

Zur Rissicherheit von Mauerwerk bei horizontalen Formänderungen

(CRACK RESISTANCE OF MASONRY AT RESTRAINTS BY HORIZONTAL CONTRACTIONS)

Dipl.-Ing. Horst Glitza, Institut für Bauforschung, RWTH Aachen, Bundesrepublik Deutschland

KURZFASSUNG

Risse im Brüstungsmauerwerk können verschiedene Ursachen haben. Nach einer Zusammenstellung und Diskussion der Ursachen wird insbesondere die Rißbildung durch behinderte horizontale Formänderungen betrachtet. Dabei wird auch auf ein am Institut neu entwickeltes Rechenverfahren zur Abschätzung der rißfreien Wandlänge eingegangen.

SUMMARY

Cracking of masonry of parapets has different reasons. After a summary and discussion of the causes especially cracks caused by horizontal restraints are considered. A new computing method for estimating crack free length of wall, found out at the institute, is demonstrated.

1. Schadensursachen

Schadensursachen für Risse in Brüstungen können sein:

- Baugrundverformungen
- Kerbwirkungen
- vertikale Verformungen
- horizontale Verformungen.

Daraus können Zug- und/oder Biegezugspannungen in der Brüstungsebene resultieren. Unbewehrtes Mauerwerk kann solche Spannungen im allgemeinen nicht schadensfrei aufnehmen.

Erfahrungsgemäß führt selten eine einzige Ursache zum Schaden. Die Kombination mehrerer, im Extremfall aller oben genannten Ursachen ist denkbar.

Im Beitrag wird insbesondere auf die Rißbildung durch horizontale Formänderungen eingegangen.

1.1 Baugrundverformungen

Baugrundverformungen können aus Setzungen aber auch durch Bergsenkungen verursacht werden. Es treten in der Regel zur Horizontalen geneigte Risse auf. Bei mehrgeschossigen Bauwerken nehmen Rißzahl und Rißweite wegen der Gewölbewirkung des Mauerwerks zu den oberen Geschossen hin ab.

1.2 Kerbwirkungen

Wird Mauerwerk um eine Öffnung in statischer Hinsicht als Rahmen aufgefaßt, treten Kerbspennungen in den Ecken der Öffnung auf, wenn im Rahmen Momente auftreten. Wird die Brüstung als Heizkörpernische ausgeführt, kommt es bei horizontalen Formänderungen des Mauerwerks im Bereich der Querschnittsveränderung zu Kerbspennungen.

Die Kerbspennungen sind bereits in geringer Entfernung von der Ecke abgebaut. Sie führen bei Überschreiten der Festigkeit zu Anrissen, die die Rißbildung aus anderen Ursachen unterstützen.

1.3 Vertikale Formänderungen

Durch exzentrische Lastenleitung der Sturzauflegerlasten können sich die Laibungsseiten der Öffnung verkrümmen. Wird angenommen, daß die rechten Winkel in der Öffnungsecke erhalten bleiben, wölbt sich die Brüstungsoberkante. Es entstehen Biegezugspennungen, die zu Rissen in Brüstungsmittle mit abnehmender Rißweite zum Brüstungsaufleger hin führen können (siehe Bild 1 und auch die Rißbilder bei den Versuchen von Graf und Weise in /1/).

Biegezugspennungen in Brüstungsoberkante entstehen ebenfalls bei Ausbreitung der Pfeilerlasten in die Brüstung. Es kann zu dem oben beschriebenen Rißbild in der Nähe der Öffnungsecke kommen.

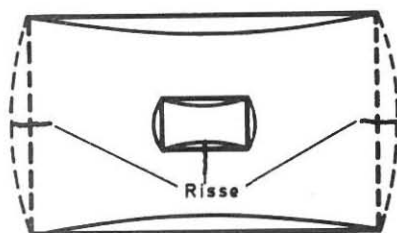


Bild 1: Qualitatives Verformungsbild der Wandscheibe durch Vertikalbelastung bei biegeweicher Lagerung
(Annahme: rechte Winkel in den Ecken bleiben erhalten)
und Rißbild

1.4 Horizontale Formänderungen

Zug- und/oder Biegezugspennungen in der Brüstung können entstehen durch:

- Verdrehung der Pfeiler durch unterschiedliches Verformungsverhalten von oberer und unterer Geschoßdecke
- entgegengesetzte horizontale Verformungen am Anschluß Brüstung/Wand
- Behinderung der horizontalen Verformung der Brüstung durch das Brüstungsaufleger

1.4.1 Pfeilerverdrehung

Pfeilerverdrehungen können insbesondere zwischen Dachdecke und darunterliegender Geschoßdecke auftreten. Hierdurch entstehen Biegezugspannungen in Teilbereichen der Brüstung. Zur Verdeutlichung kann näherungsweise ein Rahmensystem mit starrem Zugband (Brüstung) angenommen werden (siehe Bild 2).

