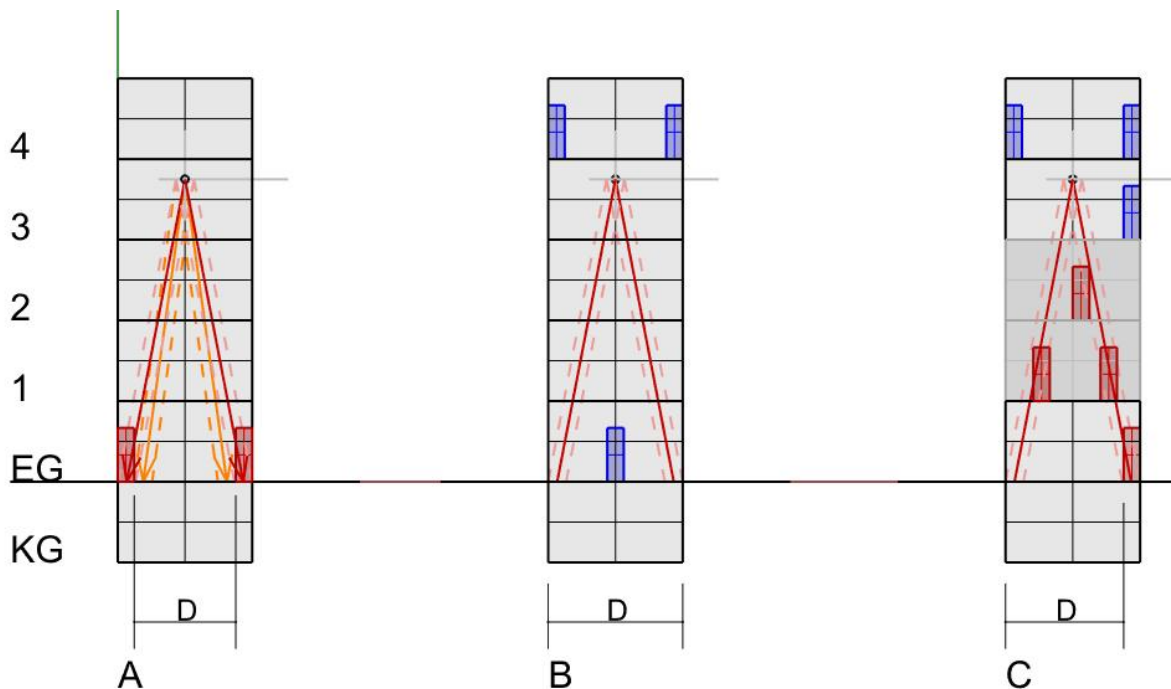


Abbildung 1.3 – Öffnungen in Mauerwerksscheiben

Während durch Öffnungen im Erdgeschoss (auch einseitig!) die Einschränkung der Länge D auf 60% der ungestörten Wand zu einer Abnahme von $V_{f,max}$ auf $\sim 45\%$ der ungestörten Wand führt, spielen Öffnungen in den obersten Geschossen für die Ermittlung von V_f kaum eine Rolle. Abbildung C schließlich zeigt, wie mit wenigen Öffnungen (auch jeder einzelnen, in Rot dargestellten Öffnung) in einer Schubwand die Tragwirkung nachhaltig zerstört wird. Hier ist keine wesentliche horizontale Tragwirkung ohne geeignete Ersatzmaßnahmen (Durchleitung der Druckdiagonale) möglich. Ähnliche Auswirkungen können unüberlegt gestemmte Leitungsschlitze haben!

