

**Beitrag zur Bewertung von schlanken
Mauerwerkwänden unter Berücksichtigung der
aussteifenden Wirkung seitlicher Holzstiele
hinsichtlich der Standsicherheit der Verbund-
konstruktion**

von

Hans-Alexander Biegholdt

Bericht Nr. 3 (2001)

Universität Leipzig
Institut für Statik und Dynamik der Tragstrukturen
Prof. Dr.-Ing. R. Thiele

Von der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Universität
Leipzig genehmigte Dissertation zur Erlangung des akademi-
schen Grades Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. R. Thiele
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. e.h. G. König
Prof. Dr.-Ing. B. Novák

Tag der Verleihung: 19. 3. 2001

Berichte aus dem Institut für Statik und Dynamik der
Tragstrukturen

Band 3

Hans-Alexander Biegholdt

**Beitrag zur Bewertung von schlanken
Mauerwerkswänden unter Berücksichtigung der
aussteifenden Wirkung seitlicher Holzstiele
hinsichtlich der Standsicherheit der
Verbundkonstruktion**

Shaker Verlag
Aachen 2001

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Biegholdt, Hans-Alexander:

Beitrag zur Bewertung von schlanken Mauerwerkwänden unter Berücksichtigung der aussteifenden Wirkung seitlicher Holzstiele hinsichtlich der Standsicherheit der Verbundkonstruktion / Hans-Alexander Biegholdt.

Aachen : Shaker, 2001

(Berichte aus dem Institut für Statik und Dynamik der Tragstrukturen ; Bd. 3)

Zugl.: Leipzig, Univ., Diss., 2001

ISBN 3-8265-8960-2

Copyright Shaker Verlag 2001

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8265-8960-2

ISSN 1615-8423

Shaker Verlag GmbH • Postfach 1290 • 52013 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

VORWORT

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Statik und Dynamik der Tragstrukturen der Universität Leipzig.

Herrn Prof. Dr.-Ing. R. Thiele danke ich für die Ermöglichung der Forschungstätigkeit zu einem Thema, das mich seit nunmehr 8 Jahren beschäftigt. Er hat mir mit seiner steten Unterstützung, zahlreichen Anregungen und kritischen Fragen den Blick für das Wesentliche geschärft. Die Finanzierung der durchgeführten Versuche ist nicht zuletzt seinem Engagement bei der Vermittlung zu Partnern aus Industrie und Forschung zu verdanken.

Ebenso danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. e.h. G. König, Direktor des Institutes für Massivbau und Baustofftechnologie der Universität Leipzig, für die Übernahme des Koreferates. Während seines erfolgreichen Wirkens an der TH Darmstadt konnte ich bereits 1990 am dortigen Institut für Massivbau an einer Forschungsarbeit mitwirken, die den Beginn meiner wissenschaftlichen Tätigkeit markiert.

Herrn Prof. Dr.-Ing. B. Novak danke ich für seine Anregungen, für das Mutmachen bei unerwarteten Ergebnissen und für die Übernahme eines Gutachtens.

Bedanken möchte ich mich bei meinen Kollegen insbesondere Herrn Dr.-Ing. W. Schneider für die stete Bereitschaft zur Diskussion und die Anregungen für Forschung und Lehre sowie den Herren Dipl.-Wirtsch.-Ing. J. Schmidt und Dipl.-Ing. R. Schrank für die Durchsicht der Arbeit.

Meinem ehemaligen Kollegen, Herrn Dr.-Ing. G. Marzahn danke ich für rege Diskussionen, die Unterstützung mit Literatur und den Anstoß zum Englischunterricht.

Dank gilt auch den Kollegen der Materialforschungs- und Prüfungsanstalt für das Bauwesen Leipzig e.V. und Herrn Winkler als technischem Mitarbeiter am Bereich Bauwesen für die Unterstützung in der experimentellen Arbeit.

Aus dem Kreis der studentischen Mitarbeiter möchte ich den Herren Mathias Euler und Daniel Birke für die gute Zusammenarbeit danken.

Besonderer Dank gilt meiner Frau Katrin und unseren Kindern Clara und Hannes, deren Geduld und Vertrauen große Hilfe war, die Arbeit zum Erfolg zu führen. Das Erleben des gemeinsamen Heranwachsens hat mir Kraft und Sinn gegeben, lange Bestehendes zu erforschen und neugierig auf Künftiges zu bleiben.

Hans-Alexander Biegholdt

Leipzig, den 21. September 2000

INHALTSVERZEICHNIS

Symbole, Abkürzungen

1.	Einleitung	1
2.	Literaturübersicht	3
2.1.	Bauordnung und -normung	3
2.1.1.	Entwicklung von Bauordnung und -normung in Deutschland	3
2.1.2.	Geschichte der Ortsbauordnung für Leipzig	5
2.2.	Die Bundwand eine Fachwerkwand	6
2.2.1.	Entwicklung von Konstruktion und Ausführung	6
2.2.2.	Vorschriften zum Zeitpunkt der Erstellung	6
2.2.3.	Gegenwärtig gültige Vorschriften	8
2.2.4.	Anwendungsgrenzen	8
2.3.	Stand der Untersuchungen	9
2.3.1.	Verbundkonstruktionen mit Mauerwerk	9
2.3.2.	Mauerwerkwände	10
2.3.3.	Ermittlung der Materialkennwerte	13
2.3.4.	Modelluntersuchungen mit der FE-Methode	14
3.	Zielsetzung und Vorgehensweise bei der Bewertung der zu untersuchenden Konstruktion	15
3.1.	Zielsetzung	15
3.2.	Vorgehensweise	15
4.	Konstruktions- und Materialeigenschaften	16
4.1.	Die Bundwandkonstruktion	16
4.2.	Materialkennwerte	20
4.2.1.	Mauerwerk	20
4.2.1.1.	Steinfestigkeit	20
4.2.1.2.	Mörteldruckfestigkeit	21
4.2.1.3.	Mauerwerkdruckfestigkeit	22
4.2.1.4.	Mauerwerkzugfestigkeit	23
4.2.1.5.	Verformungskennwerte und E-Modul	25
4.2.2.	Materialkennwerte von Holz	27
4.3.	Kriech- und Schwindverhalten	29
4.3.1.	Holz	29
4.3.2.	Mauerwerk	29
4.3.3.	Verformungen von Holz und Mauerwerk während der Errichtung und der Standzeit	30
4.3.4.	Beispiel	31
4.3.4.1.	Verformungen bei einer Gebrauchslast von 80% der zentrisch zulässigen Last	32
4.3.4.2.	Verformungen bei einer Gebrauchslast von 100% der zentrisch zulässigen Last	32
4.3.4.3.	Ermittlung des Lastniveaus für gleiche Verformungen von Holzstiel und Mauerwerk	32
4.3.4.4.	Einfluß des Lastanteils im Bauzustand	33

5.	Lastannahmen	35
5.1.	Eigengewicht der Wände	35
5.2.	Deckenlast	35
6.	Ermittlung der Tragfähigkeit schlanker Wände	38
6.1.	Nachweis nach DIN 1053-1 (1996) Vereinfachtes Verfahren	38
6.2.	Nachweis nach DIN 1053-1 (1996) Genauerer Berechnungsverfahren	39
6.2.1.	Vorbetrachtung	39
6.2.2.	Untersuchung des Einflusses der Querschnitts- werte auf die Knicklänge	40
6.2.3.	Untersuchung des Einflusses der Querschnittswerte auf das Wandmoment am Wandkopf	42
7.	Zweiachsiale Lastabtragung	43
7.1.	Voraussetzungen	43
7.2.	Nachweis der Lagerung der vertikalen Ränder der Mauerwerkswand	43
7.2.1.	Vorbemerkung	43
7.2.2.	Beanspruchung der Holzstütze durch die resultierenden Horizontallasten infolge des Moments aus der ausmittigen Lasteintragung	44
7.2.3.	Bewertung	45
7.3.	Ansatz für ein Stabmodell mit biegesteifem Rähm zur Erfassung der Lastanteile	45
7.4.	Vereinfachter Rechenansatz mit einem Ersatzstabmodell für Holz und Mauerwerk	46
8.	Versagenskriterien der 4-seitig gehaltenen Wand	48
8.1.	Vorbemerkung	48
8.2.	Versagenskriterien in Abhängigkeit von den Biegemomenten	48
8.3.	Ermittlung des maßgeblichen Versagensmoments in Abhängigkeit von der Plattengeometrie	50
8.3.1.	Ermittlung der Randbedingungen für das Versagen der Mörtelfuge	50
8.3.2.	Einfluß der Plattengeometrie auf die Versagensform	52
8.4.	Zusammenfassung	55
9.	Modellversuch an einer Scheibenkette	56
9.1.	Vorbemerkung	56
9.2.	Versuchsbeschreibung	56
9.3.	Versuchsverlauf	57
9.4.	Versuchsbewertung	60
10.	Experimentelle Untersuchungen	61
10.1.	Versuchsprogramm	61
10.2.	Randbedingungen	62
10.3.	Beschreibung des Versuchsaufbau	63
10.3.1.	Vorversuche an bestehenden Wandkonstruktionen im Maßstab 1:1	63
10.3.2.	Wandversuche im Maßstab 1:1	65

10.3.3.	Beschreibung der Versuchskörper	67
10.4.	Materialeigenschaften	68
10.4.1.	Vorbemerkung	68
10.4.2.	Mauerziegel	68
10.4.2.1.	Druckfestigkeit	68
10.4.2.2.	Biegezugfestigkeit	68
10.4.2.3.	Abmessungen	69
10.4.3.	Mauermörtel	70
10.4.4.	Mauerwerkdruckfestigkeit	71
10.4.5.	Holz	72
10.5.	Versuchsauswertung	76
10.5.1.	Rißbildung und Versagensform	76
10.5.2.	Versuchsergebnisse	78
11.	Bemessungsvorschlag	82
11.1.	Vorbemerkung	82
11.2.	Parameterbestimmung	82
11.3.	Vorbemessung	85
11.4.	Einfluß der Iterationsschritte auf die Größe der elastischen Verformung f in Wandmitte	88
11.5.	Einfluß der Steifigkeitsverhältnisse auf die Verformungsanteile f_2 und f_3	89
11.6.	Wandnachweis	92
11.7.	Nachweis des Holzstiels	94
11.8.	Ermittlung der zulässigen Wandlast	96
11.9.	Nachrechnung eigener Versuche	98
11.9.1.	Kraft-Verformungspfad Mauerwerkausfachung	98
11.9.2.	Kraft-Verformungspfad Biegung Holzstiel	99
11.9.3.	Vergleich der Bruchlasten mit den zulässigen Streckenlasten	100
11.9.4.	Qualität der erfaßbaren Randbedingungen und Einfluß auf die Meßergebnisse	102
12.	Ermittlung der Steindruckfestigkeit mit dem Rückprallhammer	105
12.1.	Vorbemerkung	105
12.2.	Vorschlag für einen Prüfmodus	106
12.3.	Ermittlung der Steindruckfestigkeit	106
12.3.1.	Ermittlung der Rückprallwerte mit dem Schmidhammer (Typ N)	106
12.3.2.	Prüfung der Steindruckfestigkeit nach [DIN 105-1 1989]	107
12.4.	Auswertung	107
13.	Zusammenfassung	110
14.	Literatur	112

SYMBOLS, ABKÜRZUNGEN

Geometrie

h	Wandhöhe
b	Wandbreite
d_a	Wanddicke der Ausfachung
b_s	Breite der Stiele
d_s	Dicke der Stiele
d_b	Deckendicke
e	Ausmitte
e_1	Ausmitte am Wandkopf aus Deckenverdrehung
e_2	Ausmitte in Wandmitte aus Horizontallasten
h_G	Geschosshöhe
\ddot{u}	Überbindemaß
t	Fugendicke
h_{St}	Steinhöhe
l_{St}	Steinlänge
b_{St}	Steinbreite
l_D, l_1, l_2	Deckeneinflußlänge
A	Fläche

Indizes

K	Knicken
m, MW	Mauerwerk
i	initial
c, t	Druck- und Zugbeanspruchung
y, z	horizontal
x	vertikal
el, pl	elastisch, plastisch
exp	experimentell
min, max	minimal, maximal
u	im Bruchzustand
5%	unterer 5%-Quantilwert einer Größe
st	Stein
h	Holz
E	Ersatz
ob	oben
un	unten
$rech$	rechnerisch
zul	zulässig

Festigkeiten/zulässige Spannungen

Stein	$\beta_D, \beta_Z, \beta_{BZ}, \beta_{SZ}$	Druck-, Zug-, Biegezug-, Spaltzugfestigkeit
	β_N	Druckfestigkeit
	f_b	normierte Druckfestigkeit
	f_c	Druckfestigkeit
	f_t	Zugfestigkeit
	$f_{c,PR}$	Prüfdruckfestigkeit