Hinweise zur Verringerung der Pfeilerverdrehung finden sich z. B. in /2/.

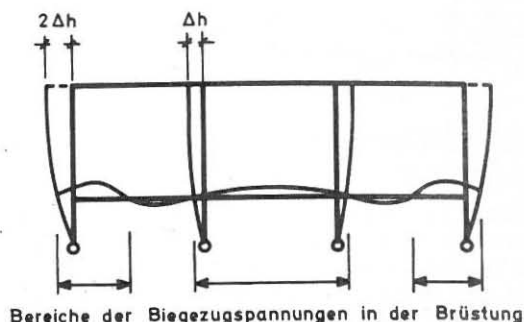


Bild 2: Biegezugspannungen in Brüstungen durch Pfeilerverdrehung infolge relativer Dehnungszunahme der oberen Geschoßdecke, qualitativ; Brüstung als starr angeschlossenes Zugband im Rahmensystem

1.4.2 Verformung Brüstung/Wand

Durch horizontale Formänderungen (Schwinden und Temperaturabnahme) können Zugkräfte am Anschluß Brüstung/Wand entstehen. Je nach Wandlänge l_W bzw. Brüstungslänge l_{Br} ergibt sich dabei näherungsweise (siehe Bild 3)

$l_W > l_{Br}$: Zugkraft auf die Brüstung

$l_W = l_{Br}$: die Zugkräfte sind näherungsweise gleich groß und

$l_W < l_{Br}$: Zugkraft auf die Wand

Um die auf die Brüstung wirkende Zugkraft aufzunehmen, ist mindestens eine konstruktive Bewehrung erforderlich.

Entsprechend der Lastabtragung in einer Scheibe mit angehängter Last sollte bei der Ermittlung der rißfreien Brüstungslänge $l_{r,Br}$ (siehe Abschnitt 2) die Brüstungslänge um die rd. 0,6-fache Brüstungshöhe h_{Br} in den Wandbereich verlängert gedacht werden, wenn die Brüstungslänge größer als die Wandlänge ist (siehe Bild 3).

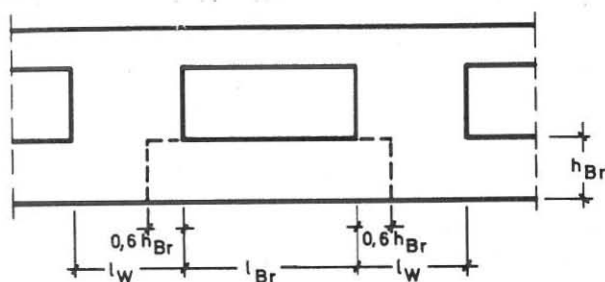


Bild 3: Wandlänge l_W und Brüstungslänge l_{Br}

In Bild 4 ist qualitativ das Verformungs- und Rißbild einer Wand mit Öffnung bei horizontalen Formänderungen dargestellt. Beim Vergleich mit Bild 1 fällt auf, daß in beiden Fällen Biegezugspannungen in der Brüstung auftreten. In den übrigen Bauteilbereichen verringern sich die Verformungen bzw. Spannungen bei Überlagerung der beiden Lastfälle. Der Brüstungsbereich erscheint somit besonders gefährdet.

Der gelegentlich in unbelastetem Mauerwerk (Giebel dreieck, Verblendschalen) auftretende Horizontalriß über den Sturz scheint seine Ursache in dem in Bild 4 dargestellten Verformungsbild zu haben.

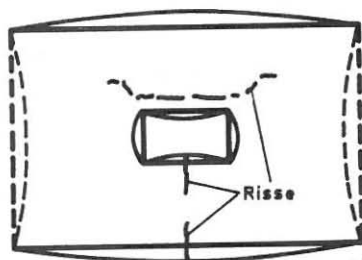


Bild 4: Qualitatives Verformungs- und Rißbild der Wandscheibe bei horizontalen Formänderungen und biegeweicher Lagerung (Annahme: rechte Winkel der Ecken bleiben erhalten)

2. Zugspannungen durch behinderte Formänderungen

Die Formänderungen von Wand und Brüstung werden durch die angrenzenden Bauteile (Geschoßdecken) behindert, was zu Zugspannungen im Mauerwerk führt. In /3/ wurde ein Verfahren zum Abschätzen der entstehenden Zugspannungen abgeleitet und daraus eine Formel zur Ermittlung der rißfreien Wandlänge. Sie ist in Tabelle 1 zusammen mit der Erläuterung der verwendeten Formelzeichen angegeben.