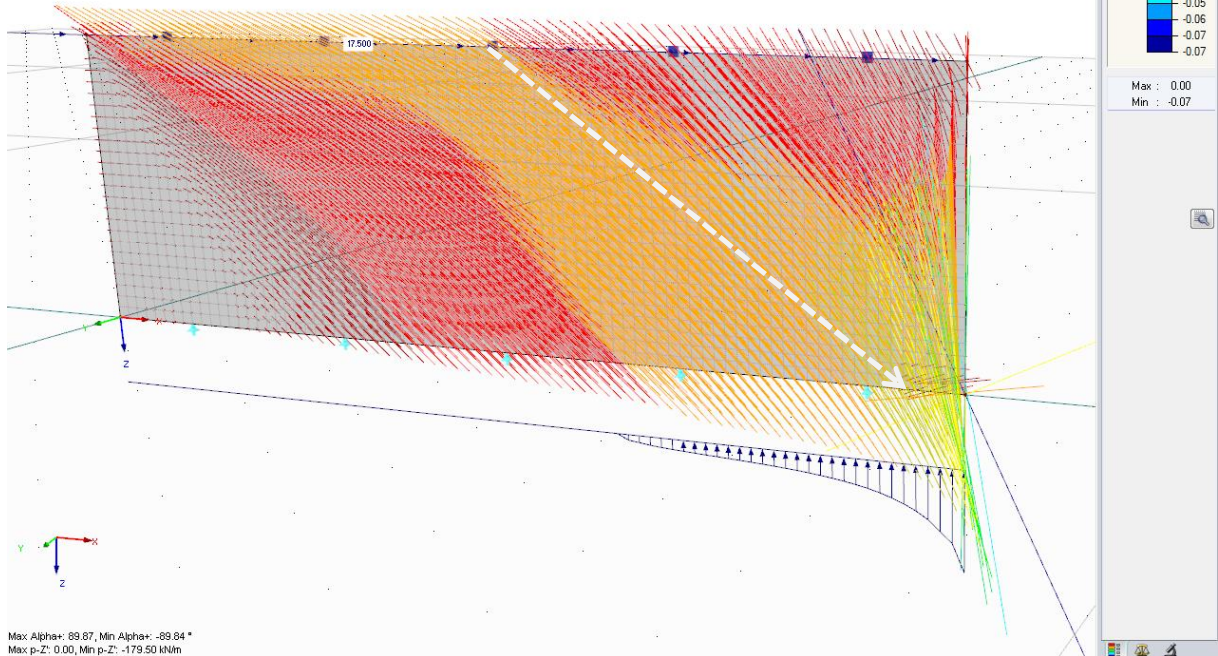
2.0 Hinweise zur Modellierung von Wandscheiben

Dem Verfasser ist bewusst, dass das vorgestellte Tragmodell einer Einzelwandscheibe, sehr vereinfachend ist. Es ist aber Eurocodekonform.

Bei der Anwendung von FE-Programmen ist in der Praxis jedoch sehr oft zu beobachten, dass vollkommen ungeeignete Materialmodelle verwendet werden. Während komplexe, mehrdimensionale Versagensmodelle (z.B. in [11], [12] oder [13]) das Tragverhalten sehr befriedigend abbilden, führen einfache Modelle, die lediglich die Zugspannungen in die Hauptspannungsrichtung ausschalten können, ohne sachverständige Beurteilung ins Leere! Hier sind (unmögliche) Druckspannungswinkel (wegen der Nichtbeachtung des Kriteriums Schubversagen) gegen die Horizontale die wesentlich kleiner als 60° sind, oder kaum reale Rückhängungen von Druckdiagonalen ohne entsprechende Stahlbetondecken oder Zuganker zu finden. In diesem Zusammenhang ist auch festzustellen, dass solche Modelle in Gebäudegesamtmodellierungen Situationen eher verunklären als Tragverhalten befriedigend abbilden.

