

# Forschungsvorhaben: Vorgespannte Mauerwerkswände für Erdbebenbeanspruchung

**PROF. DR.-ING. HARALD BUDELMANN**  
 Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz

Tel.: 0531-3915405  
 FAX: 0531-3915900

Beethovenstr. 52  
 38106 Braunschweig



**PROF. DR.-ING. ERHARD GUNKLER**  
 Labor für Baustofftechnologie und Massivbau

Tel.: 05231-769816  
 FAX: 05231-769819

Emilienstr.45  
 32756 Detmold



## Kurzbericht

### Rationell hergestellte Wände aus vorgespanntem großformatigen Mauerwerk mit hohem Erdbebenwiderstand (AZ: Z 6-5.4-02.18)

Budermann, H.; Gunkler, E.; Husemann, U.; Becke, A.

#### 1 Ziel der Forschungsaufgabe

Ziel der Forschungsaufgabe ist die Untersuchung der das Schubtrag- und Verformungsverhalten verbessernden Wirkung der Vorspannung in Mauerwerkswänden mit angekoppelter Decke, gerade im Hinblick auf erdbebenbedingte Einwirkungen. Im Folgenden wird über die Ergebnisse der Wandversuche und der Bearbeitung des Ingenieurmodells gemäß der Gliederung des Forschungsvorhabens in Tabelle 1 berichtet.

Tabelle 1: Gliederung des Forschungsvorhabens

Teilgebiet	Arbeitsschritt		Untersuchungsgegenstand
<b>A: Spannverfahren</b>	<b>A1: Spannwerkzeug</b>		Prüfung unterschiedlicher Spannwerkzeuge hinsichtlich ihrer Eignung zum Vorspannen von Mauerwerk
	<b>A2: Verbindung von Spannglied und Ankerkörper</b>		Trageigenschaften der Verbindung Spannglied / Ankerkörper
	<b>A3: Spannkrafteinleitung in das Mauerwerk</b>		Trag- und Verformungsverhalten des Mauerwerks bei Spannkrafteinleitung
<b>B: Experimentelle Untersuchungen an vorgespannten Mauerwerkswänden unter Erdbebeneinwirkung</b>	<b>B1: Materialprüfungen</b>	<b>B1.1: Mörtel</b>	Frisch- und Festmörtelkennwerte
		<b>B 1.2: Mauersteine</b>	Festigkeits- und Verformungskennwerte
		<b>B 1.3: Mauerwerk</b>	Festigkeits- und Verformungskennwerte
	<b>B2: Wandversuche</b>		Schubtrag- und Verformungsverhalten zyklisch in Scheibensrichtung beanspruchter Wände
<b>C: Ingenieurmodell für erdbebenbeanspruchtes vorgespanntes Mauerwerk</b>	<b>C1: Entwurf</b>		Strukturierung des Ingenieurmodells
	<b>C2: rechnerische Voruntersuchungen</b>		Eignung des nichtlinearen FE-Programmsystems ATENA zur Berechnung zyklisch auf Scheibenschub beanspruchter vorgespannter Mauerwerkswände
	<b>C3: Nachrechnung der Wandversuche</b>		Kapazitätsbestimmung geprüfter Wände
	<b>C4: Parameterstudien</b>		Kapazitätskurven von vorgespanntem Mauerwerk unter Erdbebeneinwirkung
	<b>C5: Verhaltensfaktor q</b>		Bestimmung eines Verhaltensfaktors q für Wohngebäude ausgewählter Gebäudestruktur

## 2 Durchführung der Forschungsaufgabe

### 2.1 Spannverfahren

Die Komponenten vom Spannverfahren sind Spannglied, Fest- bzw. Losanker und Kopplungen, sowie das Spannwerkzeug. Für vorgespanntes Mauerwerk sollen bereits auf dem Markt verfügbare Spannverfahren oder einzelne ihrer Komponenten verwendet werden. Daher wurde eine entsprechende Marktsichtung durchgeführt. Zusammen mit der Firma SUSPA/DSI, Langenfeld, wurde ein vorhandenes Spannverfahren mit Monolitzen (St. 1570/1770, Durchmesser: 0,6'',  $F_{pk.} = 189 \text{ kN}$ ) für vorgespanntes Mauerwerk weiterentwickelt. Es ermöglicht ein einfaches Einführen der Litzen durch den Losanker und ggf. durch PE-Hüllrohre hindurch in den Festanker, wo es selbsttätig fixiert wird. Die Kopplung einzelner Spannglieder ist möglich. Bild 1 zeigt den Festanker mit eingeführter Monolitze. In Bild 2 ist der Losanker als Schraubenverankerung dargestellt. Wegen der hier meist kurzen Spanngliedlängen wurde die Schraubverankerung zur Vermeidung von Spannkraftverlusten infolge Keilschlupf gewählt.