Tabelle 1: Formeln zur Ermittlung der rißfreien Wandlänge bei horizontalen Formänderungen (nach /3/)

$$l_r \leq \alpha \cdot h \frac{\delta_u}{\epsilon_{ges} \cdot R} \leq \alpha \cdot h$$

l_r : rißfreie Wandlänge

α : Beiwert zur Berücksichtigung der Lagerungsbedingungen
 $\alpha = 3$: Wand oben und unten verformungsbehindert
 $\alpha = 5$: Wand nur unten verformungsbehindert

h : Wandhöhe

δ_u : Bruchdehnung des Mauerwerks bei Zugbeanspruchung

ϵ_{ges} : horizontale Formänderungen aus Schwinden ϵ_h und/oder Temperaturabnahme ϵ_T ; $\epsilon_{ges} = \epsilon_h + \epsilon_T$

R : Behinderungsgrad

$$\delta_u \approx \frac{\beta_{Z,mw}}{E_v} \approx \frac{\beta_{Z,st}}{2E_v} \quad \text{bzw.} \quad \frac{\beta_a \cdot 2 \cdot (1+\mu)}{E_v} \cdot \frac{\dot{U}}{h}$$

$\beta_{Z,mw}$: Zugfestigkeit des Mauerwerks

E_v : Verformungsmodul als Sekantenmodul

$\beta_{Z,st}$: Steinzugfestigkeit

β_a : Scherfestigkeit zwischen Stein und Mörtel

μ : Querdehnungszahl

\dot{U}/h : Überbindemaß

Für die üblicherweise vorhandene Brüstungs- und Wandhöhe wurde die Formel für verschiedene Mauerwerksarten ausgewertet. Zur besseren Darstellung wurde mit Hilfe sinnvoll erscheinender Annahmen ein k-Beiwert aus

$$k = \alpha \cdot h \cdot \frac{\beta_{Z,mw}}{E_v}$$

berechnet. Die rißfreie Wandlänge hängt dann nur noch von den beiden Parametern k und behinderte horizontale Formänderung $\epsilon_{ges} \cdot R$ ab. Die k-Werte sind für verschiedene Mauerwerksarten in den Tabellen 2 und 3 angegeben.

Tabelle 2: Beiwerte k zur Berechnung der rißfreien Wandlänge von Brüstungen $l_{r,Br}$ (nach /3/)

$$l_{r,Br} = \frac{k}{\epsilon_{ges} \cdot R}$$

(Annahmen: Mörtelgruppe II; $\mu = 0,1$;

$U/h = 1,0$; übrige Baustoffkennwerte aus /4/;

(Brüstungshöhe 0,75 m)

Sorte	DIN	Mauersteine					
		2	4	6	12	20	28
HLz	105				0,16	0,23	0,29
KSV	106				0,22	0,21 ²⁾	0,18 ²⁾
KSL					0,17	0,21 ²⁾	0,18 ²⁾
G	4165	0,47	0,47	0,56			
Hbl ¹⁾	18151	0,09	0,09	0,12			
V ¹⁾	18152	0,16	0,16	0,16			

1) Zuschlag: Naturbims

2) Wand ohne Auflast



Baustoffkennwerte noch nicht bekannt bzw. Steinfestigkeitsklasse wird nicht hergestellt

Mit Ausnahme von Kalksandsteinen der Festigkeitsklassen 20 und 28 ist für die rißfreie Wandlänge die Steinzugfestigkeit maßgebend, was der Entwicklung feingliedriger Steine aus Wärmeschutzgründen zuwiderläuft.

In den Bildern 5 und 6 ist die rißfreie Wandlänge in Abhängigkeit von k und $R \cdot \epsilon_{ges}$ dargestellt.

Tabelle 3: Beiwert k zur Berechnung der rißfreien Wandlänge von oben und unten verformungsbehinderten Wänden $l_{r,W}$ (nach /3/)

$$l_{r,W} = \frac{k}{\varepsilon_{ges} \cdot R}$$

(Annahmen: Mörtelgruppe II; $\mu = 0,1$;

$U/h = 1,0$; übrige Baustoffkennwerte aus /4/;

Wandhöhe 2,75 m)

Sorte	DIN	Mauersteine					
		Festigkeitsklasse					
		2	4	6	12	20	28
HLz	105				0,35	0,52	0,64
KSV	106				0,50	0,45 ²⁾	0,60 ²⁾
KSL					0,37	0,45 ²⁾	0,60 ²⁾
G	4165	1,03	1,03	1,24			
Hbl ¹⁾	18151	0,21	0,21	0,26			
V ¹⁾	18152	0,34	0,34	0,34			