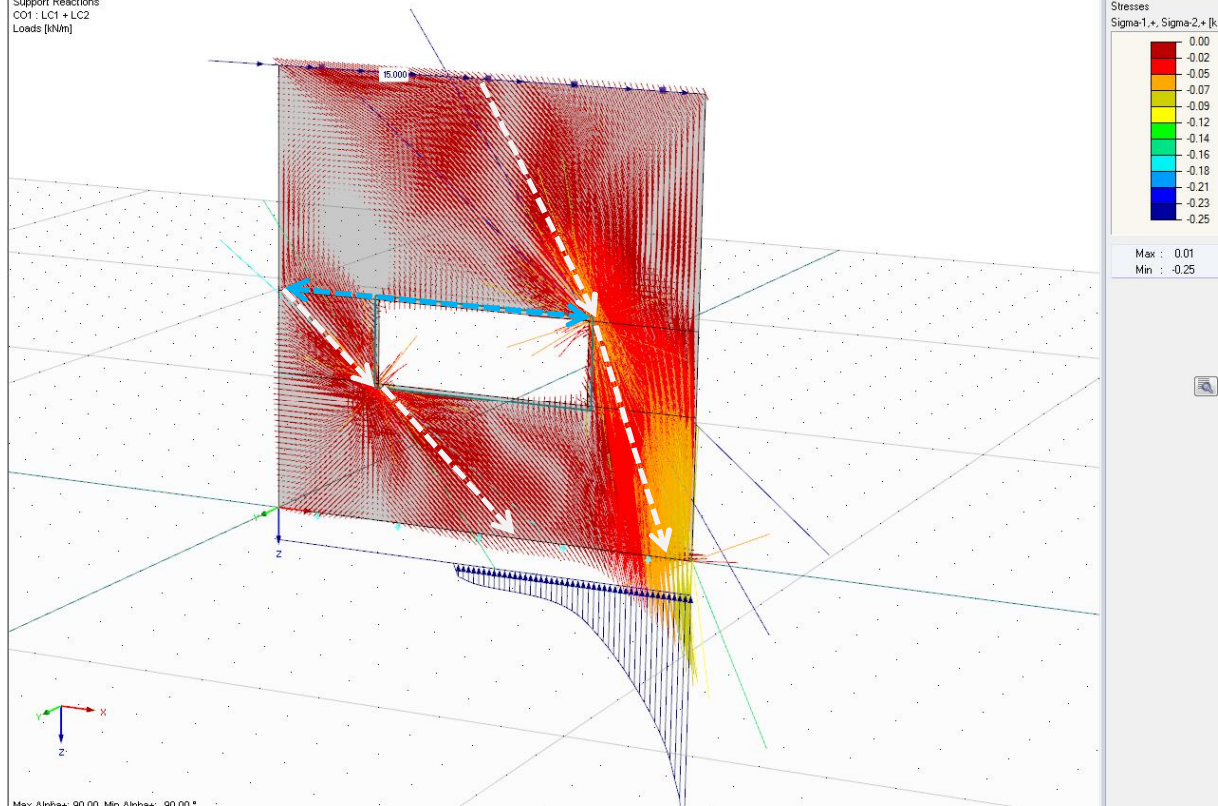
Abbildung 4 demonstriert solche Effekte. Die Wand wurde mit einem einfachen Materialmodell, das nur den Ausfall von Zugspannungen berücksichtigt, gerechnet. Die Horizontalkraft wird hier am oberen Rand nach rechts wirkend eingeleitet, die Vertikalkraft ist durch das Eigengewicht der Wand gegeben. Iterativ wird die Horizontalkraft dann soweit gesteigert, bis kein Gleichgewicht mehr erreicht wird.

Support Reactions
CO1 : LC1 + LC2
Loads [kNm]



Max Alpha: 89.87, Min Alpha: -89.84°
Max p-Z: 0.00, Min p-Z: -179.50 kNm

Support Reactions
CO1 : LC1 + LC2
Loads [kNm]



Max Alpha: 90.00, Min Alpha: -90.00°

Abbildungen 2.0 –unrealistisch flache Druckstrebenneigungen und „Rückhängungen“ von H-Kräften bzw. fragwürdigen Spannungsverteilungen bei einfachen (=falschen) FE-Materialmodellen

ANMERKUNG

Fachwerkmodelle können unter folgenden Voraussetzungen das Tragverhalten im Allgemeinen ausreichend abbilden:

- Sie bilden hauptsächlich Druckkräfte aus
- Sie weisen realistische Druckstrebenneigungen (in der Regel steiler als 60° gegen die Lagerfuge) auf
- Zugkräfte müssen konstruktiv aufgenommen werden (Roste, Schliessen,...)