Bild 1: Festanker mit eingeführter Monolitze



Bild 2: Losanker als Schraubverankerung



Bild 3: Versuchsstand mit Handpumpe

Bild 3 zeigt die Spannvorrichtung der Firma SUSPA/DSI mit aufgesetztem Hohlkolbenzylinder (rot) auf zugehörigem Stützring (blau). Innerhalb des Stützringes befindet sich ein Kopplungselement, welches das Schraubgewinde der Litze mit dem Gewindestahl innerhalb des Hohlkolbenzylinders verbindet. Nach dem Ziehen des Gewindestahls über die Hohlkolbenpresse, wird die Gewidemutter der Litze gekontert und leitet damit die Vorspannkraft über die Ankerplatte in den Lasteinleitungs- und damit in die Betonkörper des Versuchsstandes ein.

Eine gute Handhabung dieses Spannwerkzeuges konnte nachgewiesen werden. Die Nutzung der Handpumpe als Antrieb für den Hohlkolbenzylinder bietet den Vorteil, das dieses System keinen Stromanschluss benötigt und somit auf Baustellen besonders flexibel einsetzbar ist. In den weiteren Untersuchungen erfolgte das Vorspannen über den Hohlkolbenzylinder mit einer Handpumpe. In der Baupraxis kann ebenso einfach ein elektrischer Antrieb für die Hydraulik eingesetzt werden.

## 2.2 Wandversuche

Es wurden insgesamt vier Wandscheiben mit Abmessungen und Auflasten geprüft, wie sie in bis zu dreigeschossigen Wohnbauten zur Gebäudeaussteifung herangezogen werden können. Versuchstechnisch wurde die Wand des untersten Geschosses berücksichtigt. Zur Simulation des Eigengewichts darüber liegender Geschosse wurde eine normalkraftbedingte Lagerfugenpressung in der untersten Lagerfuge von  $\sigma = 0,50 \text{ N/mm}^2$  aufgebracht.

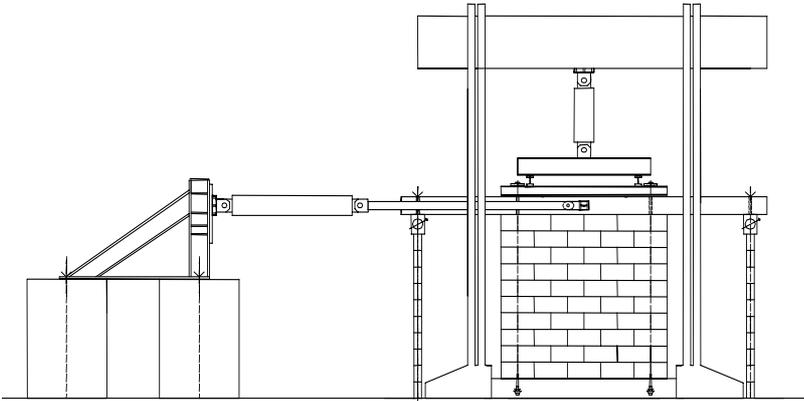


Bild 4: vollständiger Versuchsaufbau, Wandkörper W1

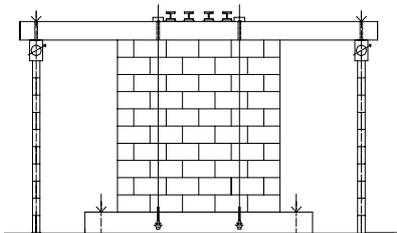


Bild 5: Wandkörper W2

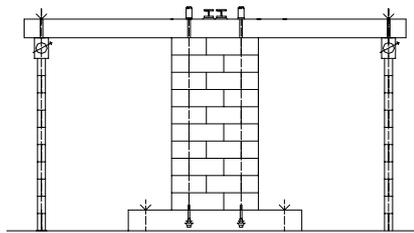


Bild 6: Wandkörper W3

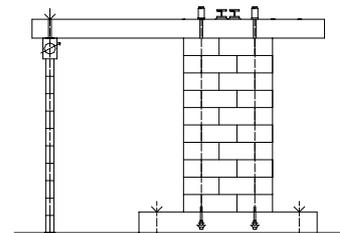


Bild 7: Wandkörper W4

Alle Wände wurden mit je zwei Monolitzen vorgespannt und mit einem Kopfbalken versehen, der die verdrehungsbehindernde Wirkung der Decke über der Schubwand simulierte. Der Kopfbalken war an beiden Enden oder nur einseitig auf Wandstreifen aufgelagert, was der Auflagerung der Decken auf Außen- oder Gebäudetrennwänden entsprach.