1) Zuschlag Naturbims

2) Wand ohne Auflast



Baustoffwerte noch nicht bekannt bzw. Steinfestigkeitsklasse wird nicht hergestellt

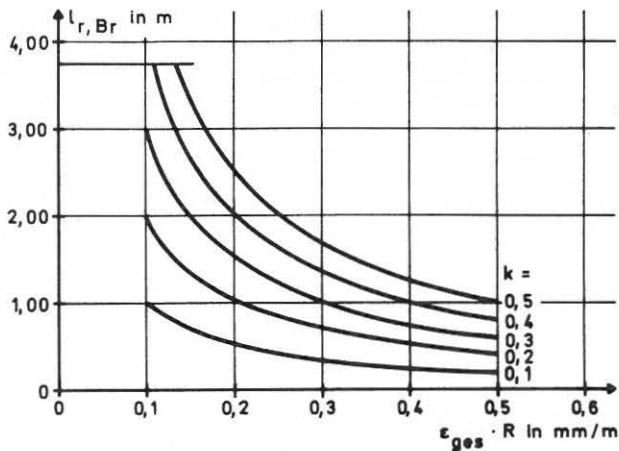


Bild 5: Rißfreie Wandlänge von Brüstungen l_{Br} in Abhängigkeit von der spannungswirksamen horizontalen Formänderung $\varepsilon_{ges} \cdot R$ und vom k -Beiwert (Rechenannahmen siehe Tabelle 2)

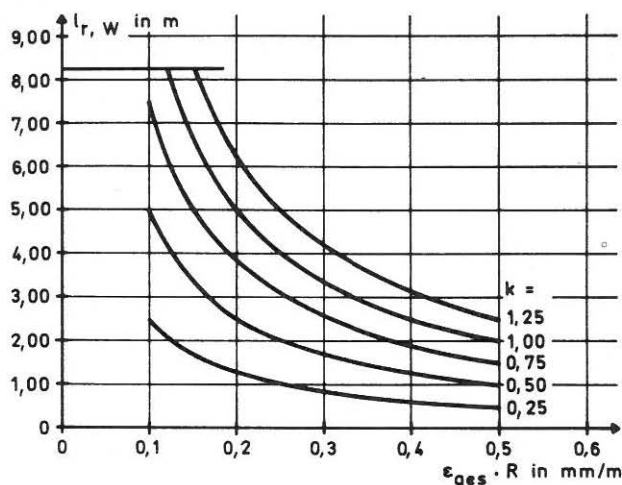


Bild 6: Rißfreie Wandlänge von oben und unten verformungsbehinderten Wänden $l_{r,w}$ in Abhängigkeit von der spannungswirksamen horizontalen Formänderung $\epsilon_{ges} \cdot R$ und vom k -Beiwert (nach /3/).

(Rechenannahmen siehe Tabelle 3)

3. Hinweise zur Rißvermeidung

Durch im wesentlichen qualitative Überlegungen wurde versucht, die Vielzahl der möglichen Rißursachen bei Brüstungen aufzuzeigen. Eine Berechnung der rißvermeidenden Maßnahmen ist wegen der Unsicherheiten bei den Rechenannahmen (Randbedingungen, Vielzahl der Lastfälle, Baustoffkennwerte) schwierig. Im allgemeinen wird es jedoch ausreichend sein, grundsätzlich eine konstruktive Bewehrung aus $2 d_s = 6$ mm oder Mauerwerk-Bewehrungselemente, wie sie aus Belgien bekannt sind, in die obere Lagerfuge der Brüstung einzulegen. Die Einbindetiefe in die Wand sollte mindestens 0,60 m betragen. Auf einen ausreichenden Korrosionsschutz sollte geachtet werden.

Grundsätzlich besteht auch die Möglichkeit, Dehnfugen anzuordnen. Die Standsicherheit der Brüstung ist dann jedoch nachzuweisen.

4. Literatur

- /1/ Graf, O. und Weise, F.: Versuch mit wandartigen Probekörpern, die eine Fensteröffnung aufweisen. Fortschritte und Forschungen im Bauwesen, Reihe 3, Heft 1, S. 46 ff. Verlag O. Elsner, Berlin 1942
- /2/ DIN 18530: Massive Deckenkonstruktionen für Dächer. Vornorm, Ausgabe Dezember 1974

- /3/ Schubert, P. und Glitza, H.:
Beurteilung der Rißsicherheit von Mauerwerkwänden bei
Behinderung horizontaler Verkürzungen infolge Schwinden
und Temperaturabnahme (Veröffentlichung in Vorbereitung)
sowie ibac-Forschungsbericht F 149.
- /4/ Schubert, P. und Wesche, K.:
Verformung und Rißsicherheit von Mauerwerk. Mauerwerk-Kalen-
der 1982, S. 111...144, Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin.