

ERLÄUTERUNG 04/2013

Über die Kompensation von Schubwänden in Wiener Gründerzeithäusern
-Anforderungen an Rahmen

Wien, am 01.12.2013

Herausgeber: Fachgruppe Bauwesen der LK W/Nö/Bgld
Seiten 1 bis 13

Verfasser: Peter Bauer

Coautoren: Erich Kern, Peter Resch

Anmerkungen und Anregungen in der vorläufigen Auflagefrist von:
DI Arno Seltenhammer, Dr. Branko Rusnov, DI Raoul Majdalani

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.

Inhaltsverzeichnis

1.0 Grundlagen	3
1.1 Allgemeines	3
1.2 Verformung der Schubwände und der Rahmen	5
1.3 Einwirkung und Widerstand	6
2.0 Die Auslegung von Rahmenkompensationen	8
2.1 Allgemeines	8
2.2 Besondere Hinweise	9
2.3 Ausführungsvorschlag	11
3.0 Literatur	13

1.0 Grundlagen

1.1 Allgemeines

Die Methode des Erdbebennachweises über Zielverschiebungen wurde schon in den Erläuterungen 03/2013 erörtert. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Frage, wie die daraus gewonnenen Erkenntnisse auf die Beurteilung von Kompensationsmaßnahmen von Schubwänden von Gründerzeithäusern angewendet werden können. Diese sind vor allem im Bereich von Wanddurchbrüchen notwendig und werden in Wien im Häufig als Stahlrahmen ausgeführt. Die vorliegende Arbeit untersucht die dafür maßgebenden Randbedingungen und stellt einfache Regeln zur Verfügung. Besonders ist darauf hinzuweisen, dass geeignete Kompensationsmaßnahmen im Regelfall die Tragkraft der zu ersetzenden Wandscheibe auf der sicheren Seite überschätzen werden.

Das Diagramm im Anhang A der Erläuterungen 03/2013 zeigt die erforderlichen Maximalschwingzeiten von Schubwandscheiben zur Erreichung des jeweils gewünschten Tragwerkswiderstandes.

Die Voraussetzungen zur Anwendung des Diagrammes sind:

- Das Versagen der Mauerwerksscheibe muss Schub (gemäß Nachweis EN 1998-3/C.4.3.1) sein.

ANMERKUNG: Das wird im Allgemeinen jedenfalls für ungestörte Mauerwerksscheiben $H_{tot}/D < 4$ gegeben sein

- Der Nachweis wird im Grenzzustand der wesentlichen Schädigung geführt

- Die Gesamtintegrität des Gebäudes ist sicherzustellen (siehe auch E01/2013)

- Die Aufnahme der Querwandbeschleunigung für Schubwände mit $h_i/t_i < 15$ ist gesondert nachzuweisen

- Die Schubwände selbst und etwaige Kompensationen können durch eine linear-elastische ideal plastische Arbeitslinie repräsentiert werden.

Die Frage, ob die angrenzenden Querwände (Außenwandpfeiler und Mittelmauer) für die Zwischenwände in Wiener Gründerzeithäusern (sicher) mitwirken, ist noch nicht beantwortet. Auf der sicheren Seite¹, die ja Grundlage einer Kompensationsmaßnahme sein muss, wird vorgeschlagen, diese Mitwirkung anzusetzen. In der Regel werden damit links und rechts der Wandscheibe die Breite der jeweils angrenzenden Querscheibe zu berücksichtigen sein². Das Tragverhalten wird dann analog der Ausführungen in E03/2013 abgeschätzt indem für die vertikale Auflast auf die Schubwand das Gewicht dieser Pfeileranteile selbst berücksichtigt wird.

¹ Hier: im Zweifelsfall muss der Tragwiderstand der Wand für die vorsichtige Auslegung der Kompensation überschätzt werden!

² Siehe auch SIA D0237/Punkt 4.6 [3]

Untersuchungen von Schubwänden im üblichen Bereich von Längen 4.0 m ..5.5 m und Gebäudehöhen von 17.0 m .. 19.0 m ohne bzw. mit Berücksichtigung der Flanschanteile durch Außenwandpfeiler bzw. Mittelmauern zeigen erwartbare Eigenschwingzeiten (für Werkstoffparameter im gerissenen Bereich) von $T \sim 2$ sec (ohne Flanschanteil) und $T \sim 1$ sec (mit Flanschanteil). Die gewöhnlich längste Wand, die Giebelwand wird im Bereich $T \sim 0.5$ sec liegen.

