

2014

MAUERWERK KALENDER



Bemessen
Bewehren
Befestigen

2014

MAUERWERK KALENDER

Herausgegeben von
Wolfram Jäger, Dresden

39. Jahrgang

Hinweis des Verlages

Die Recherche zum Mauerwerk-Kalender ab
Jahrgang 1976 steht im Internet zur Verfügung
unter www.ernst-und-sohn.de

Titelbild: Speicherstadt Hamburg

Foto: Jürgen Küenzlen, Adolf Würth GmbH & Co. KG

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© 2014 Ernst & Sohn

Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Rotherstraße 21, 10245 Berlin, Germany

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikrofilm oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden.

All rights reserved (including those of translation into other languages). No part of this book may be reproduced in any form – by photoprint, microfilm, or any other means – nor transmitted or translated into a machine language without written permission from the publishers.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie als solche nicht eigens markiert sind.

Herstellung: pp030 – Produktionsbüro Heike Praetor, Berlin

Satz: Dörr + Schiller GmbH, Stuttgart

Druck und Bindung: Strauss GmbH, Mörlenbach

Printed in the Federal Republic of Germany

Print ISBN 978-3-433-03070-7

ISSN 0170-4958

Elektronische Version eBook ISBN 978-3-433-60444-1

Vorwort

Der Mauerwerk-Kalender 2014 behandelt schwerpunktmäßig die beiden Themen Befestigen in und Bewehren von Mauerwerk. Dabei werden die bekannten und jahrelang bewährten Bauelemente und Techniken ebenso berücksichtigt wie neue Anwendungsgebiete, bei denen der Einsatz im Mauerwerksbau noch nicht bis ins Letzte erforscht ist. Berichte von praktischen Beispielen wechseln sich mit der Vorstellung neuester Forschungsergebnisse ab. Ein drittes Schwerpunktthema beschäftigt sich mit der Anwendung des EC6, der bisher zwar noch nicht bauaufsichtlich eingeführt ist, jedoch über die vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) veröffentlichte Gleichwertigkeitserklärung bereits in der Übergangsfrist bis zur endgültigen bauaufsichtlichen Einführung (aus heutiger Sicht 01. Januar 2015) angewendet werden kann (siehe auch Einführung im Beitrag E I in diesem Mauerwerk-Kalender).

- Im Bereich *Baustoffe · Bauprodukte* finden Sie den jährlich aktualisierten Grundlagenbeitrag Eigenschaftswerte von Mauersteinen, Mauermörtel, Mauerwerk und Putzen. Der bekannte Beitrag über den Mauerwerksbau mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung stellt wie im Vorjahr ausschließlich die Neuentwicklungen aus dem Bereich Wandbauelemente vor, d. h. für die behandelten Produkte wurde im zurückliegenden Jahr erstmals die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung erteilt. Die Umstellung auf den Eurocode 6 ist in diesem Bereich noch nicht vollzogen, das heißt, dass die Zulassungen demnächst vom DIBt angepasst werden müssen. Ein relativ neues Gebiet im Mauerwerksbau wird im Beitrag zur Anwendung von Glasfaserbewehrung erschlossen. Der Praktiker findet hier die Materialeigenschaften sowie die Grundlagen für die Bemessung nach den entsprechenden Eurocodes erläutert. Einen umfangreichen Überblick über Befestigungsmittel für den Mauerwerksbau einschließlich Informationen zu Wirkungsweise und Anwendungsbereich gibt ein Beitrag von Fachleuten des Deutschen Instituts für Bautechnik DIBt.

- Die Abteilung *Konstruktion · Bauausführung · Bauwerkserhaltung* enthält eine ausführliche Abhandlung zur Befestigung von Fenstern in Mauerwerk sowie zur Verankerung von Fassadengerüsten. Hier wird deutlich, dass die Ausführung der Befestigung neben der Kenntnis der aktuellen Regelungen oft eine Einzelfallbetrachtung und – vor allem beim Bauen im Bestand – eine Einschätzung vor Ort erfordert. Weitere Beiträge in dieser Rubrik befassen sich mit Vernadelungs- und Verankerungsarbeiten sowie mit einem praktischen Bei-

spiel zur Glasfaserbewehrung – Letztere speziell in Lehmmauerwerk. Die Ertüchtigungsmaßnahmen in der historischen Zitadelle von Bam/Iran, die durch ein schweres Erdbeben am 26. Dezember 2003 fast vollständig zerstört wurde, sollen diese vor künftigen Schäden bewahren helfen.

- Das Kapitel *Bemessung* bietet mit Erläuterungen und Anwendungsbeispielen Unterstützung bei der Anwendung des EC6. Ein weiterer Aufsatz beschreibt ein Ingenieurmodell zur Tragfähigkeit vorgespannter Mauerwerkswände, welches in den vergangenen 10 Jahren entwickelt und intensiv erforscht wurde.

- Die Rubrik *Bauphysik · Brandschutz* zeigt an zwei beispielhaften Beiträgen Problemfelder bei zweischaligen Wänden auf – die konstruktiv bedingten Befestigungselemente „stören“ das energieoptimale Verhalten der Konstruktion. Die Autoren schildern Auswirkungen und Optimierungsmöglichkeiten, innovative Befestigungs- und Dämmtechniken sind gefragt.

- Im Bereich *Normen · Zulassungen · Regelwerk* stehen wie gewohnt die tabellarischen Übersichten zu den geltenden technischen Regeln für den Mauerwerksbau sowie das aktuelle Verzeichnis der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen zur Verfügung, welches nach dem Einsatzgebiet der jeweiligen Produkte gegliedert ist. Dem Verzeichnis folgt eine Liste, geordnet nach Zulassungsnummern und mit Verweisen auf die entsprechenden Seiten dieses Beitrags sowie auf die des Beitrags A II „Neuentwicklungen beim Mauerwerksbau mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung“ aus dem Kapitel *Baustoffe · Bauprodukte*.

- Mit dem Kapitel *Forschung* und dem jährlichen Überblick über die aktuelle Forschungssituation im Mauerwerksbau schließt der Mauerwerk-Kalender.

Der Herausgeber dankt allen Beteiligten für die zuverlässige Mitarbeit, die das jährliche Erscheinen des umfangreichen Informationsspeichers Mauerwerk-Kalender ermöglicht. Die häufige Verwendung des Mauerwerk-Kalenders als Nachschlagewerk durch Sie, unsere geschätzten Leser, sind für unser Team Motivation und Ansporn für die kommenden Ausgaben – nehmen Sie die Gelegenheit zum kritischen Hinterfragen wahr.

Wolfram Jäger
Dresden, im Februar 2014

ji@jaeger-ingenieure.de

Inhaltsübersicht

A Baustoffe · Bauprodukte

- I Eigenschaften von Mauersteinen, Mauermörtel, Mauerwerk und Putzen 3
Wolfgang Brameshuber, Aachen
- II Neuentwicklungen beim Mauerwerksbau mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ) 35
Wolfram Jäger, Dresden und Roland Hirsch, Berlin
- III Glasfaserbewehrung im Mauerwerksbau 69
Ben Jütte und Werner Venter, Baden-Baden
- IV Befestigungsmittel für den Mauerwerksbau 89
Michael Müller und Eckehard Scheller, Berlin
aktualisiert durch Andreas Kummerow, Berlin

B Konstruktion · Bauausführung · Bauwerkserhaltung

- I Befestigung von Fenstern in Mauerwerk 139
Jürgen Küenzlen, Künzelsau und Eckehard Scheller, Berlin
- II Verankerung von Fassadengerüsten 183
Jürgen Küenzlen, Künzelsau und Christoph-Ludwig Bügler, Berlin
- III Instandsetzung und Ertüchtigung von Mauerwerk Teil 5: Vernadeln, Verankern (Berechnung) 199
Birger Gigla, Lübeck
- IV Nutzung von Verpressankern zur Ertüchtigung von historischem Mauerwerk 231
Sebastian Ortlepp, Dresden
- V Einsatz von Glasfaserbewehrung in historischem Mauerwerk – dargestellt am Beispiel des Wiederaufbaus des erdbebengeschädigten Sistani Hauses in Arg-e-Bam (Iran) 269
Jörg Braun, Dresden und Toralf Burkert, Weimar

C Bemessung

- I Einführung des Eurocode 6, DIN EN 1996-3 Vereinfachte Berechnungsmethoden – Algorithmen, Erläuterungen und Anwendungsbeispiele 325
Wolfram Jäger und Carola Hauschild, Dresden
- II Einführung des Eurocode 6, Nachweis von Wänden mit teilweise aufliegender Deckenplatte nach DIN EN 1996-1-1: Algorithmen, Erläuterungen und Anwendungsbeispiele 353
Wolfram Jäger, Stephan Reichel, Tammam Bakeer, Dresden
- III Ingenieurmodell zur Tragfähigkeit ohne Verbund vorgespannter Kalksandstein-Mauerwerkswände 373
Odontsetseg Dashkhuu, Hemsbach und Erhard Gunkler, Detmold

D Bauphysik · Brandschutz

- I Auswirkungen punktförmiger Wärmebrücken bei Verblendmauerwerk – Einflüsse, rechnerische Quantifizierung und Optimierungspotenzial 405
Frank U. Vogdt, Jan Bredemeyer und Hendrik Keßlau, Berlin
- II Einsatz von Vakuumisulationspaneelen (VIP) bei zweischaligem Verblendmauerwerk 433
Robert Masou, Dresden und Martin Forstner, Neumarkt

E Normen · Zulassungen · Regelwerk

- I Geltende Technische Regeln für den Mauerwerksbau (Deutsche, Europäische und Internationale Normen) (Stand 30.9.2013) 477
Peter Rauh und Immo Feine, Berlin
- II Verzeichnis der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für den Mauerwerksbau (Stand 31.8.2013) 493
Wolfram Jäger, Dresden und Roland Hirsch, Berlin

F Forschung

- I Übersicht über abgeschlossene und laufende Forschungsvorhaben im Mauerwerksbau 621
Anke Eis und Sebastian Ortlepp, Dresden