Mörtel	f_m	Mörteldruckfestigkeit
	$f_{m,PR-Wü}$	Prüffestigkeit im Würfeldruckverfahren
	$f_{m,PR-NP}$	Prüffestigkeit an Normprismen
	$f_{d,b}$	normierter Wert der Mörteldruckfestigkeit
Mauerwerk	f, β_R	Druckfestigkeit
	μ	Reibungsbeiwert
	β_{RK}	Kohäsionsbeiwert
	σ_0	Grundwert der zulässigen Druckspannung
	β_Z	Zugfestigkeit
	β_{HS}	Haftscherfestigkeit
	β_{RHS}	Rechenwert der abgeminderten Haftscherfestigkeit
	σ_{OHS}	zulässige abgeminderte Haftscherfestigkeit
Holz	β_{RZ}	Biegezugfestigkeit
	σ_B	zulässige Biegezugspannung
	σ_{ZII}	zulässige Zugspannung (parallel zur Faser)
	$\sigma_{Z\perp}$	zulässige Zugspannung (senkrecht zur Faser)
	σ_{DII}	zulässige Druckspannung (parallel zur Faser)
	$\sigma_{D\perp}$	zulässige Druckspannung (senkrecht zur Faser)
	τ_a	zulässige Scherspannung (parallel zur Faser)
τ_Q	zulässige Schubspannung (aus Querkraft)	
τ_T	zulässige Schubspannung (aus Torsion)	
Verformungen		
Δl		vertikale Längenänderung
w		Durchbiegungen
e_{nm}		Ausmitte in halber Höhe unter Horizontallasten (Mauerwerk)
f_{el}, f_k		elastische und Kriechverformung (Holz auf Biegung)
$\epsilon_{el,II}$		elastische Dehnung (Holz, parallel zur Faserrichtung)
ϵ_{-II}		Kriechdehnung (Holzes parallel zur Faserrichtung)
ϵ_{SII}		Schwinddehnung (Holzes parallel zur Faserrichtung)
$\epsilon_{el,MW}, \epsilon_{s,MW}$		elastische und Gesamtdehnung (Mauerwerk)
f_1		ungewollte Verformung in Wandmitte
f_2		Wandverformung in Wandmitte infolge Berücksichtigung der Verformung aus Theorie II.Ordnung
f_3		horizontale Verformung des Holzstiels
f_{ges}		Summe der Verformungen $f_1+f_2+f_3$
m		bezogene planmäßige Exzentrizität in halber Wandhöhe
Verformungskennwerte		
E_c		Druck-Elastizitätsmodul des Mauerwerk
E_t		Zug-Elastizitätsmodul des Mauerwerk
E_{II}		Elastizitätsmodul des Holzes (parallel zur Faser)
E_{\perp}		Elastizitätsmodul des Holzes (senkrecht zur Faser)
E_b		Elastizitätsmodul Decke
$E_{c,1/3}$		Druck-Elastizitätsmodul des Mauerwerk bei 1/3 der Bruchlast

Bezeichnungen

$E_{t,k}$	Zug-Elastizitätsmodul des Mauerwerk im Bruchzustand
I_h	Flächenträgheitsmoment Holz
I_m	Flächenträgheitsmoment Mauerwerk
I_b	Flächenträgheitsmoment Decke
u_G	Gleichgewichtsfeuchte (Holz)
φ	Kriechzahl Holz
η_k	Lastbeiwert (Kriechen)
$\Phi_{\infty, MW}$	Endkriechmaß Mauerwerk
K_t	Knotendrehwinkel
Z	Verhältnisfaktor für die Relation E_c zu E_t

Spannungen

$\sigma, \sigma_D, \sigma_Z$	Spannung, Druckspannung, Zugspannung
σ_R	Randspannung
σ_0	Grundwert der zulässigen Druckspannung
T	Schubspannung

Schnittgrößen, Belastungen

M, N, Q	Moment, Normalkraft, Querkraft
N_{sigma}	Normalkraft in der Wand bei zentrischer Lasteinleitung und resultierender Normalspannung $\sigma_D = f/2,67$
m	längenbezogenes Moment
n	längenbezogene Normalkraft
q_H	resultierende Horizontallast auf die Ausfachungsfläche
q_S	resultierende Streckenlast auf den Holzstiel
q_N	vertikale Streckenlast in Richtung der Wandebene
F	vertikale Einzellast
g	Eigengewicht
q	Gesamtlast
p	Verkehrslast
s	Schneelast
k_S	Dachneigungsbeiwert
s_0	Regelschneelast
w	Windlast
c_p	Druckbeiwert

Symbole

γ	Sicherheitsbeiwert
γ_w	Sicherheitsbeiwert (Wand)
α	Beiwert zur Ermittlung der Schnittmomente von Platten
κ	Beiwert zur Ermittlung der Verformung von Platten
ϱ	Wichte
β	Knicklängenbeiwert
λ	Schlankheit der Wand
μ_Q	Querdehnzahl Mauerwerk
Δ	Änderung
ξ	Relation vorhandene Last/zulässige Last