Aus den Diagrammen in E03/2013 –Anhang A sind dann jene Schwingzeiten direkt zu entnehmen, die die jeweils untere Steifigkeit des Wandsystems repräsentieren, die der zu erzielenden elastischen Bedarfsbeschleunigung zugeordnet ist. Es ist festzuhalten, dass der Bedarfsbeschleunigung bei ungestörten Zwischenwänden mit Flanschanteilen in der Regel eine einwirkende Bodenbeschleunigung a_{gr} von $a_{gr} \sim 0.8 * 1.0$ zugeordnet ist –Hier wäre also die volle Zuverlässigkeit im Lastfall Erdbeben gegeben.

1.2 Verformung der Schubwände und der Rahmen

Üblicherweise verbindet man bei der Lastabtragung von Schubwänden aus Mauerwerk die Vorstellung von Gleiten und bei horizontaler Lastabtragung über Rahmen die Vorstellung von Biegeverformungen. Bis zum Grenzzustand des Erreichens der (plastischen) Fließkraft F_y sind die Verformungsfiguren aber in ihrer Ausprägung real eher gegenläufig.

Wenn man die Geschosdrift einer Mauerwerksscheibe (unter Schubversagen) im Bereich $E_{\text{ungerissen}}$, $G_{\text{ungerissen}} < k < E_{\text{gerissen}}$, G_{gerissen} ermittelt, wird man feststellen, dass die Verformungsanteile aus Biegung gegenüber jenen aus Schub bei weiten Überwiegen. Das bedeutet, dass ein Großteil der Geschosdrift bis zum Erreichen von F_y aus der Verdrehung der Querschnitte unterhalb des betrachteten Querschnittes resultiert (siehe auch Abbildung 1.2)

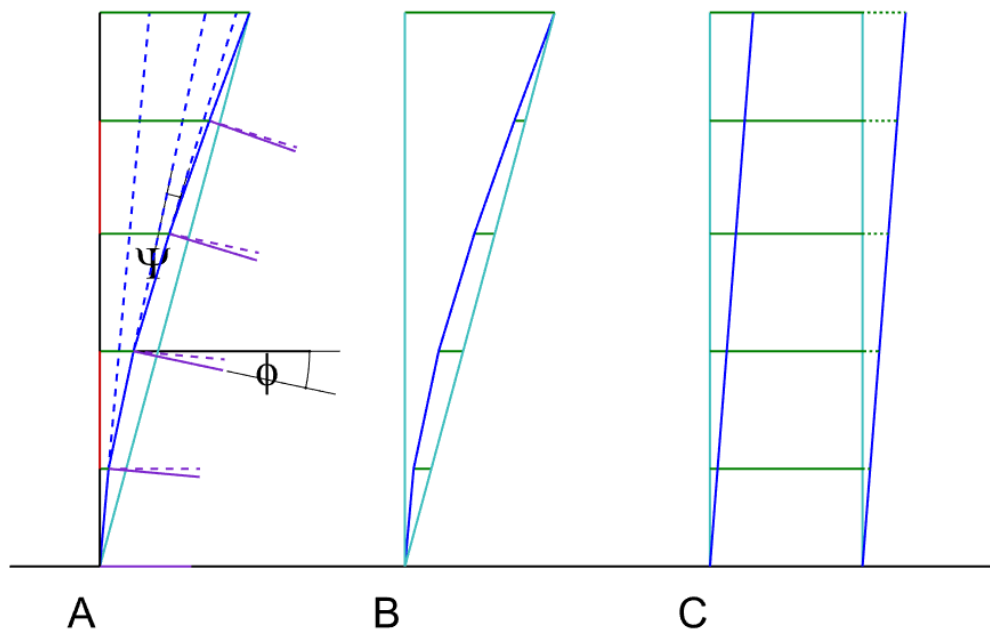


Abbildung 1.2 – A: Biegelinie Kragarm mit Darstellung des Anteil der Querschnittsverdrehungen (Anfangstangente Geschoss: violett strichliert, Endtangente Geschoss: violett ausgezogen); B: Summe Biegelinie Kragarm Wandscheibe; C: Verformung Kragarm Rahmentragwerk

Ein reines Rahmentragwerk hingegen, trägt zwar die Horizontalkräfte überwiegend über Momententragwirkung ab, entspricht aber Bezüglich der Verformungsfigur einer Gleitung. In dieses Verformungsbild findet die Wandscheibe erst im plastischen Bereich. Dort verhalten sich dann Wandscheibe und Rahmentragwerk affin.