Stichwortverzeichnis 641

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	III
Autoren	XIX
Beiträge früherer Jahrgänge	XXI
A Baustoffe · Bauprodukte	
I Eigenschaften von Mauersteinen, Mauermörtel, Mauerwerk und Putzen	3
Wolfgang Brameshuber, Aachen	
1 Allgemeines	3
2 Eigenschaftskennwerte von Mauersteinen ..	3
2.1 Festigkeitseigenschaften	3
2.1.1 Längsdruckfestigkeit	3
2.1.2 Zugfestigkeiten	4
2.2 Verformungseigenschaften	6
2.2.1 Elastizitätsmodul senkrecht zur Lagerfuge unter Druckbeanspruchung	6
2.2.2 Elastizitätsmodul in Steinlängsrichtung unter Zugbeanspruchung	6
2.2.3 Spannungs-Dehnungs-Linie	7
2.2.4 Querdehnungsmodul	7
2.3 Dehnung aus Schwinden und Quellen, thermische Ausdehnungskoeffizienten	7
3 Eigenschaftswerte von Mauermörteln	7
3.1 Allgemeines	7
3.2 Festigkeitseigenschaften	7
3.2.1 Zugfestigkeit β_Z	7
3.2.2 Scherfestigkeit β_S	7
3.3 Verformungseigenschaften	9
3.3.1 E-Modul (Längsdehnungsmodul) E	9
3.3.2 Querdehnungsmodul E_q	9
3.3.3 Feuchtedehnung (Schwinden ϵ_s)	9
3.3.4 Kriechen (Kriechzahl ϕ)	9
4 Verbundeigenschaften zwischen Stein und Mörtel	9
4.1 Allgemeines	9
4.2 Haftscherfestigkeit	9
4.3 Haftzugfestigkeit	9
5 Eigenschaftswerte von Mauerwerk	13
5.1 Druckfestigkeit senkrecht zu den Lagerfugen	13
5.2 Druckfestigkeit parallel zu den Lagerfugen	20
5.3 Zugfestigkeit und -tragfähigkeit	20
5.4 Biegezugfestigkeit und -tragfähigkeit	20
5.5 Verformungseigenschaften	24
5.5.1 Allgemeines	24
5.5.2 Druckbeanspruchung senkrecht zu den Lagerfugen	24
5.5.2.1 Druck-E-Modul E_D	24
5.5.2.2 Querdehnungszahl μ_D und Dehnung bei Höchstspannung $\epsilon_{u,D}$	26
5.5.2.3 Völligkeitsgrad α_0	26
5.5.3 Druckbeanspruchung parallel zu den Lagerfugen	26
5.5.3.1 Druck-E-Modul $E_{D,p}$	26
5.5.3.2 Dehnung bei Höchstspannung $\epsilon_{u,D,p}$	26
5.5.4 Zug-E-Modul E_Z (Zugbeanspruchung parallel zu den Lagerfugen)	27
5.5.5 Feuchtedehnung ϵ_f , (Schwinden ϵ_s , irreversibles Quellen ϵ_q), Kriechen (Kriechzahl ϕ), Wärmedehnungskoeffizient α_T	27
6 Feuchtigkeitstechnische Kennwerte von Mauersteinen, Mauermörtel und Mauerwerk	28
6.1 Kapillare Wasseraufnahme	28
6.2 Wasserdampfdurchlässigkeit	29
7 Natursteine, Natursteinmauerwerk	29
8 Eigenschaftswerte von Putzen (Außenputz)	29
8.1 Allgemeines	29
8.2 Festigkeitseigenschaften	31
8.2.1 Druckfestigkeit β_D	31
8.2.1 Zugfestigkeit β_Z	31
8.3 Verformungseigenschaften	31
8.3.1 Zug-E-Modul E_Z , dynamischer E-Modul $\text{dyn } E$	31
8.3.2 Zugbruchdehnung $\epsilon_{Z,u}$	31
8.3.3 Zugrelaxation ψ	31
8.3.4 Schwinden ϵ_s , Quellen ϵ_q	31
8.4 Eigenschaftszusammenhänge	31
9 Literatur	32

II	Neuentwicklungen beim Mauerwerksbau mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ)	35			
	Wolfram Jäger, Dresden und Roland Hirsch, Berlin				
	Vorbemerkungen	35	7	Trockenmauerwerk	58
1	Mauerwerk mit Normal- oder Leichtmörtel	37	8	Mauerwerk mit PU-Kleber	58
2	Mauerwerk mit Dünnbettmörtel	38	9	Bewehrtes Mauerwerk	62
3	Mauerwerk mit Mittelbettmörtel	58	10	Ergänzungsbauteile	65
4	Vorgefertigte Wandtafeln	58	11	Literatur	66
5	Geschosshohe Wandtafeln	58	12	Bildnachweis	67
6	Schalungsstein-Bauarten	58			
III	Glasfaserbewehrung im Mauerwerksbau	69			
	Ben Jütte und Werner Venter, Baden-Baden				
1	Einleitung	69	5.3	Last- und Schnittgrößenermittlung	80
2	Einführung in die Glasfaserbewehrung	69	5.4	Biegebemessung	81
2.1	Faserverbundwerkstoffe	69	5.5	Querkraftbemessung	81
2.2	Glasfaserbewehrung	70	5.5.1	Bauteile ohne Querkraftbewehrung	81
2.3	Entwicklung der Glasfaserbewehrung – historischer Überblick	71	5.5.2	Bauteile mit Querkraftbewehrung	81
2.4	Normen und Richtlinien für Glasfaser- bewehrung	71	5.6	Verbund	82
3	Begriffe und Formelzeichen	71	5.7	Konstruktionsregeln	82
4	Materialeigenschaften Glasfaserbewehrung	72	5.7.1	Betondeckung	82
4.1	Allgemeines	72	5.7.2	Verankerungslängen	82
4.2	Dauerhaftigkeit / Bedeutung der plan- mäßigen Einsatzdauer	72	5.7.3	Übergreifungsstöße	82
4.3	E-Modul und Zugfestigkeit	73	5.8	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG)	82
4.3.1	E-Modul	73	5.8.1	Begrenzung der Rissbreiten	82
4.3.2	Kurzzeitzugfestigkeit	73	5.8.2	Durchbiegung	83
4.3.3	Langzeitzugfestigkeit	74	5.9	Heißbemessung	83
4.3.3.1	Restfestigkeitskonzept	74	5.10	Nachträglicher Einbau von Bewehrungs- stäben	83
4.3.3.2	Konzept der Versagensstandzeitlinie	74	6	Bemessung Glasfaserbewehrung im Mauerwerksbau nach EC 6	83
4.4	Verbundverhalten	75	6.1	Bewehrung (EC 6 Abs. 3.4)	84
4.4.1	Kurzzeitverbundverhalten	75	6.2	Verbundfestigkeit der Bewehrung (Abs. 3.6.4)	84
4.4.2	Langzeitverbundverhalten	76	6.3	Dauerhaftigkeit von Mauerwerk (Abs. 4.3)	84
4.5	Thermisches Verhalten	77	6.4	Vertikal beanspruchte Mauerwerkswände (Abs. 5.5.1)	84
4.5.1	Brandverhalten	77	6.5	Maueranker (Abs. 6.5)	84
4.5.2	Niedrigtemperaturen	78	6.6	Grenzzustand der Tragfähigkeit (EC 6 Kapitel 6)	85
4.5.3	Hochtemperaturen	78	6.6.1	Bewehrte Mauerwerksbauteile unter Biegung, Biegung und Längskraft oder Längskraft (Abs. 6.6)	85
4.5.4	Wärmeausdehnungskoeffizient	78	6.6.2	Mauerwerksbauteile unter Schubbelastung (Abs. 6.7)	85
4.6	Elektromagnetische Eigenschaften	78	6.7	Bewehrte Mauerwerksbauteile (Abs. 7.3)	85
4.7	Dynamisches Verhalten	78	6.8	Ausbildung der Bewehrung (Abs. 8.2)	85
4.8	Bügel	78	6.9	Ringanker (Abs. 8.5.1.4)	85
4.8.1	Allgemeines	78	6.10	Zweischalige Wände (Abs. 8.5.2.2)	85
4.8.2	Formen, Biegerollendurchmesser	78	7	Referenzprojekte im Mauerwerksbau	86
4.8.3	E-Modul	79	7.1	Münster Salem	86
4.8.4	Zugfestigkeit	79	7.2	Stephansdom, Wien	86
4.8.5	Verbundeigenschaften der Bügel	79			
5	Bemessung glasfaserbewehrter Beton- bauteile nach EC 2	79			
5.1	Anwendungsbereiche	79			
5.2	Allgemeines	80			

7.3	Sagrada Familia	86	8	Ausblick	87
7.4	Old Palace Katar	86			
7.5	Bam	86	9	Literatur	88
7.6	Baubiologie	87			
IV	Befestigungsmittel für den Mauerwerksbau				89
	Michael Müller und Eckehard Scheller, Berlin aktualisiert durch Andreas Kummerow, Berlin				
1	Einleitung – Allgemeines	89	3.2.3	Verankerungsgrund	107
1.1	Einleitung	89	3.2.4	Versuche	108
1.2	Allgemeines	89	3.2.5	Nutzungskategorien	108
1.3	Dübelarten mit Bohrmontage	90	3.2.6	Baustellenversuche	109
2	Kunststoffdübel mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung	91	3.2.7	Europäische technische Zulassungen (ETA) nach ETAG 014	109
2.1	Kunststoffdübel zur Befestigung von Fassadenbekleidungen	91	3.2.7.1	Allgemeines	109
2.1.1	Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen ..	91	3.2.7.2	fischer Nageldübel PN 8 und CN 8 – Dämmstoffdübel der neusten Generation ..	110
2.1.2	Beschreibung und Wirkungsweise	91	3.2.7.3	„Tellerdübel“ mit versenkter Montage ...	110
2.1.3	Anwendungsbereich	91	3.2.7.4	Hilti-WDVS-Schraubdübel D 8-FV	111
2.1.4	Zulässige Beanspruchungen	92	3.2.7.5	KEW-Thermoschlagdübel KEW TSD-V ..	112
2.1.5	Montage und sonstige Hinweise	96	3.2.7.6	Sonderlösung: POROTON WDF mit fischer TERMOZ 8 U	112
2.2	Kunststoffdübel zur Befestigung von Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS) ..	98	3.2.8	Anwendungszulassungen, Technical Reports und Änderung der ETAG 014 ...	114
2.3	Kunststoffdübel zur Befestigung von Putzträgerplatten und Wärmedämm- Verbundelementen	99	4	Injektionsdübel mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung	114
3	Kunststoffdübel mit europäischer technischer Zulassung	100	4.1	Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen	114
3.1	ETAG 020 – Leitlinie für Kunststoff- dübel für Verankerungen in Beton und Mauerwerk	100	4.2	Beschreibung der Komponenten und Wirkungsweise	114
3.1.1	Allgemeines	100	4.3	Anwendungsbereich	115
3.1.2	Geltungsbereich	100	4.4	Zulässige Beanspruchungen	115
3.1.3	Abmessungen und Werkstoffe	100	4.5	Montage und sonstige Hinweise	116
3.1.4	Nutzungskategorien	100	4.6	Beispiel für Sonderlösung: fischer Thermax	117
3.1.5	Zulassungsversuche allgemein	101	5	Injektionsdübel mit europäischer technischer Zulassung	118
3.1.6	Zulassungsversuche im Mauerwerk	101	5.1	ETAG 029 – Leitlinie für Injektionsdübel zur Verankerung im Mauerwerk	118
3.1.7	Anhänge A, B und C	102	5.2	Geltungsbereich	118
3.1.8	Europäische technische Zulassungen (ETA) nach ETAG 020	102	5.3	Wirkungsweise und Abmessungen	118
3.1.8.1	Allgemeines	102	5.4	Nutzungskategorien	118
3.1.8.2	Verwendungszweck	102	5.5	Charakteristische Tragfähigkeitswerte ...	119
3.1.8.3	Merkmale des Produkts und CE-Kenn- zeichnung	103	5.6	Anhänge A, B und C	119
3.1.8.4	Bemessung – Allgemeines	103	6	Weitere Dübel mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung	119
3.1.8.5	Besondere Bedingungen bei der Bemessung für Mauerwerk und Poren- beton	103	6.1	Porenbetondübel	119
3.1.8.6	Einbau des Dübels	104	6.1.1	Beschreibung und Wirkungsweise	119
3.1.8.7	Vergleich Kunststoffdübel mit abZ und Kunststoffdübel mit ETA nach ETAG 020	105	6.1.2	Anwendungsbereich	121
3.2	ETAG 014 – Leitlinie für Kunststoff- dübel zur Befestigung von Wärmedämm- Verbundsystemen	107	6.1.3	Zulässige Beanspruchungen	121
3.2.1	Allgemeines	107	6.1.4	Montage und sonstige Hinweise	123
3.2.2	Kunststoffdübel für WDVS	107	6.2	Dübel zur nachträglichen Verankerung von Vormauerschalen	123
			6.2.1	Allgemeines	123
			6.2.2	Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen	124

6.2.3	EJOT-Verblend-Sanier-Dübel VSD (Z-21.2-1652)	124	7.3.1	Allgemeines	129
6.2.4	fischer-Verblendsanieranker VBS 8 (Z-21.3-1737)	125	7.3.2	Einzelkonsolen	129
6.2.5	Hilti-Mauerwerksvernadelung HIT-MV (Z-21.3-1888)	125	7.3.3	Winkelkonsolen	131
7	Anker, Konsolen und Schienen	125	7.3.4	Einmörtelkonsolen	131
7.1	Allgemeines	125	7.3.5	Konsolwinkel	131
7.2	Anker	126	7.3.6	Auflagerwinkel	132
7.2.1	Allgemeines	126	7.4	Schienen	132
7.2.2	Maueranschlussanker	127	7.4.1	Allgemeines	132
7.2.3	Wandanschlusswinkel	128	7.4.2	Maueranschlussschienen	132
7.2.4	Mauerverbinder	128	7.4.3	Ankerschienen	132
7.2.5	Anker zur Verbindung der Mauerwerks- schalen von zweischaligen Außenwänden	128	7.4.4	Ankerschienen mit Verzahnung	134
7.2.6	Attika-Verblendanker	128	7.4.5	Ankerschienen für Fertigteilstürze	134
7.3	Konsolen	129	7.5	Ergänzungsbauteile für Mauerwerk nach DIN EN 845	135
			8	Zusammenfassung – Ausblick	135
			9	Literatur	135

B Konstruktion · Bauausführung · Bauwerkserhaltung

I	Befestigung von Fenstern in Mauerwerk	139			
	Jürgen Künzlen, Künzelsau und Eckehard Scheller, Berlin				
1	Einführung	139	5.1	Widerstandsfähigkeit bei Windlast	154
2	Definition „Fenster“	140	5.1.1	Auswirkung der Windbelastungen bei einflügeligen Elementen	154
3	Regelwerke	141	5.1.2	Auswirkung der Windbelastungen bei einem zweiflügeligen Element	157
3.1	Anforderungen an die Dübeltechnik	141	5.2	Bedienkräfte nach DIN EN 13115	160
3.2	Allgemeine Technische Vertrags- bedingungen für Bauleistungen	141	5.3	Mechanische Festigkeit nach DIN EN 13115	160
3.3	Normenreihe DIN 18008 „Glas im Bauwesen“	141	5.4	Dauerfunktion nach DIN EN 12400	162
3.3.1	Allgemeines	141	5.4.1	Prüfung von Fenstern und Fenstertüren ..	163
3.3.2	DIN 18008, Teil 1 und Teil 2: Linien- förmig gelagerte Verglasungen	141	5.4.2	Prüfung von Haustüren	163
3.3.3	TRAV wird zu DIN 18008, Teil 4 – Regelungen für absturzsichernde Verglasungen	142	5.5	Differenzklimaverhalten nach DIN EN 13420	163
3.3.3.1	Allgemeines	142	5.6	Stoßfestigkeit nach DIN EN 13049	164
3.3.3.2	Kategorien	142	6	Absturzsichernde Verglasungen	165
3.3.3.3	Statische Einwirkungen	142	7	Abschätzung der Einwirkungen auf die Fensterbefestiger	166
3.3.3.4	Stoßartige Einwirkungen	143	8	Montage in der Dämmebene	169
3.4	Produktnorm DIN EN 14351-1:2010-08 ..	143	9	Montage von Fenstern mit Anforderungen an die Einbruchhemmung	171
3.5	DIN 18055: Anforderungen und Empfeh- lungen an Fenster und Außentüren	144	9.1	Allgemeines	171
3.5.1	Allgemeines	144	9.2	Prüfungen und Verankerungsgründe	171
3.5.2	Merkmale, die ein Fenster erfüllen muss ..	144	9.3	Durchgeführte Versuche	172
3.5.2.1	Widerstandsfähigkeit bei Windlast	144	9.3.1	Versuche nach DIN V ENV 1627 bis 1630:1999-04	172
3.5.2.2	Schlagregendichtheit und Luft- durchlässigkeit	149	9.3.1.1	Widerstandsklasse WK 2	172
3.5.2.3	Tragfähigkeit von Sicherheits- vorrichtungen	149	9.3.1.2	Widerstandsklasse WK 3	174
3.6	ift-Richtlinie MO-02/1	149	9.3.1.3	Vergleich Versuche in den Klassen WK 2 und WK 3	176
4	Einwirkungen auf ein Fenster	150	9.3.2	Versuche nach DIN EN 1627 bis 1630:2011-09	177
5	Prüfung von Befestigern für Fenster am Gesamtsystem	150	9.3.2.1	Widerstandsklasse RC 2	177

9.3.2.2	Montage in der Dämmebene	179	10	Fazit	181
9.4	Montagebescheinigung nach erfolgtem Einbau einbruchhemmender Elemente . . .	180	11	Literatur	181
II	Verankerung von Fassadengerüsten				183
	Jürgen Künzlen, Künzelsau und Christoph-Ludwig Bügler, Berlin				
1	Lasten und Mechanismen bei einem Fassadengerüst	183	2.2.2	DIN 4426: Einrichtungen zur Instand- haltung baulicher Anlagen	188
1.1	Grundsätzliches	183	2.2.3	Zulassungen für Fassadengerüste	189
1.2	Konstruktive Besonderheiten des Gerüstbaus	184	2.2.4	Handlungsanleitung für den Umgang mit Arbeits- und Schutzgerüsten der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft .	189
1.3	Baurechtliche Konsequenzen – Regel- ausführungen	184	2.2.5	Fachinformation Gerüste für Arbeiten an Fassaden mit Wärmedämm-Verbund- systemen (WDVS)	190
1.4	Ankerraster und Ausbildung der Gerüsthalter	185	2.3	Temporäre bzw. dauerhafte Verankerung	191
1.5	Horizontale Beanspruchungen der Fassadengerüste und Ankerkräfte	186	2.4	Einleitung von Druckkräften	192
1.6	Verankerung von Gerüsten an Fassaden mit nicht tragfähigen Aufbauten	186	2.5	Montage und Auswahl von Dübeln	192
2	Verankerung im Untergrund im Detail . . .	187	2.5.1	Bohren	192
2.1	Allgemeines	187	2.5.2	Kunststoffdübel	193
2.2	Regelungen	188	2.5.3	Injektionsdübel	195
2.2.1	DIN EN 12811-1: Temporäre Konstruk- tionen für Bauwerke, Teil 1: Arbeits- gerüste	188	3	Fazit	196
			4	Literatur	196
III	Instandsetzung und Ertüchtigung von Mauerwerk Teil 5: Vernadeln, Verankern (Berechnung)	199			
	Birger Gigla, Lübeck				
1	Einführung	199	4.3.4	Umgebendes Steinmaterial	214
2	Begriffe	199	4.3.5	Vergleich zwischen Verpressankern und Stahlbetonbewehrung	218
2.1	Verpressanker im Mauerwerk	199	4.3.6	Auflasten	219
2.2	Verbundfestigkeit und Ankerwiderstand .	200	4.4	Bemessungswerte der Verbundfestigkeit .	219
2.3	Denkmalschutz und Denkmal- verträglichkeit	201	5	Entwurf und Berechnung	220
3	Konstruktion von Verpressankern im Mauerwerk	202	5.1	Voruntersuchungen	220
3.1	Anforderungen	202	5.2	Voraussetzungen für die Anwendung von Verpressankern	221
3.2	Bohrungen	202	5.3	Wahl der Ankergeometrie und des Ankersystems	221
3.3	Ankerstäbe	202	5.4	Erforderliche Nachweise	221
3.4	Korrosionsschutz	204	5.5	Bemessungsbeispiele	222
3.5	Einbau der Ankerstäbe	204	5.5.1	Ankerzugkraft in monolithischem Postaer Sandstein	222
3.6	Verpresskörper	205	5.5.2	Instandsetzung von Bruchsteinmauer- werk aus Granit	223
3.7	Verpressen	205	5.5.3	Abdeckung von Schub im Ziegelmauer- werk	223
3.8	Weiterentwicklungen und Bauprodukte für Verpressanker	206	6	Qualitätssicherung	224
4	Bemessung von Verpressankern	207	7	Zusammenfassung	229
4.1	Stand der Wissenschaft	207	8	Literatur	230
4.2	Versagensarten	210			
4.3	Maßgebende Einflussfaktoren	211			
4.3.1	Ankerstab	211			
4.3.2	Eigenschaften der Verpresssuspension . .	212			
4.3.3	Druckfestigkeit des Verpresskörpers . . .	214			

IV	Nutzung von Verpressankern zur Ertüchtigung von historischem Mauerwerk	231		
	Sebastian Ortlepp, Dresden			
1	Einleitung und Problemstellung	231	2.6	Nachweis ertüchtigter Mauerwerksbauteile mit Verpressankern unter Querkraftbeanspruchung in Scheibenebene
1.1	Einsatz von Nadeln und Verpressankern zur Ertüchtigung von historischen Mauerwerksbauten	231		252
1.1.1	Mauerwerksverbände	232	3	Numerische Nachbildung von Schubwänden mit vertikalen Verpressankern ..
1.1.2	Mauerwerksgefüge	232		252
1.1.3	Versagensformen von historischem Mauerwerk unter Erdbebenbeanspruchung	235	3.1	Allgemeines
1.2	Seismische Ertüchtigungsstrategien bei historischen Bauten	237	3.2	Untersuchte Modelle
1.3	Sanierung von historischem Mauerwerk durch Injektion	238	3.3	Mauerwerk ohne vertikale Verpressanker ..
1.4	Verbundwirkung von Verpressankern im Natursteinmauerwerk	240	3.3.1	Mauerwerk mit einem vertikalen Verpressanker
2	Theoretische Untersuchung zu Verpressankern im Mauerwerk	241	3.4	Auswertung der Ergebnisse
2.1	Allgemeines	241	4	Bemessung von bewehrtem Mauerwerk ..
2.2	Verpressanker im Mauerwerk	241	5	Mauerwerk mit vertikalen Verpressankern im Experiment
2.3	Kraftübertragung im Verpressanker	242		257
2.3.1	Krafteinleitung in den Ankerstab	242	5.1	Versuche zum Verhalten der Verpressanker
2.3.2	Krafteinleitung in den Verpresskörper ..	242		257
2.3.3	Versagensarten des Verpressankers	242	5.2	Auszugsversuche
2.4	Analytische Beschreibung der Verbundfestigkeit des Verpressankers im Mauerwerk	244	5.2.1	Aufbau
2.4.1	Allgemeines	244	5.2.2	Versuchskörper
2.4.2	Verbundverhalten zwischen Stahlanker und Injektionsmörtel	244	5.2.3	Versuchsprogramm
2.4.3	Verbundverhalten zwischen Injektionsmörtel und Naturstein	246	5.2.4	Statische Ausziehversuche zur Bestimmung der maximalen Ausziehkraft
2.5	Schubfestigkeit von Mauerwerk mit vertikalen Verpressankern	248	5.2.4.1	Statische Ausziehversuche $D_B = 58$ mm, $\varnothing 16$ mm
2.5.1	Bruchkriterium I: Klaffen der Lagerfuge ..	250	5.2.4.2	Statische Ausziehversuche $D_B = 82$ mm, $\varnothing 28$ mm
2.5.2	Bruchkriterium II: Reibungsversagen ..	250		261
2.5.3	Bruchkriterium III: Steinzugversagen ..	251	5.2.5	Einfluss der Bohrloch- und Stabdurchmesser
2.5.4	Bruchkriterium IV: Schub-Druckversagen	251		262
V	Einsatz von Glasfaserbewehrung in historischem Mauerwerk – dargestellt am Beispiel des Wiederaufbaus des erdbebengeschädigten Sistani Hauses in Arg-e-Bam (Iran)	269	5.3	Versuche zum Verbundverhalten
	Jörg Braun, Dresden und Toralf Burkert, Weimar		5.3.1	Versuchskörper mit großer Verbundlänge
1	Einführung	269		264
2	Sanierung von erdbebengeschädigtem Lehmmauerwerk	271	6	Zusammenfassung und Ausblick
2.1	Wissenschaftliche und praxisorientierte Voruntersuchungen	271		265
2.1.1	Stand der Forschung	272	7	Literatur
2.1.2	Bohrtechnologien für Ankerlöcher im Lehmmauerwerk	273		266
2.1.3	Verankerung von Rissen im Lehmmauerwerk	274	2.1.3.2	Materialien zum Verpressen von Ankern im Lehmmauerwerk
2.1.3.1	Zuganker für die Rissvernadelung	274		275
			2.1.3.3	Zugversuche an Ankern
				281
			2.1.4	Verpressen von Rissen im Lehmmauerwerk
				284
			2.1.4.1	Materialien zum Verpressen von Rissen im Lehmmauerwerk
				285
			2.1.4.2	Technologien zum Reinigen und zum Ausfüllen von Rissen
				287
			2.1.5	Ermittlung der Schubfestigkeit von ungeschädigten und sanierten Wänden aus Lehmmauerwerk
				289

2.1.6	Schlussfolgerungen aus den umfangreichen Voruntersuchungen	291	2.2.4.2	Zuganker der Gurtbögen	303
2.1.7	Entwicklung eines optimierten Lehmsteins	293	2.2.4.3	Beispiel für die Bemessung des bewehrten Lehmmauerwerks im Bereich des Ringbalkens	305
2.2	Statische Berechnungen und numerische Simulationen	294	2.3	Ausführungen vor Ort am Sistani Haus	308
2.2.1	Kollaps-Analyse	294	2.3.1	Ertüchtigung der noch verbliebenen Ruineteile	308
2.2.2	Statische Berechnungen	297	2.3.1.1	Stabilisierung der noch verbliebenen Mauerwerksreste	308
2.2.3	Grundlagen für eine ingenieurmäßige Bemessung	298	2.3.1.2	Einbau der Vertikalanker	315
2.2.3.1	Maximale Verankerungskräfte und -längen	299	2.3.2	Wiederaufbau der fehlenden Gebäudestruktur	316
2.2.4	Beispiele für die ingenieurmäßige Bemessung	302	3	Zusammenfassung und Ausblick	319
2.2.4.1	Zugverankerung und Schubverdübelung mit dem Boden	302	4	Literatur	320

C Bemessung

I	Einführung des Eurocode 6, DIN EN 1996-3 Vereinfachte Berechnungsmethoden – Algorithmen, Erläuterungen und Anwendungsbeispiele	325			
	Wolfram Jäger und Carola Hauschild, Dresden				
1	Vorbemerkungen	325	6.2	Normalkraftbeanspruchte zweischalige Außenwand mit voll aufliegender Deckenplatte	338
2	Anwendungsbedingungen	325	6.2.1	Geometrie	338
2.1	Vereinfachtes Verfahren	325	6.2.2	Überprüfung der Anwendbarkeit des vereinfachten Verfahrens	338
2.2	Stark vereinfachtes Verfahren nach Anhang A	325	6.2.3	Knicklänge	338
3	Nachweisformat und Einwirkungskombinationen	327	6.2.4	Abminderungsfaktoren	339
4	Nachweis nach DIN EN 1996-3 bei zentrischer und exzentrischer Normalkraftbeanspruchung	327	6.2.5	Nachweise	339
4.1	Charakteristische Druckfestigkeiten von Einsteinmauerwerk nach DIN EN 1996-3/NA, Anhang NA.D	328	6.3	Haustrennwände	339
4.2	Bestimmung der Knicklänge	330	6.3.1	Geometrie	339
4.3	Nachweis überwiegend vertikal beanspruchter Wände	331	6.3.2	Belastung	339
4.4	Teilflächenlasten senkrecht zur Lagerfuge	332	6.3.3	Überprüfung der Anwendbarkeit des vereinfachten Verfahrens	340
4.5	Nachweis von Kellerwänden	333	6.3.4	Knicklänge	340
5	Nachweis vertikal nicht beanspruchter Wände mit gleichmäßig verteilter horizontaler Bemessungslast	335	6.3.5	Abminderungsfaktoren	340
6	Beispiele	336	6.3.6	Nachweise	340
6.1	Normalkraftbeanspruchte Außenwand mit teilweise aufliegender Deckenplatte	336	6.4	Normalkraftbeanspruchte Innenwand	341
6.1.1	Geometrie	336	6.4.1	Geometrie	341
6.1.2	Belastung	336	6.4.2	Überprüfung der Anwendbarkeit des vereinfachten Verfahrens	341
6.1.3	Überprüfung der Anwendbarkeit des vereinfachten Verfahrens	336	6.4.3	Bemessungsschnittgrößen	341
6.1.4	Bemessungsschnittgrößen	337	6.4.4	Knicklänge	341
6.1.5	Knicklänge	337	6.4.5	Abminderungsfaktoren	341
6.1.6	Abminderungsfaktoren	337	6.4.6	Nachweise	341
6.1.7	Nachweise	337	6.5	Kelleraußenwand	342
			6.5.1	Geometrie	342
			6.5.2	Annahmen	342
			6.5.3	Belastung	343
			6.5.4	Nachweis nach DIN EN 1996-3 + NA	343
			6.6	Kelleraußenwand mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast	344
			6.6.1	Geometrie	344
			6.6.2	Annahmen	344
			6.6.3	Belastung	344

6.6.4	Nachweis nach DIN EN 1996-3 + NA ..	345	6.7.4.1	Knicknachweis nach dem vereinfachten Verfahren	348
6.6.5	Nachweis nach DIN EN 1996-1-1 + NA ..	345	6.7.4.2	Knicknachweis nach dem genaueren Verfahren zum Vergleich	349
6.7	Teilflächenbeanspruchung	347	7	Verwendete Bezeichnungen	350
6.7.1	Geometrie	347	8	Literatur	351
6.7.2	Bemessungsschnittgrößen	347			
6.7.3	Nachweis Teilflächenpressung	348			
6.7.4	Weitere Wandnachweise	348			
II	Einführung des Eurocode 6, Nachweis von Wänden mit teilweise aufliegender Deckenplatte nach DIN EN 1996-1-1: Algorithmen, Erläuterungen und Anwendungsbeispiele				353
	Wolfram Jäger, Stephan Reichel, Tammam Bakeer Dresden				
1	Vorbemerkungen	353	5.1.3	Tragwiderstand und Nachweise	366
2	Schnittkraftermittlung	354	5.1.3.1	Wandmitte für LK 2	366
3	Nachweisführung	356	5.1.3.2	Wandfuß für LK 1	367
4	Nachweis nach DIN EN 1996-1-1/NA ..	358	5.2	Wand mit ungleichem Deckenaufleger am Kopf und Fuß	367
4.1	Allgemeines Nachweisformat	358	5.2.1	Geometrie, Baustoffe und Einwirkungen	367
4.2	Schnittkraftermittlung	358	5.2.2	Schnittkräfte	368
4.3	Bestimmung der Knicklänge	362	5.2.2.1	Knicklängen	368
5	Beispiele	363	5.2.2.2	Lastkombinationen	368
5.1	Wand mit gleichem Deckenaufleger am Kopf und Fuß	363	5.2.2.3	Biegemomente	368
5.1.1	Geometrie, Baustoffe und Einwirkungen ..	363	5.2.2.4	Normalkräfte und Ausmitten	370
5.1.2	Schnittkräfte	364	5.2.3	Tragwiderstand und Nachweise	370
5.1.2.1	Knicklänge	364	5.2.3.1	Wandmitte für LK 1	370
5.1.2.2	Lastkombinationen	364	5.2.3.2	Wandfuß für LK 1	371
5.1.2.3	Biegemomente	364	6	Ausblick	371
5.1.2.4	Normalkräfte und Ausmitten	366	7	Literatur	371
III	Ingenieurmodell zur Tragfähigkeit ohne Verbund vorgespannter Kalksandstein-Mauerwerkswände				373
	Odontsetseg Dashkhuu, Hemsbach und Erhard Gunkler, Detmold				
1	Einleitung	373	4.1	Wände mit Beanspruchungen durch Einzellasten – Teilmodul SE	381
2	Ingenieurmodell zur Tragfähigkeit vorgespannter Mauerwerkswände	373	4.2	Biegedruckbeanspruchung vorgespannter Mauerwerkswände – Teilmodul B	383
2.1	Konstruktionsmerkmale für vorgespanntes Mauerwerk	373	4.3	Scheibenschubbeanspruchung vorgespannter Mauerwerkswände – Teilmodul S	386
2.2	Modulare Struktur des Ingenieurmodells ..	373	5	Ergänzende rechnerische Untersuchungen zum Tragverhalten vorgespannter Mauerwerkswände	392
3	Werkstoffsignifikante Ausgangsgrößen des Ingenieurmodells – Teilmodul W ...	375	6	Berechnungsmodelle	398
3.1	Werkstoffverhalten	375	6.1	Normalkraftwiderstand bei Biegedruckbeanspruchung – Modul B	398
3.1.1	Mauersteine	375	6.2	Querkrafttragfähigkeit in Wandebene – Teilmodul S	399
3.1.2	Mauermörtel	376	7	Zusammenfassung	400
3.1.3	Mauerwerk	377	8	Literatur	401
3.1.4	Spannstahl	380			
3.2	Werkstoffgesetze	381			
3.2.1	Einaxial druckbeanspruchtes Mauerwerk ..	381			
3.2.2	Zweiaxial in der Ebene beanspruchtes Mauerwerk	381			
3.2.3	Spannstahl	381			
4	Experimentelle Untersuchungen an Mauerwerkswänden	381			

D Bauphysik · Brandschutz

I	Auswirkungen punktförmiger Wärmebrücken bei Verblendmauerwerk – Einflüsse, rechnerische Quantifizierung und Optimierungspotenzial	405		
	Frank U. Vogdt, Jan Bredemeyer und Hendrik Keßlau, Berlin			
1	Einführung	405	3.2	Ungestörte, ebene Wandflächen
2	Grundlagen	406	3.2.1	Besonderheit 1: Luftschichten
2.1	Wärmetransport	406	3.2.2	Besonderheit 2: Luftschichtanker („Drahtanker“)
2.1.1	Wärmetransportmechanismen	406	3.3	Wärmebrücken (Verblenderkonsolen)
2.1.2	Wärmetransport in Feststoffen	407	3.3.1	Allgemeines
2.1.3	Wärmeübergang und Wärmetransport in Luftschichten	407	3.3.2	Energetische Betrachtung
2.2	Quantifizierung des Wärmetransports	408	3.3.3	Nachweis des Mindestwärmeschutzes
2.2.1	Spezifischer Transmissionswärmegangskoeffizient	408	4	Ansatz für ein Bemessungskonzept für Verblenderkonsolen
2.2.2	Thermischer Leitwert	408	4.1	Vorgehensweise
2.3	Wärmebrücken	409	4.2	Relevante Parameter
2.4	Wärmeschutztechnische Anforderungen	410	5	Wärmeschutztechnische Optimierung von Verblenderkonsolen
2.4.1	Allgemeines	410	5.1	Mögliche Varianten
2.4.2	Anforderungen an Wärmebrücken in energetischer Hinsicht	410	5.2	Bewertung der Varianten
2.4.3	Anforderungen an den Mindestwärmeschutz im Bereich von Wärmebrücken	411	5.2.1	Auswirkung in energetischer Hinsicht
3	Wärmeschutz von zweischaligen Mauerwerkskonstruktionen mit Verblenderschalen	411	5.2.2	Auswirkung auf den Mindestwärmeschutz
3.1	Allgemeines	411	6	Zusammenfassung und Ausblick
			7	Literatur
II	Einsatz von Vakuumisolationspaneelen (VIP) bei zweischaligem Verblendmauerwerk	433		
	Robert Masou, Dresden und Martin Forstner, Neumarkt			
1	Einleitung	433	4.2.1	Wandaufbau: Vorwand-Schalenzwischenraum – Hintermauer
1.1	Zum Projekt	433	4.2.2	Luftschichtanker – Stand der normativen Vorgaben
1.2	Problemstellung	433	4.2.3	Sichtung geeigneter Ankersysteme
1.3	Projektziele	434	4.2.3.1	Zum Luftschichtanker DUO
1.4	Lösungsansatz, Methode	434	4.2.3.2	Zum System Multi-Luftschichtanker Plus
1.5	Berichtsinhalte	434	4.2.3.3	Zum System ClickBrick
2	Vakuumisolationspaneel (VIP)	435	4.3	Ausgewählte Aspekte
2.1	Einleitung	435	4.3.1	Toleranzausgleich
2.2	Wirkprinzip und Leistungsrahmen	435	4.3.2	Tendenzen beim Schalenabstand
2.3	Aufbau und Arten	438	4.4	Zeilenförmige bzw. geschosshohe Befestigung
3	Anwendung	440	4.4.1	Gegenüberstellung der Verankerungsformen
3.1	Neubau – Sanierung	440	4.4.2	Stand der Technik in der Schweiz
3.2	Innendämmung – Außendämmung	441	4.5	Stand der Forschung in Deutschland
3.3	Verarbeitung	441	5	Wärmebrücken bei Luftschichtankern
4	Zweischaliges Mauerwerk	444	5.1	Wärmebrücken
4.1	Konstruktion	444	5.2	Punktförmige Wärmebrücken
4.1.1	Bauweise	444	5.2.1	Näherungsweise Ermittlung nach DIN EN ISO 6946
4.1.2	Begriffe	444	5.2.2	Genauere Ermittlung nach DIN EN ISO 10211
4.1.3	Merkmal	445		
4.1.4	Konstruktive Grundsätze	445		
4.1.5	Stand der Technik	445		
4.1.6	Normative Anforderungen	446		
4.2	Konstruktive Elemente	446		

5.3	Einflussgrößen	454	6.1.1	Festlegungen	458
5.3.1	Schalenabstand und Wärmeleitfähigkeit	454	6.1.2	Varianten	459
5.3.2	Wärmeoeffizient und Wärmeleitfähigkeit	454	6.1.3	Ergebnisse der Variantenuntersuchung ..	460
5.3.3	Gesamtwärmedurchgangskoeffizient und Wärmeleitfähigkeit	455	7	Zusammenfassung	466
6	Analyse spezifischer Wärmebrücken im numerischen Modell	457	7.1	Bauphysikalische Zusammenhänge	466
6.1	Einfluss der Ankeranordnung	458	7.2	Rückschlüsse auf die Konstruktion	467
			7.3	Fazit	470
			8	Literatur	470

E Normen · Zulassungen · Regelwerk

I	Geltende Technische Regeln für den Mauerwerksbau (Deutsche, Europäische und Internationale Normen) (Stand 30.9.2013)	477			
	Peter Rauh und Immo Feine, Berlin				

1	Vorbemerkung	477	2.3	Tragwerksbemessung für den Brandfall ..	478
2	Erläuterungen zur Anwendung des Eurocodes 6: „Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten“ vor der Bekanntmachung als Technische Baubestimmung ..	478	2.4	Endgültige bauaufsichtliche Einführung des Eurocodes 6	479
2.1	Allgemeines	478	2.5	Zur Anwendbarkeit des Eurocode 6 bei der Bemessung von Mauerwerk mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (Übergangsregeln)	479
2.2	Tragwerksbemessung für allgemeine Lastfälle (Kaltbemessung)	478	3	Regelwerk	479

II	Verzeichnis der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für den Mauerwerksbau (Stand 31.8.2013)	493			
	Wolfram Jäger, Dresden und Roland Hirsch, Berlin				

1	Mauerwerk mit Normal- oder Leichtmörtel	494	2.1.3	Planverfüllziegel	544
1.1	Mauersteine üblichen Formates	494	2.1.4	Kalksand-Plansteine	547
1.1.1	Mauerziegel	494	2.1.5	Porenbeton-Plansteine	550
1.1.2	Ziegel mit integrierter Wärmedämmung ..	504	2.1.6	Beton-Plansteine	553
1.1.3	Verfüllziegel	505	2.1.6.1	Planvollsteine und Planvollblöcke	553
1.1.4	Kalksandsteine	506	2.1.6.2	Planhohlblocksteine	561
1.1.5	Betonsteine	507	2.1.6.3	Plansteine aus Leichtbeton mit integrierter Wärmedämmung	566
1.1.5.1	Vollsteine und Vollblöcke	507	2.2	Planelemente und dafür zugelassene Dünnbettmörtel	574
1.1.5.2	Hohlblocksteine	512	2.2.1	Planziegel-Elemente	574
1.1.5.3	Hohlblocksteine mit integrierter Wärmedämmung	513	2.2.2	Kalksand-Planelemente	575
1.1.6	Sonstige Mauersteine	513	2.2.3	Porenbeton-Planelemente	581
1.2	Mauersteine größeren Formates	514	2.2.4	Beton-Planelemente	582
1.2.1	Mauerziegel	514	2.3	Wandbauart aus Planelementen in drittel- oder halbgeschosshoher Ausführung	584
1.2.2	Betonsteine	514	2.4	Weitere Dünnbettmörtel	585
1.3	Mauermörtel	515	3	Mauerwerk mit Mittelbettmörtel	586
1.3.1	Leichtmörtel	515	4	Vorgefertigte Wandtafeln	588
1.3.2	Sonstige Mörtel	515	4.1	Geschosshohe Mauertafeln	588
2	Mauerwerk mit Dünnbettmörtel	515	4.2	drittel- oder halbgeschosshohe Mauertafeln	591
2.1	Plansteine üblichen Formates und dafür zugelassene Dünnbettmörtel	515	4.3	Verguss- und Verbundtafeln	591
2.1.1	Planziegel	515	5	Geschosshohe Wandtafeln	592
2.1.2	Planziegel mit integrierter Wärmedämmung	535			

6	Schalungsstein-Bauarten	592	9.3	Stürze	596
7	Trockenmauerwerk	594	10	Ergänzungsbauteile	599
8	Mauerwerk mit PU-Kleber	595	10.1	Mauerfuß-Dämmelemente	599
9	Bewehrtes Mauerwerk	596	10.2	Anker zur Verbindung der Mauerwerks- schalen von zweischaligen Außenwänden	599
9.1	Bewehrung für bewehrtes Mauerwerk . . .	596	10.3	Sonstige Ergänzungselemente	601
9.2	Hochlochziegel für bewehrtes Mauer- werk	596		Anhang Zulassungsübersicht	602

F Forschung

I Übersicht über abgeschlossene und laufende Forschungsvorhaben im Mauerwerksbau 621
 Anke Eis und Sebastian Ortlepp, Dresden

1	Abgeschlossene Forschungsvorhaben	624	2.2.4	SIM Stoffkreislauf im Mauerwerksbau – Verwertungsoptionen für rezyklierte Gesteinskörnungen aus Mauerwerk in der Steine- und Erden-Industrie (AiF-Nr.: 17251-N)	634
1.1	Übersicht Forschungsprojekte und Forschungsstellen	624	2.2.5	Beschleunigung der Härtereaktionen durch mineralische Kalksandstein-Keime (AiF-Nr.: 16468-N)	635
1.2	Kurzberichte	625	2.2.6	Entwicklung eines Prüfverfahrens für Huminstoffe – Teil 2 (AiF-Nr.: 17339-N)	636
1.2.1	Biegezugfestigkeit von tragendem Ziegel- mauerwerk	625	2.2.7	Optimierung des rheologischen Verhal- tens von Kalk-Sand-Rohmischungen zur Steigerung der Scherbenrohdichte und der Festigkeit von Kalksandsteinen (AiF-Nr.: 17692-N)	636
1.2.2	Begleitung der Umstellung der allge- meinen bauaufsichtlichen Zulassungen von Stürzen auf die Eurocodes (DIBt) . . .	626	2.2.8	Kalksandstein-Recycling-Material für den Deponiebau – Methanox II (AiF-Nr.: 16637-N)	637
1.2.3	Nachhaltigkeit von Wohngebäuden aus Mauerwerk – Teil I: Nachhaltigkeit von Ein- und Zweifamilienhäusern aus Mauerwerk	627	2.2.9	Entwicklung einer Methodik zur ressourcenorientierten Steuerung der Werksprozesse in der Kalksandstein- Industrie (AiF-Nr.: 17544-N) – Numerische Simulation des Produktionsprozesses im Kalksandsteinwerk – Optimierung der Kalksandsteinherstellung	637
1.2.4	Nachhaltigkeitsbewertung von Einfamilienhäusern – Ein Beitrag zur Beurteilung und Optimierung der Nachhaltigkeitsqualität von kleinen Wohngebäuden (Dissertation)	628	2.2.10	Einsatz von natürlichen Schwermineral- sanden zur Steigerung der Rohdichte von Kalksandsteinen für einen hohen bau- lichen Schallschutz (AiF-Nr.: 17798-N) . .	639
1.2.5	SIM Stoffkreislauf im Mauerwerksbau – Nachhaltigkeitsanalyse für das Mauer- werksrecycling	629			
2	Laufende Forschungsvorhaben	632			
2.1	Übersicht Forschungsprojekte und Forschungsstellen	632			
2.2	Kurzberichte	632			
2.2.1	Druckfestigkeit von Mauerwerk	632			
2.2.2	Nachhaltigkeit von Wohngebäuden aus Mauerwerk – Teil II: Nachhaltigkeit von Mehrfamilienhäusern aus Mauerwerk	633			
2.2.3	SIM Stoffkreislauf im Mauerwerksbau – Vegetationssubstrate aus rezyklierten Gesteinskörnungen aus Mauerwerk (AiF-Nr.: 17319-N)	634			

Stichwortverzeichnis 641

Autoren

Neben der Titulatur und der Anschrift sind nachstehend auch die Haupttätigkeit der Autoren und die für ihren Beitrag in diesem Mauerwerk-Kalender besonders relevanten speziellen Tätigkeiten angegeben. Außerdem wird auf den jeweiligen Beitrag des Autors in diesem Mauerwerk-Kalender in Klammern verwiesen (Rubrik und Ordnungsnummer des Beitrages).

Bakeer, Tammam, Dr.-Ing., TU Dresden, Fakultät Architektur, Lehrstuhl für Tragwerksplanung, Zellescher Weg 17, 01069 Dresden.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Mitglied der Forschungsgruppe „Mauerwerk“ am Lehrstuhl für Tragwerksplanung der TU Dresden; Forschungsschwerpunkt: Numerische und Analytische Untersuchung von Mauerwerk (C II).

Brameshuber, Wolfgang, Prof. Dr.-Ing., RWTH Aachen University, Institut für Bauforschung (ibac), Schinkelstraße 3, 52062 Aachen.

Professor für Baustoffkunde, Leiter des Instituts für Bauforschung; Lehre und Forschung: Bindemittel, Beton, Mauerwerk; Mitglied einschlägiger DIN-Normenausschüsse; Mitglied des DIBt-Sachverständigenausschusses „Wandbauelemente“; RILEM-Beauftragter für Deutschland; Redaktionsbeiratsmitglied der Zeitschrift „Mauerwerk“ (A I).

Braun, Jörg, Dr.-Ing., Seel + Hanschke Beratende Ingenieure GmbH, Burgwartstraße 77 a, 01705 Freital. Tragwerksplaner, ehem. Mitarbeiter am Lehrstuhl für Tragwerksplanung der TU Dresden – Lehrtätigkeit, Forschung: Erdbebensicherheit, Sanierung, Witterungsschutz von Lehmmauerwerk, Anwendung von faserverstärktem Kunststoff im Behälterbau (B V).

Bredemeyer, Jan, Dipl.-Ing., Ingenieure für das Bauwesen Prof. Vogdt & Oster Partnergesellschaft, Gardeschützenweg 142, 12203 Berlin (seit 2003). Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Bauphysik und Baukonstruktionen an der Technischen Universität Berlin, Gustav-Meyer-Allee 25, 13355 Berlin (2008 bis 2013). Von der IHK öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Wärme- und Feuchteschutz, Abdichtung (D I).

Bügler, Christoph-Ludwig, Dipl.-Ing., Kolonnenstraße 26, 10829 Berlin-Schöneberg. Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Gerüstbau (B II).

Burkert, Toralf, Dr.-Ing., Jäger Ingenieure GmbH, Büro Weimar, Paul-Schneider-Straße 17, 99423 Weimar. Tragwerksplaner mit Schwerpunkt Sanierung historischer Bauwerke; Fachplaner für vorbeugenden baulichen Brandschutz; Lehrauftrag „Statisch-konstruktive Sanierung historischer Bauwerke“ an der Technischen Universität Dresden; Forschung: Natursteinmauerwerk, Instandsetzung von Mauerwerks- und Holzkonstruktio-

nen; Mitarbeit in der WTA-Arbeitsgruppe 4-3 „Instandsetzung von Mauerwerk“ (B V).

Dashkhuu, Odontsetseg, Dr.-Ing., ehemals Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Fachbereich Bauingenieurwesen, Labor für Baustoffe und Massivbau, Emilienstraße 45, 32756 Detmold (C III).

Eis, Anke, Dipl.-Ing. (FH), Jäger Ingenieure GmbH, Wichernstraße 12, 01445 Radebeul. Redaktionsassistentin Mauerwerk-Kalender und Zeitschrift Mauerwerk (F I).

Feine, Immo, Dipl.-Ing., M. Sc., ehemals DIN Deutsches Institut für Normung, Normenausschuss Bauwesen, Burggrafenstraße 6, Am DIN-Platz, 10787 Berlin.

Bis Mai 2013 Teamkoordinator im Normenausschuss Bauwesen insbesondere für den Fachbereich „Mauerwerksbau“; verantwortlich für alle DIN-Arbeitsausschüsse im Mauerwerksbau und für die Internationalen Mauerwerksausschüsse CEN/TC 250/SC6, CEN/TC 125/WG 1 und ISO/TC 179 (E I).

Forstner, Martin, Dipl.-Ing. (FH) Architekt BYAK, Mussinanstraße 63, 92318 Neumarkt/OPF. Beratend für VARIOTEC GmbH & Co. KG in den Bereichen Konstruktion und Bauphysik, Leiter Architekten und Projektberatung, Planung und Vertrieb Hybrid Building 2050 GmbH, Beratungsgesellschaft für Gebäudekonzepte mbH, Entwicklung und Beratung für QASA Vakuumdämmsysteme (D II).

Gigla, Birger, Prof. Dr.-Ing., Fachhochschule Lübeck, Fachbereich Bauwesen, Direktor des Instituts für Angewandte Bauforschung (IfAB), Mönkhofer Weg 239, 23562 Lübeck.

Lehre: Bauwerkserhaltung und -instandsetzung, Mauerwerksbau und FEM, Statik; Forschung: Planen und Bauen im Bestand, Bauwerkserhaltung, Verpressanker, Verblendmauerwerk; Weitere Tätigkeiten: Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Schallschutz im Hochbau (B III).

Gunkler, Erhard, Prof. Dr.-Ing., Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Fachbereich Bauingenieurwesen, Labor für Baustoffe und Massivbau, Emilienstraße 45, 32756 Detmold.

Lehre: Baustofftechnologie, Stahlbeton- und Spannbetonbau, Mauerwerksbau; Forschungsschwerpunkte: Vorgespanntes Mauerwerk, Bewehrtes Mauerwerk, Biegedrucktragfähigkeit und Schubtragfähigkeit von Mauerwerk; weitere Tätigkeiten: Mitarbeit in deutschen und europäischen Normungs- und Arbeitsausschüssen, u. a. im Spiegelausschuss „Mauerwerksbau“; Mitglied des DIBt-Sachverständigenausschusses „Bewehrter Poren- und Leichtbeton“ (C III).

Hauschild, Carola, Dipl.-Ing., Jäger Ingenieure GmbH, Wichernstraße 12, 01445 Radebeul (C I).

Hirsch, Roland, Dr.-Ing., Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Kolonnenstraße 30 B, 10829 Berlin. Mitarbeiter des Fachgebietes „Mauerwerksbau“ im DIBt; Mitglied der DIN-Arbeitsausschüsse für Mauersteine und Mauer Mörtel und der DIN-Arbeitsausschüsse „Mauerwerk“, Geschäftsführer des DIBt-Sachverständigenausschusses „Wandbauelemente“ (A II, E II).

Jäger, Wolfram, Prof. Dr.-Ing., TU Dresden, Fakultät Architektur, Lehrstuhl für Tragwerksplanung, Zellescher Weg 17, 01069 Dresden.
Lehre: Tragwerksplanung, Analyse historischer Tragwerke, Grundlagen Sanierung/Modernisierung; Forschung: Sanierung historischer Bauwerke, Gebäudeaussteifung, Optimierung der Modellbildung, Erdbeneinwirkung, nichtlineare Berechnungsmethoden, Knicken, Wand-Decken-Knoten; Beratender Ingenieur für Bauwesen und Prüflingenieur für Standsicherheit; Gesellschafter der Jäger Ingenieure GmbH in Radebeul und der Jäger u. Bothe Ingenieure in Chemnitz; Mitarbeit in deutschen und europäischen Normungsgremien; Mitglied des DIBt-Sachverständigenausschusses „Wandbauelemente“, Chefredakteur der Zeitschrift „Mauerwerk“ (Herausgeber, A II, C I, C II, E II).

Jütte, Benjamin, Dipl.-Ing., ehem. Schöck Bauteile GmbH, Vimbucher Straße 2, 76534 Baden-Baden. Bis Dezember 2013 Product Manager ComBAR bei Schöck Bauteile GmbH (A III).

Keßlau, Hendrik, Dipl.-Ing., Technische Universität Berlin, Fachgebiet Bauphysik und Baukonstruktionen, Gustav-Meyer-Allee 25, 13355 Berlin.
Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Bauphysik und Baukonstruktionen der Technischen Universität Berlin. Lehr- und Tätigkeitsschwerpunkte in den Bereichen Grundlagen der Bauphysik, bauphysikalische Optimierung von Hochbaukonstruktionen, numerische Berechnungen und Simulationen (D I).

Küenzlen, Jürgen H. R., Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) M. A., Adolf Würth GmbH & Co. KG, Reinhold-Würth-Straße 12–17, 74653 Künzelsau.
Projektleiter bei der Adolf Würth GmbH & Co. KG in Künzelsau mit den Schwerpunkten Zulassung und Entwicklung von Dübelssystemen/technisches Marketing (B I, B II).

Kummerow, Andreas, Dipl.-Ing., Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Kolonnenstraße 30 B, 10829 Berlin. Leiter Referat I2 – Befestigungs- und Bewehrungstechnik; Treppen (A IV).

Masou, Robert, Dipl.-Ing. Architekt, Technische Universität Dresden, Fakultät Architektur, Lehrstuhl für Tragwerksplanung, Zellescher Weg 17, 01069 Dresden. Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Tragwerksplanung der TU Dresden; Lehre: Nachhaltiges Bauen mit Mauerwerk, Forschungsschwerpunkt: Rezyklierbare Bauweisen, Ziegelfassaden mit Vakuumdämmung (D II).

Müller, Michael, Dipl.-Ing., Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Kolonnenstraße 30 B, 10829 Berlin. Mitarbeiter im Referat I 2 – Befestigungs- und Bewehrungstechnik, Treppen (A IV).

Ortlepp, Sebastian, Dr.-Ing., Technische Universität Dresden, Fakultät Architektur, Lehrstuhl Tragwerksplanung, Zellescher Weg 17, 01069 Dresden.
Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Mitglied der Forschungsgruppe „Mauerwerk“ am Lehrstuhl Tragwerksplanung der TU Dresden; Lehre: Tragwerkslehre, Grundlagen Sanierung und Modernisierung historischer Bauwerke; Forschung: Gebäudeaussteifung (Mauerwerk), Optimierung der Modellbildung (B IV, F I).

Rauh, Peter, Dipl.-Ing., DIN Deutsches Institut für Normung, Normenausschuss Bauwesen, Burggrafensstraße 6, Am DIN-Platz, 10787 Berlin.
Projektmanager im Normenausschuss Bauwesen, insbesondere für den Fachbereich „Mauerwerksbau“; verantwortlich für alle DIN-Arbeitsausschüsse im Mauerwerksbau und für die Internationalen Mauerwerksausschüsse CEN/TC 250/SC6, CEN/TC 125/WG 1 und ISO/TC 179 (E I).

Reichel, Stephan, Dipl.-Ing., TU Dresden, Fakultät Architektur, Lehrstuhl Tragwerksplanung, Zellescher Weg 17, 01069 Dresden.
Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Mitglied der Forschungsgruppe „Mauerwerk“ am Lehrstuhl Tragwerksplanung der TU Dresden; Forschungsschwerpunkt: Analytische und experimentelle Untersuchung von Mauerwerk (C II).

Scheller, Eckehard, Dipl.-Ing. (FH), Adolf Würth GmbH & Co. KG, Niederlassung Berlin Hohenschönhausen, Grenzgrabenstraße 4, 13053 Berlin.
Projektleiter Technisches Marketing Befestigungstechnik (A IV, B I).

Venter, Werner, Dipl.-Ing., Schöck Bauteile GmbH, Vimbucher Straße 2, 76534 Baden-Baden.
Leiter Strategische Projekte bei Schöck Bauteile GmbH. Lehrbeauftragter an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg, Fachbereich Bauingenieurwesen (A III).

Vogdt, Frank Ulrich, Univ.-Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Berlin, Fachgebiet Bauphysik und Baukonstruktionen, Gustav-Meyer-Allee 25, 13355 Berlin/Ingenieure für das Bauwesen Prof. Vogdt & Oster Partnergesellschaft, Gardeschützenweg 142, 12203 Berlin. Mitglied in Sachverständigenausschüssen des DIBt sowie in mehreren nationalen und internationalen Gremien. Tätigkeits- und Forschungsschwerpunkte im Bereich Nachhaltigkeit, Energieeffizienz und Dauerhaftigkeit von Hochbaukonstruktionen (D I).

Beiträge früherer Jahrgänge

Die Beiträge sind den Rubriken A bis H zugeordnet und innerhalb der jeweiligen Rubrik in der Reihenfolge ihres Erscheinens im Mauerwerk-Kalender aufgelistet. Es sind nur solche Beiträge aufgeführt, die in diesem Jahrgang nicht enthalten sind. Die Beiträge werden nur in ihrer jeweils letzten Fassung angegeben, es sei denn, dass unter gleichem Titel vom gleichen Autor auch andere Inhalte behandelt werden.

Abgedruckt werden hier die Beiträge der letzten zehn Mauerwerk-Kalender 2004–2013. Eine komplette Online-Recherche zum Mauerwerk-Kalender ab Jahrgang 1976 steht im Internet zur Verfügung unter www.ernst-und-sohn.de/kalenderrecherche. Hier kann nach Autor, Stichwort oder Beitrag gesucht werden, außerdem ist eine Suche nach kombinierten Begriffen möglich.