Die Bilder 4 und 8 zeigen den Wandkörper W1 im Versuchsstand. Gegenüber W1 wurden neben der Länge der Wände auch der Abstand der Spannglieder variiert, siehe hierzu die Bilder 5 bis 7 sowie die Tabelle 2.

Bild 8: Wandkörper W1 im Versuchsstand

Tabelle 2: Abmessungen der Versuchswände, Vorspannkkräfte und aufgenommene Horizontalkräfte

	Wand 1	Wand 2	Wand 3	Wand 4
Wandhöhe	2,50 m			
Wanddicke	0,175 m			
Wandlänge	2,50 m	2,50 m	1,25 m	1,25 m
Abstand der Spannglieder	2,00 m	1,25 m	0,75 m	0,75 m
Lagerung des Kopfbalken	zweiseitig	zweiseitig	zweiseitig	einseitig
Vorspannung ( $2 \cdot P_0$ )	360 kN	356 kN	352 kN	274 kN
Erstrissbildung [kN]	217	223	110	101
	- 227	- 220	- 114	- 100
Horizontale Auslenkung bei Erstrissbildung [mm]	3	6	7	11
Versagen der Wand oder Erreichen des Abbruchkriteriums [kN]	109	89	60	34
	- 105	- 94	- 60	- 16
Maximale horizontale Auslenkung vor Versagen [mm]	17	23	23	20

Die Wände wurden durch eine horizontale, statisch zyklisch wirkende Kopfverschiebung beansprucht werden.

Die horizontale statisch zyklische wirkende Kopfverschiebung wurde mit einer Geschwindigkeit von 0,008 Hz weggesteuert in drei Zyklen je Verformungsstufe aufgebracht. Bild 9 zeigt die Auslenkung der Kopfplatte in Abhängigkeit der Zeit für die ersten vier Auslenkungsstufen.

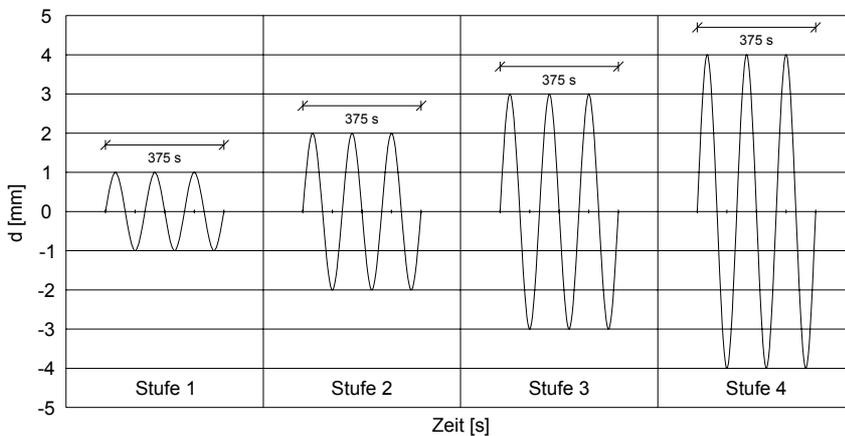


Bild 9: Darstellung der ersten vier Auslenkungszyklen der Kopfplatte

Die horizontale Auslenkung wurde je Verformungsstufe bis zur Ausbildung eines ausgeprägten Rissbildes in 1 mm Schritten und danach in 2 mm Schritten erhöht. In Tabelle 2 werden die entsprechenden Versuchsergebnisse aufgeführt.

Exemplarisch für W1 zeigen Bild 10 die aufgenommenen Verschiebungs- Horizontalkraft-Hysteresen und Bild 11 das Bruchbild.

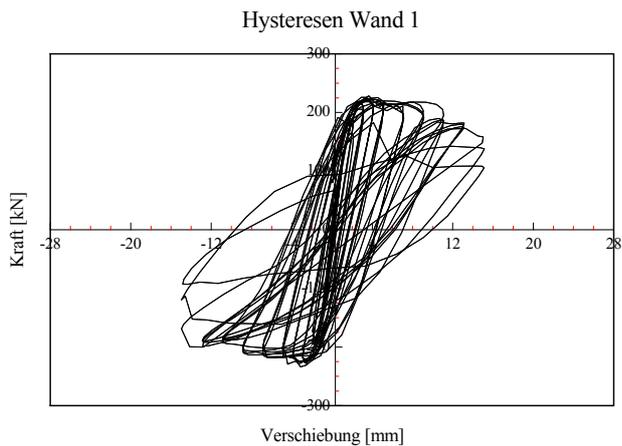


Bild 10: Darstellung der Hysteresen bei horizontaler Kopfauslenkung [mm], W1



Bild 11: Bruchbild von Wand W1

### 2.3 Ingenieurmodell für erdbebenbeanspruchtes vorgespanntes Mauerwerk

Der Entwurf des Ingenieurmodells wurde in [1], [2] bereits skizziert.

Die rechnerische Ermittlung der Kapazitätskurven erfolgt unter Anwendung des FE-Programmsystems ATENA. Die im Versuch aufgebrachte statisch zyklische Verschiebung in jeweils 3 Zyklen je Verformungsstufe (Bild 9) wurde bei der rechnerischen Analyse anfänglich durch eine rein statisch wirkende schrittweise Kopfverschiebung ersetzt und im weiteren Bearbeitungsverlauf auf eine statisch zyklische Belastung mit je einem Verschiebungszyklus erweitert.

Die Extremwerte der errechneten Einzelhysteresen zyklischer Versuche werden zu einer Kapazitätskurve zusammengefasst, die das Schubtragverhalten der Wände wiedergeben. Exemplarisch sind diese für die Versuchswand W1 in Bild 12 bei statischer und zyklischer Belastung der Versuchskurve gegenübergestellt.

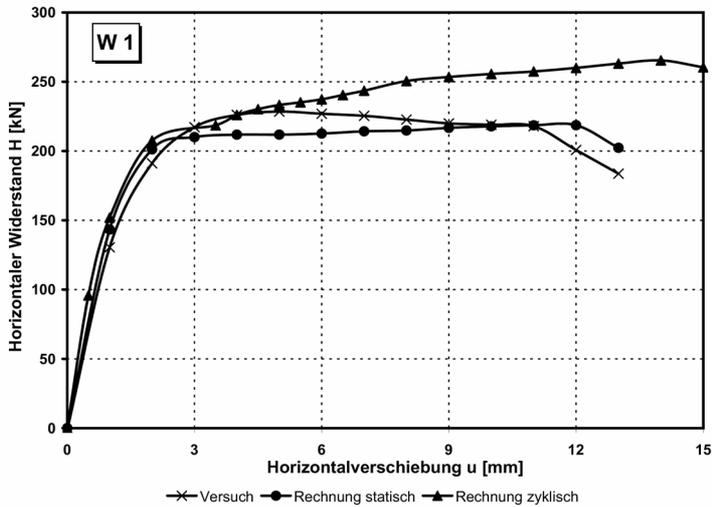


Bild 12: Vergleich der Kapazitätskurven experimentell und rechnerisch (statisch und zyklisch), W1

Die aus den Wandversuchen ermittelten Kapazitätskurven werden bilinear idealisiert [4] und die Verschiebungsduktilität der Wände ermittelt.

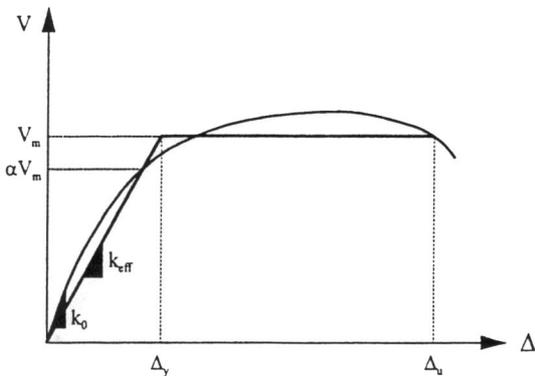


Bild 13: Linearisierte Kapazitätskurve [4]

Das Ingenieurmodell basiert auf Kapazitätsbetrachtungen nach Bachmann/Lang [5], die 2002 für die Beurteilung von Gebäuden aus unbewehrtem Mauerwerk unter Erdbebenbeanspruchung veröffentlicht wurden. Diese Betrachtungen werden im Rahmen der laufenden Untersuchungen auf vorgespanntes Mauerwerk angewendet. Bild 14 zeigt im Vergleich die im Versuch aufgezeichnete Kapazitätskurve, die Idealisierung nach Tomažević [4] und die rechnerisch ermittelte Kapazität nach Bachmann/Lang für Wand W1. Eine gute Übereinstimmung zwischen den verschiedenen Kurven ist erkennbar.

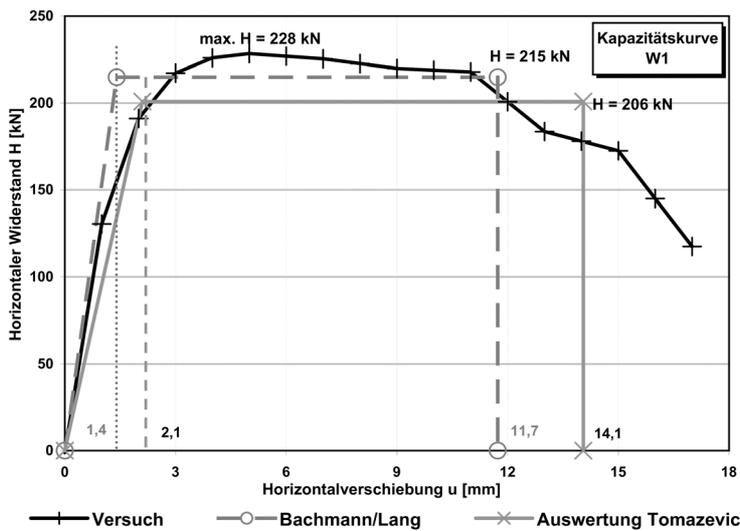


Bild 14: Vergleich der Kapazitätskurven für Wand 1

### 3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Es wird über die Auswertungsschritte im Rahmen des Forschungsvorhabens „Rationell hergestellte Wände aus vorgespanntem großformatigen Mauerwerk mit hohem Erdbebenwiderstand“ berichtet. Es wurde die das Schubtrag- und Verformungsverhaltens verbessernde Wirkung der Vorspannung von Mauerwerkswänden mit angekoppelter Decke untersucht.

An vier verschiedenen vorgespannten Wandkörper  $h = 2,50$  m und  $d = 0,175$  m mit Längen von 2,50 m bzw. 1,25 m wurden statisch zyklische Schubversuche durchgeführt. Neben der Nachrechnung der Versuchsergebnisse mit dem FE-Programmsystem ATENA wurde die Schubkapazität der Versuchswände bestimmt und mit nach einem Modell von Bachmann/Lang ermittelten Werten verglichen. Die Nachrechnungen zeigen eine gute Übereinstimmung zwischen Versuch und Rechnung.

#### 4 Literatur

- [1] Budelmann, H.; Gunkler, E.; Husemann, U.; Becke, A.: *Rationell hergestellte Wände aus vorgespanntem großformatigem Mauerwerk mit hohem Erdbebenwiderstand* (AZ: Z 6-5.4-02.18) Zwischenbericht des IBMB der TU Braunschweig und der FH Lippe und Höxter. Juni 2003.
- [2] Budelmann, H.; Gunkler, E.; Husemann, U.; Becke, A.: *Rationell hergestellte Wände aus vorgespanntem großformatigem Mauerwerk mit hohem Erdbebenwiderstand* (AZ: Z 6-5.4-02.18). In: Mauerwerk-Kalender 2004. Ernst & Sohn, Berlin 2003, S. 635 - 641
- [3] Budelmann, H.; Gunkler, E.; Husemann, U.; Becke, A.: *Rationell hergestellte Wände aus vorgespanntem großformatigem Mauerwerk mit hohem Erdbebenwiderstand* (AZ: Z 6-5.4-02.18) Zwischenbericht des IBMB der TU Braunschweig und der FH Lippe und Höxter. Januar 2004.
- [4] Tomaževič, M.: *Earthquake-Resistant Design of Masonry Buildings*. Slovenien National Building and Civil Engineering Institut, Imperial College Press, 1999
- [5] Bachmann, H.; Lang, K.: *Zur Erdbebensicherung von Mauerwerksbauten*. Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich; IBK Bericht Nr. 274, Mai 2002.