Rahmentragwerke aus Stahl haben (bei Wahl von Querschnitten der Klasse 1 oder 2 gemäß EN 1993-1-1) den Vorteil sehr große plastische Rotationen zu ertragen. Sinnvollerweise werden diese bei Verwendung als Mauerwerksscheibenkompensation mit der (plastischen) Verschiebungskapazität der Mauerwerksscheiben begrenzt und darüber hinaus nicht gut nutzbar sein –weil sich die Rahmenachse vom Mauerwerksverband dafür zuerst lösen müsste. Die plastische Zielverschiebung wird also auch hier 4 Promille der Geschosshöhe betragen.

1.3 Einwirkung und Widerstand

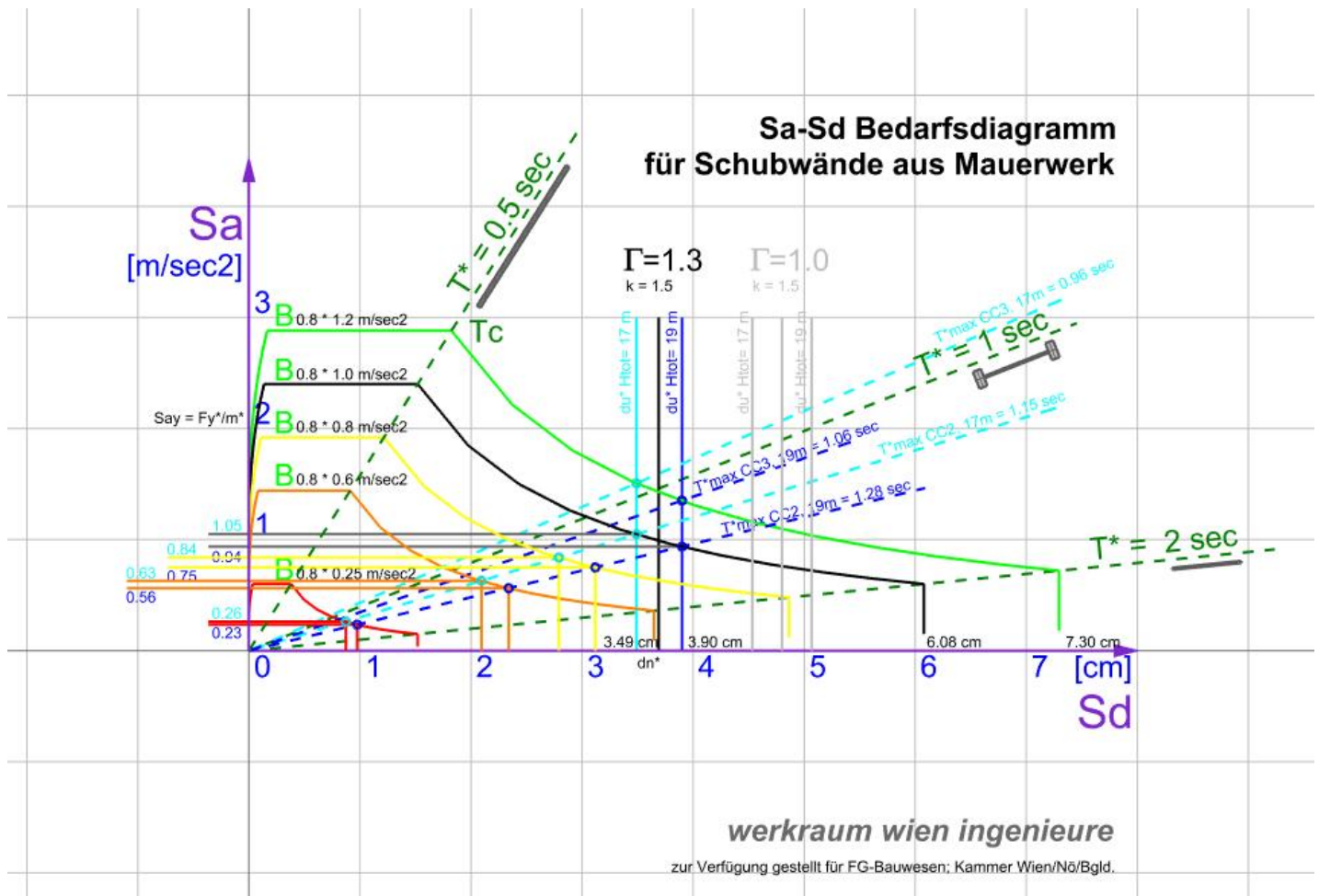


Abbildung 1.3a – Zielverschiebungen in Abhängigkeit von der Gebäudehöhe, $\Gamma = 1.30/1.00$, $k = 1.5$ für Bedarfsspektren Typ I, Boden Typ B und $a_{gr} = 0.8 \gamma_1$