3.0 Hinweise zur Materialprüfung bei einfachen Kompensationsmaßnahmen (Türdurchbrüche, einzelne Wandscheiben)

Für Nachweise, die einen Bauteil unmittelbar betreffen, wird, aus verständlichen Gründen in ONR 24009 [14] und ÖNORM B 1998-3 [1] Kenntnisstand KL3 verlangt. Diese Forderung gilt immer in Hinblick auf die zu untersuchende Eigenschaft⁴.

Aus den vorher ausgeführten Kapiteln kann man ableiten, dass für die horizontale Tragkraft einer gründerzeitlichen Zwischenwand die geometrischen Verhältnisse maßgebend für die Ermittlung sind und für die Beurteilung von Kompensationsmaßnahmen auf der sicheren Seite liegen.

Damit sind Mauerwerksgutachten zur Erlangung eines Kenntnisstandes KL3 für solche Betrachtungen in der Regel entbehrlich, weil durch die „genaue“ Kenntnis der Stein- und Mörteldruckfestigkeit nichts für die Kompensation gewonnen wird, wenn Annahmen auf der sicheren (geometrischen) Seite getroffen werden.

Es ist auch darauf hinzuweisen, dass diese Tatsachen nicht die verantwortlichen Tragwerksplaner und Bauführer davon befreien, einen augenscheinlichen, dokumentierten Befund des Zustandes der jeweiligen Wandsituation, vor allem in den Bereichen, wo die Kompensationsmaßnahme in den Bestand einbindet (Ein- und Ausleitung der Kräfte), durchzuführen.

⁴ siehe auch ÖNORM B 1998-3/B.1: *Es sind jene Bauteileigenschaften zu erheben, die für den untersuchten und beurteilenden Sachverhalt von Relevanz sind. Die Tiefe der Untersuchungen richtet sich daher nach der gestellten Aufgabe.*

4.0 Literatur

- [1] ÖNORM B 1998-3: 2013 05 01, Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben, Beurteilung und Ertüchtigung von Gebäuden
- [2] Leitfaden für Wien zur OIB-Richtlinie 1 vom 07.01.2013
- [3] EN 1998-1: 2011 06 05, Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben, Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten
- [4] Arch+Ing, Erdbebenbeanspruchung eines Gründerzeithauses mit Dachgeschoßausbau „Leicht“, Ausgabe Juli 2008, E03-18072008
- [5] Dokumentation D 0237 der SIA, Beurteilung von Mauerwerksgebäuden bezüglich Erdbeben, Zürich 2010
- [6] ..und wenn die ganze Erde bebt..; Peter Bauer, Erich Kern, Peter Resch; Wien im April 2010
- [7] Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings; T. Pauley, M.J.N. Priestley; Wiley & Sons 1992
- [8] Seismische Mikrozonierung des Stadtgebietes von Wien, G. Duma, ZAMG, Endbericht 1988
- [9] Zur Erdbebensicherung von Mauerwerksbauten, Hugo Bachmann, Kerstin Lang, ETH Zürich 2002
- [10] EN 1998-3: 2005 12 01, Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben, Beurteilung und Ertüchtigung von Gebäuden
- [11] Mauerwerksscheiben unter Normalkraft und Schub, H.R. Ganz, ETH Zürich 1985
- [12] Modellierung unbewehrter Mauerwerkswände auf Basis der mehrflächigen Plastizität, M. Mistler, RWTH Aachen
- [13] Computational Strategies for Masonry Structures, P.B. Laurenco, Delft 1996
- [14] ONR 24009: 2013 05 01, Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Hochbauten