In Bild 1.3a sind die maximalen Schwingzeiten T^*_{max} , in Abhängigkeit der CC-Klasse für eine Grundbeschleunigung von $a_{gr} = 0.8 \text{ m/sec}^2$ und Boden Typ B im Antwortspektrum Typ I aufgetragen. Weiters sind die Sa-Sd Bedarfslinien für 60% und 25% von $a_{gr} = 0.8 \text{ m/sec}$ eingetragen.

„Weichere“ Schubscheiben oder Kompensationen hierfür können nicht mehr zum Erfolg (einer nichtverschlechternden, lokalen Kompensation) führen, weil sie Kopfverschiebungen größer als die der Mauerwerksscheiben im plastischen Zustand bedingen.

Damit würden sich ergeben (siehe auch E03/2013):

$$(F_y/d_y)_{min} = k_{min} = (2\pi / T)^2 m^* \sim 30 \text{ m}^* \text{ für } 17 \text{ m hohe CC2-Gebäude und}$$

$$k_{min} \sim 43 \text{ m}^* \text{ für } 17 \text{ m hohe CC3-Gebäude}$$

Im vom Autor untersuchten Bereich, sind die m^* -Massen für die typische Wiener Zwischenwandachse im Bereich von 130.000 kg ... 160.000 kg (MODE 1), womit sich dann im üblichen Bereich der Wr. Gründerzeithäuser die Werte der Tabelle 1.3b ergeben.

Parameterstudie

T_{max} für $a_g = 0.8$ m/sec²; Boden B

CC2, γ_1 =	1,00 [-]
Γ =	1,30 [-]
$d_{u,lim}$ =	0,0040 [-]
k =	1,50 [-]

		$\alpha = 1.0$ $a_g = 0.80$				Wandachse	130.000	160.000	Wandachse	Wandachse elastische Last		elastische Last	
H [m]	dn^* [mm]	Fy^*/m^*	$T^* = T$	$f^* = f$	k_{min}/m^* [1/sec ²]	$m^* 1$ [kg]	$m^* 2$ [kg]	$k_{min} 1$ [kN/m]	$k_{min} 2$ [kN/m]	$Fy 1$ [kN]	$Fy 2$ [kN]		
17	34,87	1,050	1,15	0,87		30	130.000	160.000	3.914	4.818	177	218	
18	36,92	0,991	1,21	0,82		27	130.000	160.000	3.489	4.294	167	206	
19	38,97	0,937	1,28	0,78		24	130.000	160.000	3.125	3.847	158	195	
		$\alpha = 0.60$ $a_g = 0.48$				Wandachse	130.000	160.000	Wandachse	Wandachse elastische Last		elastische Last	
H [m]	dn^* [mm]	Fy^*/m^*	$T^* = T$	$f^* = f$	k_{min}/m^* [1/sec ²]	$m^* 1$ [kg]	$m^* 2$ [kg]	$k_{min} 1$ [kN/m]	$k_{min} 2$ [kN/m]	$Fy 1$ [kN]	$Fy 2$ [kN]		
17	34,87	0,377	1,91	0,52		11	130.000	160.000	1.405	1.730	64	78	
18	36,92	0,360	2,01	0,50		10	130.000	160.000	1.268	1.560	61	75	
19	38,97	0,360	2,07	0,48		9	130.000	160.000	1.201	1.478	61	75	

T_{max} für $a_g = 0.8$ m/sec²; Boden B

CC3, γ_1 =	1,20 [-]
Γ =	1,30 [-]
$d_{u,lim}$ =	0,0040 [-]
k =	1,50 [-]

		$\alpha = 1.0$ $a_g = 0.96$				Wandachse	130.000	160.000	Wandachse	Wandachse elastische Last		elastische Last	
H [m]	dn^* [mm]	Fy^*/m^*	$T^* = T$	$f^* = f$	k_{min}/m^* [1/sec ²]	$m^* 1$ [kg]	$m^* 2$ [kg]	$k_{min} 1$ [kN/m]	$k_{min} 2$ [kN/m]	$Fy 1$ [kN]	$Fy 2$ [kN]		
17	34,87	1,506	0,96	1,05		43	130.000	160.000	5.614	6.910	255	313	
18	36,92	1,431	1,01	0,99		39	130.000	160.000	5.038	6.201	242	298	
19	38,97	1,352	1,07	0,94		35	130.000	160.000	4.510	5.550	228	281	
		$\alpha = 0.67$ $a_g = 0.64$				Wandachse	130.000	160.000	Wandachse	Wandachse elastische Last		elastische Last	
H [m]	dn^* [mm]	Fy^*/m^*	$T^* = T$	$f^* = f$	k_{min}/m^* [1/sec ²]	$m^* 1$ [kg]	$m^* 2$ [kg]	$k_{min} 1$ [kN/m]	$k_{min} 2$ [kN/m]	$Fy 1$ [kN]	$Fy 2$ [kN]		
17	34,87	0,670	1,43	0,70		19	130.000	160.000	2.498	3.074	113	139	
18	36,92	0,634	1,52	0,66		17	130.000	160.000	2.232	2.747	107	132	
19	38,97	0,600	1,60	0,62		15	130.000	160.000	2.001	2.463	101	125	

Abbildung 1.3b – k_{min} und Fy –Werte für „typische“ Wr. Gründerzeithäuser

2.0 Die Auslegung von Rahmenkompensationen

2.1 Allgemeines

Aus den vorstehenden Kapiteln ergeben sich die erforderlichen Mindeststeifigkeiten von Rahmenachsen in (schwach gekoppelten) Mauerwerksscheiben. Bei guter Kopplung (schubsteife Decken) können selbstverständlich die Steifigkeiten der Kompensationen frei gewählt werden, wenn eine Gesamtbetrachtung die unterschiedliche Verteilung berücksichtigt.

Eine lokale Kompensation hingegen muss berücksichtigen, dass die lokal vorhandene Lastabtragung möglichst ungestört bleibt, bzw. wo notwendig ($\alpha_{\text{ist}} < \alpha_{\text{min}}$), verbessert wird. Es ist aber auch damit zu rechnen, dass weitere Kompensationen ober- und unterhalb erfolgen. Im Endzustand (und in jedem Zwischenschritt) müsste dann die (gemischte) Rahmen- (Mauerwerks)wand die ursprünglich vorhandene Zuverlässigkeit wenigstens gleich halten.

Für diese Maßnahmen gilt wie folgt:

-aus Vorsichtsgründen sind, solange nicht gegenteilige Versuche vorliegen, bei der Ermittlung der Anfangssteifigkeit, wenn Vorhanden, Quermauern als Flansche zu berücksichtigen (Breite jeweils angrenzende Wandbreite links und rechts der Schubwand).

-Die Mindeststeifigkeit für die Rahmen sind aus den Bedarfsspektren im für $a_g = a_{gr} * \alpha_{\text{ist,WU}}$ ableitbar. $\alpha_{\text{ist,WU}} > \alpha_{\text{min}}$ bezeichnet hier den Erdbebenerfüllungsfaktor der ursprünglich vorhandenen Wandscheibe.

-Die vertikale Grenzlast auf den Rahmen entspricht der durchzuleitenden Druckstrebe (ständige Anteile der Wände über dem Rahmen).

Die horizontale Grenzlast ist über die gewünschte bzw. erforderlichen (Schadensbegrenzung) elastischen Beschleunigung zu ermitteln. Hinweise über Größenordnungen können dem Diagramm E03/2013 –Anhang A entnommen werden.

-Bei der Ausführung des Rahmentragwerks ist auf die Ein- und Ausleitung der schrägen Druckstrebe auf den Stahlrahmen zu achten (Reibungsfläche bzw. Schubnasen herstellen). Weiters sind im Regelfall die angrenzenden Querwände vertikal anzuhängen (Vergrößerung der Kipplast).

2.2 Besondere Hinweise

Nachdem die erforderliche Steifigkeit der Wandachse ermittelt wurde, muss diese den Geschoßen äquivalent aufgeteilt werden.

ANMERKUNG: In der Geschoßachse wirkt F_b in den MODES analog der Aufteilung von (siehe auch E03/2013):

$$F_i = \frac{m_i \phi_i}{\sum_{j=1}^n m_j \phi_j} F_b$$

Beispiel:

Im MODE 1 wirkt auf das oberste Geschoß bei $m_i = m = \text{const.}$, 5 Geschossen mit $h_i = h = \text{const.}$ und $\Phi_i = H_i/H_5$ wegen (siehe auch Abbildung 2.2a)

$\sum m_j \Phi_j = 3 m$, $F_5 = 1/3 * F_b$, auf das nächste Geschoss dann $(1.0 * 1/3 + 4/5 * 1/3) F_b$ usw..

Damit wirken dann auf 5 Geschosskompensationen (Rahmen) insgesamt als Summe $1/3 * 11 F_b = 3.67 F_b$. Die vorhandenen Steifigkeiten der einzelnen Geschosse sind indirekt proportional zu addieren.

Es gilt für

$$k = \frac{1}{\sum \frac{1}{k_i}}$$

und damit wegen $d_{y,\text{ges}} = 3.67 F_b / (\sum k_i)$ unter der Voraussetzung $k_i = \text{const.}$

$$k_{\text{eff}} = F_b / d_{y,\text{max}} = k_{\text{eff},\text{min}} = 1 / (3.67 * 1 / k_{i,\text{min}})$$

Daraus ergibt sich $k_{i,\text{min}} = 3.67 k_{\text{eff},\text{min}}$ für die Zielsteifigkeit der Kompensation im Geschoss i.

Zur Erreichung der Zielkopfverschiebung d_y unter F_b ist damit in unserem Beispiel bei $k_{\text{eff}} \sim 4500$ kN/m (siehe auch Abb. 1.3b) ein $k_{i,\text{min}}$ von $k_{i,\text{min}} \sim 16500$ kN/m pro Geschoss erforderlich.

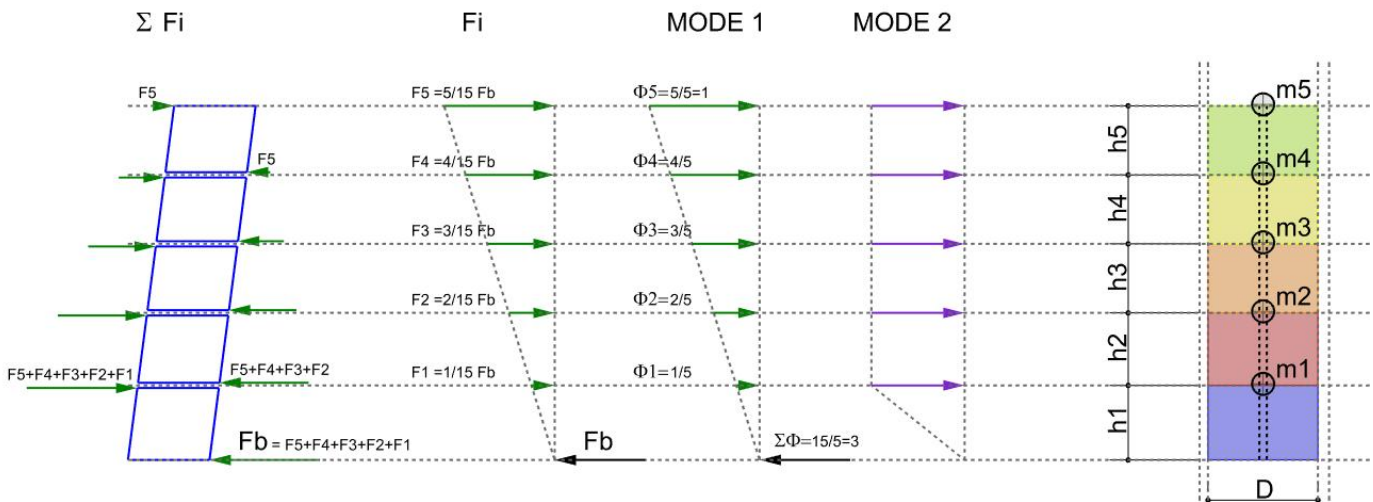


Abbildung 2.2a – Einwirkung auf die Wandscheibe – Verteilung von F_b im MODE 1 und 2 (aus E03/2013) und Darstellung der Einwirkung auf die Wandscheibe

Die Rahmensteifigkeiten können mit Rahmenformeln (z.B. nach Rubin [4]) ermittelt werden:

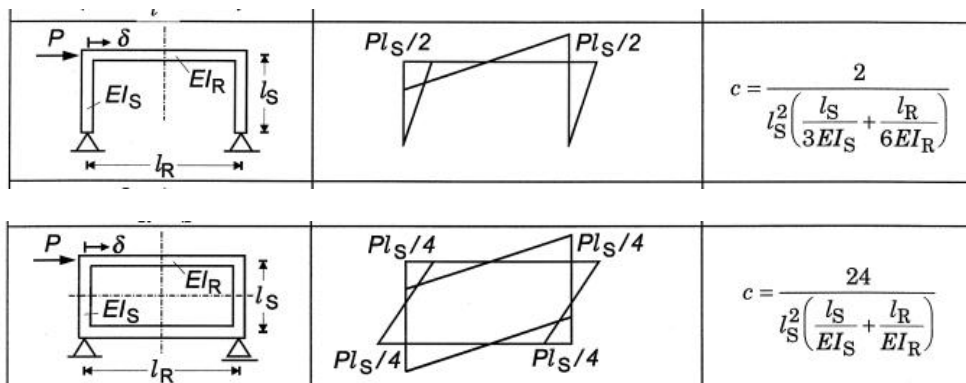


Abbildung 2.2b – Rahmensteifigkeiten ohne Berücksichtigung der Steggleitung

Die Ausbildung eines Halbrahmens ist aus Lastenleitungsgründen in das untere Mauerwerk in der Regel nicht zu empfehlen. Das Schubgleiten der Rahmenstiele kann bis 15% Steifigkeitsverlust gegenüber den Angaben in 2.2b bedeuten (je nach Steganteil).

Das horizontale Lastniveau kann durch Festlegung des Maßes für die Schadensbegrenzung gewonnen werden. Für $a_{g,Sch} = 0.6 \cdot 0.8 \text{ m/sec}^2$ ergibt sich aus Abbildung 1.3 für ein 17 m hohes Gebäude (mit $m^* \sim 130\,000 \text{ kg/Wandachse}$ und $\Gamma \sim 1.30$) eine gesamte Basisscherkraft von $F_b \sim 0.63 \cdot 1.30 \cdot 130\,000 = 107 \text{ kN}$, deren Anteil auf die Geschossscheibe gemäß dem untersuchten MODE aufzuteilen ist.

2.3 Ausführungsvorschlag

Ziel jeder Kompensation ist die möglichst unveränderte Weiterführung der ursprünglichen Kräfte im Tragwerk, bzw. einer entsprechend gewünschten Verbesserung derselben. Grundlegende Ausführungsanforderungen können Abbildung 2.3 entnommen werden.

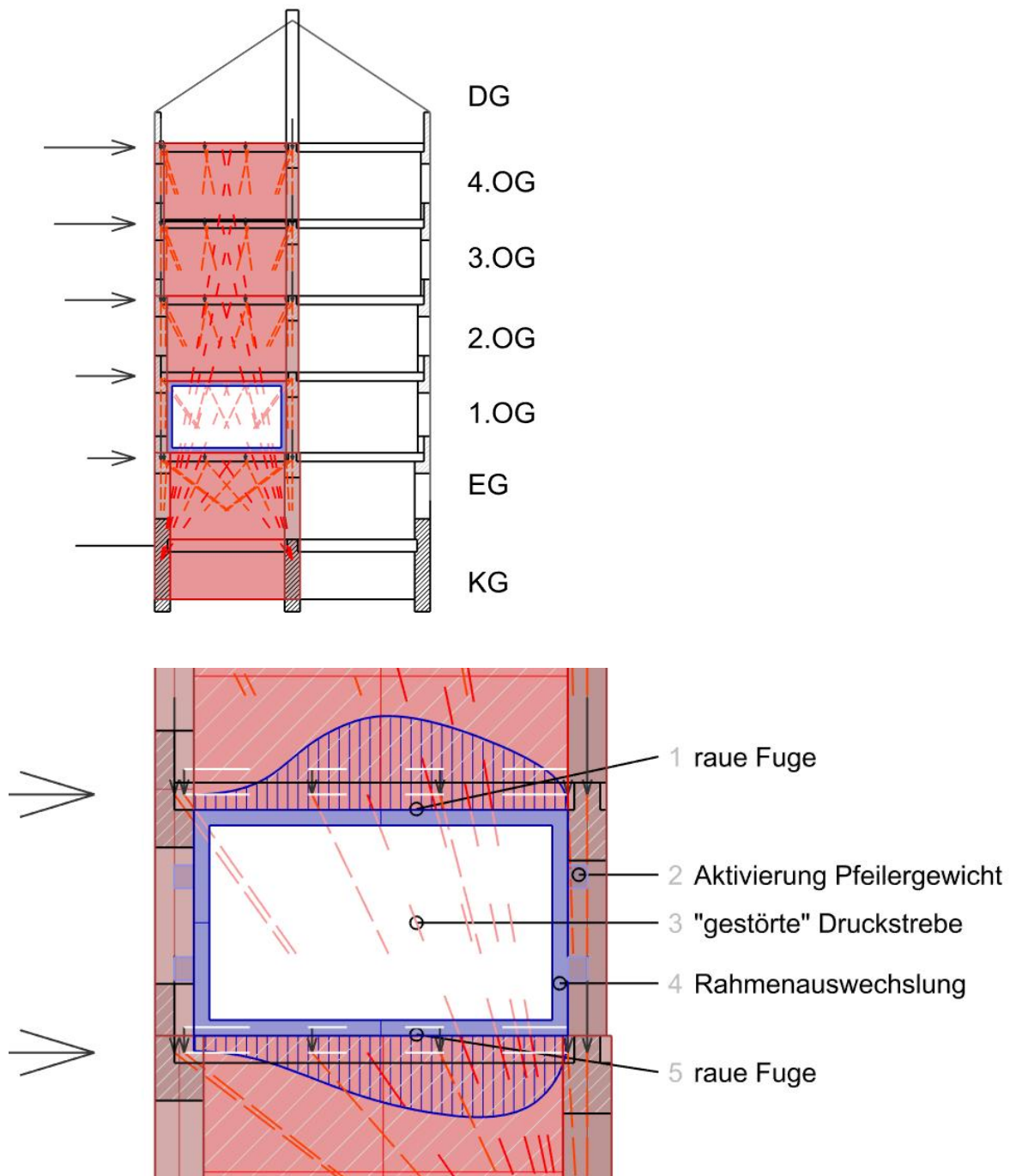


Abbildung 2.3 – Ausführungsvorschlag Rahmen zur Schubwandkompensation

Hinweise zu Abbildung 2.3

-zu 1) und 5)

Die raue Fuge muss sicherstellen, dass die „linke“ Seite der Schubgleichung erfüllt werden kann. Das erfordert einen Reibbeiwert von $\mu > 0.4$ (wegen 0.4 N). Dies kann z.B. durch dünne, aufgeschweißte Bewehrungsgitter erreicht werden.

-zu 2)

Knaggen zur Aktivierung des Pfeilergewichts, damit in der Ausleitungsfuge eine entsprechend verteilte Druckeinleitung in die untere Wand erreicht wird (Verhinderung von lokalen Druckeinleitungen bei Rahmenkippen). Hierbei ist darauf zu achten, dass das Mauerwerk des Pfeilers im Bereich der Knagge lageweise ausgebrochen und wieder verfüllt wird. Eine Störung des Verbandes führt sonst im Allgemeinen zu einem starken lokalen Festigkeitsabfall.

-zu 4)

Der Rahmen selbst ist gemäß den Anforderungen der Kapitel vor, jedenfalls auf die erforderliche Steifigkeit zu dimensionieren. Das gewählte, horizontale elastische Tragniveau ist festzuhalten. Falls ein Fließbereich vorgesehen ist, ist auf die entsprechende Auslegung der Querschnitte zu achten.

3.0 Literatur

- [1] Erläuterung 01/2013; FG-Bauwesen ARCHING Wien/Nö/Bgld
- [2] Erläuterung 03/2013; FG-Bauwesen ARCHING Wien/Nö/Bgld
- [3] Dokumentation D 0237 der SIA, Beurteilung von Mauerwerksgebäuden bezüglich Erdbeben, Zürich 2010
- [4] Prof. Helmut Rubin, Studienblätter zur Baustatik, TU-Wien
- [5] ÖNORM B 1998-3: 2013 05 01, Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben, Beurteilung und Ertüchtigung von Gebäuden
- [6] EN 1998-1: 2011 06 05, Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben, Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten
- [7] Arch+Ing, Erdbebenbeanspruchung eines Gründerzeithauses mit Dachgeschoßausbau „Leicht“, Ausgabe Juli 2008, E03-18072008
- [8] ..und wenn die ganze Erde bebt..; Peter Bauer, Erich Kern, Peter Resch; Wien im April 2010
- [9] EN 1998-3: 2005 12 01, Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben, Beurteilung und Ertüchtigung von Gebäuden
- [10] ONR 24009: 2013 05 01, Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Hochbauten
- [11] DI Dr. Anton PECH, Gutachten, Forschungsprogramm zur Verifizierung der konstruktiven Kennwerte von altem Vollziegelmauerwerk nach EC6, Juli 2010