A Baustoffe · Bauprodukte

Arten, Klassifizierung, technische Eigenschaften und Kennwerte von Naturstein (Siedel); 2004, S. 5

Festigkeitseigenschaften von Mauerwerk, Teil 2: Biegezugfestigkeit (Schmidt, Schubert); 2004, S. 31

Festigkeitseigenschaften von Mauerwerk, Teil 3: Schubfestigkeit von Mauerwerksscheiben (Graubner, Kranzler, Schubert, Simon); 2005, S. 7

Zum Einfluss der Steinformate auf die Mauerwerkdruckfestigkeit – Formfaktoren für Mauersteine (Beer, Schubert); 2005, S. 89

Mauermörtel (Riechers); 2005, S. 149

Mauerwerksprodukte mit CE-Zeichen (Schubert, Irmschler); 2006, S. 5

Mörtel mit CE-Zeichen (Riechers); 2006, S. 17

Ergänzungsbauteile mit CE-Zeichen (Reeh, Schlundt); 2006, S. 25

Festigkeitseigenschaften von Mauerwerk, Teil 4: Scherfestigkeit (Brameshuber, Graubohm, Schmidt); 2006, S. 193

Prüfverfahren zur Bestimmung der Festigkeitseigenschaften von Mauerwerk (Brameshuber, Schmidt, Graubohm, Beer); 2008, S. 165

Wärmedämmstoffe und Wärmedämmsysteme mit Zulassung – Aktuelle Übersicht (Fechner); 2008, S. 193

Übersicht Injektionsmörtel (Kratzsch); 2008, S. 251

Injektionsschaummörtel (Mielke, Stark); 2008, S. 269

Festigkeitseigenschaften von Mauerwerk, Teil 5: Druckfestigkeit – Regelungen nach DIN 1053 (Brameshuber, Graubohm); 2010, S. 27

Europäische Produktnormen im Mauerwerksbau und deren Umsetzung mit dem deutschen Bauordnungsrecht (González); 2010, S. 45

Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit von Mauerwerksbaustoffen (Peters, Bossenmayer); 2011, S. 35

Lehmsteine und Lehmörtel – Nachhaltige Bauprodukte auf dem Weg zur Stoffnorm (Ziegert, Dierks, Müller); 2011, S. 57

Neuentwicklungen beim Mauerwerksbau mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (Jäger, Hirsch); 2013, S. 35

Instandsetzung verwitterter Natursteinoberflächen an historischen Bauwerken (Siedel); 2013, S. 63

Mineralische Mörtel und Putze zur Sanierung historischer Mauerwerksbauten (Egloffstein); 2013, S. 107

B Konstruktion · Bauausführung · Bauwerkserhaltung

Instandsetzung und Ertüchtigung von Mauerwerk; Teil 1: Planung der Maßnahmen (Jäger, Burkert); 2004, S. 207

Aussparungen und Schlitze in Mauerwerkswänden, Erläuterungen und Ergänzungen zum DGfM-Merkblatt (Kasten); 2004, S. 251

Verstärkungsmöglichkeiten für Mauerwerk in stark erdbebengefährdeten Gebieten (Fouad, Meincke); 2005, S. 185

Vermeiden und Instandsetzen von Rissen in Putzen (Schubert, Schmidt, Förster); 2005, S. 209

Konstruktionsregeln für Mauerwerk, Teil 1: Mauerwerksarten, Verbände und Maßordnung (Jäger, Pfeifer); 2005, S. 233

Ein Bemessungsvorschlag für die Dehnfugenanordnung bei Verblendschalen aus Sichtmauerwerk (Franke, Stehr); 2005, S. 267

Konstruktionsregeln für Mauerwerk, Teil 2: Anschlussdetails (Jäger); 2006, S. 231

Putz – Planung, Gestaltung, Ausführung (Riechers, Hildebrand); 2006, S. 267

Bauen mit Fertigteilen aus Mauerwerk (Krechting, Figge, Jedamzik); 2006, S. 301

Instandsetzung und Ertüchtigung von Mauerwerk, Teil 2: Herkömmliche Bestimmung der Materialkennwerte (Burkert); 2007, S. 27

Instandsetzung und Ertüchtigung von Mauerwerk, Teil 3: Zerstörungsfreie Prüfung zur Beurteilung von Mauerwerk (Maierhofer); 2007, S. 53

- Instandsetzung und Ertüchtigung von Mauerwerk, Teil 4: Ertüchtigung von Mauerwerksbauten gegenüber Erdbebeneinwirkungen (Pech, Zach); 2007, S. 75
- Lehm-Mauerwerk (Minke); 2007, S. 167
- Verpressen und Injizieren von Mauerwerk (Nodoushani); 2008, S. 319
- Konstruktionsregeln für Mauerwerk, Teil 3: Ausführungsbeispiele (Schneider); 2008, S. 329
- Konstruktionsregeln für Mauerwerk, Teil 4: Abdichtung von erdberührtem Mauerwerk (Oswald); 2008, S. 353
- Zur baustatischen Analyse gewölbter Stein-konstruktionen (Huerta, Kurrer); 2008, S. 373
- Lehmmauerwerk zur Ausfachung von Fachwerkbauten (Gerner, Gaul); 2008, S. 423
- Instandsetzung und Ertüchtigung von Mauerwerk, Teil 6: Unterfahrung von Mauerwerk am Beispiel der Severinstorburg Köln – Sicherung eines der Symbole der Domstadt (Tebbe, Dominik, Brauer, Jänecke); 2009, S. 209
- Instandsetzung und Ertüchtigung von Mauerwerk, Teil 7: Experimentelle Bestimmung der Tragfähigkeit von Mauerwerk – Belastungsversuche an Mauerwerksbauten in situ (Steffens, Burkert); 2009, S. 243
- Mauerwerksbau mit Lehmsteinen heute – Konstruktion und Ausführung (Schroeder); 2009, S. 271
- Konstruktion und Ausführung von zweischaligem Mauerwerk (Altaha); 2009, S. 291
- Terminmanagement im Mauerwerksbau: Planung der Planung und Planung der Ausführung (Busch); 2009, S. 319
- Arbeits-, Fassaden- und Schutzgerüste im Mauerwerksbau (Jeromin); 2009, S. 355
- Nachträgliche Horizontalabdichtung gegen kapillar aufsteigende Feuchtigkeit (Frössel); 2009, S. 397
- Entwicklung des Mauerwerkbaus – Leitfaden für praktische Anwender (Maier); 2009, S. 431
- Konstruktion und Ausführung von unbewehrtem Mauerwerk nach E DIN 1053-12 (Figge); 2010, S. 67
- Nachhaltige und schadensfreie Konstruktion von Verbundmauerwerk (Gigla); 2010, S. 79
- Instandsetzung der oberstromigen Fußgängerüberwege an der Horchheimer Brücke – Untersuchungen an Mauerwerkspfählen einer Bogenbrücke (Tebbe, Lietz, Brühl, Tataranni, Schwarz); 2010, S. 103
- Die Sicherung von historischen Gewölben am Beispiel der Kirche St. Michael in Elsdorf-Berrendorf (Dominic, Koch); 2011, S. 219
- Einsatz von bewehrtem Mauerwerk (Guirguis); 2011, S. 247
- Instandsetzung und Ertüchtigung von Mauerwerk, Teil 8: Bewertung von Schädigungsprozessen mithilfe zerstörungsfreier Prüfverfahren (Maierhofer, Mecke, Meinhardt); 2011, S. 337
- Eurocode 6 – Kommentar und Anwendungshilfe: DIN EN 1996-2/NA: Nationaler Anhang – Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk (Altaha, Seim); 2012, S. 197
- Mauerwerksertüchtigung durch Vorspannung mit Aramidstäben (Korjenic, Kolbitsch); 2012, S. 209
- Dübeltechnik praxisnah, Teil 1: Befestigungstechnik im Mauerwerksbau mit Bemessungsbeispielen (Hofmann, Schmieder, Welz); 2012, S. 241
- Dübeltechnik praxisnah, Teil 2: Bemessung und Ausführung von Sonderbefestigungen in Mauerwerk (Küenzlen); 2012, S. 275
- Konstruktive Mauerwerk-Details mit bauphysikalischer Bewertung, Teil 1: Ziegel (Figge, Staniszewski); 2012, S. 303
- Typische Grundrisse im Mauerwerksbau (Geppert, Ortlepp); 2012, S. 315
- Instandsetzung und Ertüchtigung von Mauerwerk, Teil 9: Gründung, Gründungsschäden und Sanierung (Schulz); 2012, S. 341
- Instandsetzung und Ertüchtigung von Mauerwerk, Teil 10: Schloss Steinort – Hochwasserschutz-Ertüchtigung an historischen Mauerwerksgebäuden am Beispiel des historischen Gebäudeensembles der Stadt Grimma (Burkert); 2012, S. 355
- Mauerwerksbrücken – Untersuchen und Ertüchtigen (Wilmers, Schultz); 2013, S. 137
- Instandsetzung von gerissenem Mauerwerk mit Spiralankern (Jahn, Meichsner); 2013, S. 191
- Untersuchungen zur Erhöhung der Schubfestigkeit und der Erdbebensicherheit von Lehmmauerwerk (Braun); 2013, S. 213

C Bemessung

- Genauere Bemessung von Mauerwerk nach dem Teilsicherheitskonzept (Mann, Jäger); 2004, S. 265
- Bemessung von Flachstürzen (Schmidt, Schubert, Reeh, Schlundt, Duensing); 2004, S. 275
- Numerische Modellierung von Mauerwerk (Schlegel, Rautenstrauch); 2005, S. 365
- Rechnerische Schubtragfähigkeit von Mauerwerk – Rechenansätze im Vergleich (Gunkler, Heumann, Becke); 2005, S. 399

Kommentierte Technische Regeln für den Mauerwerksbau, Teil 1: DIN 1053-100: Mauerwerk – Berechnung auf der Grundlage des semiprobabilistischen Sicherheitskonzepts – Kommentare und Erläuterungen, Wortlaut der Norm (Jäger, Pflücke, Schöps); 2006, S. 363

Kommentierte Technische Regeln für den Mauerwerksbau, Teil 2: Richtlinie für die Herstellung, Bemessung und Ausführung von Flachstürzen (Reeh, Schlundt); 2006, S. 433

Bemessung von Mauerwerk nach dem Teilsicherheitskonzept – Bemessungsbeispiele nach DIN 1053-100 (Hoffmann); 2007, S. 183

Vereinfachte Berechnung von Mauerwerk nach DIN EN 1996-3 (Reeh, Schlundt); 2007, S. 227

Entwurf für den Nationalen Anhang zur Europäischen Mauerwerksnorm DIN EN 1996-1-1 (EC 6-1-1) (Jäger); 2007, S. 255

Bemessung von drei- oder vierseitig gehaltenen, flächenbelasteten Mauerwerkswänden (Jäger); 2007, S. 273

Bemessung von vorspannbarem Mauerwerk – Spiegelung der Regeln von EC 6 (Gunkler, Budelmann, Husemann, Heße); 2007, S. 329

Bewehrtes Mauerwerk: Stand der Überarbeitung von DIN 1053-3 (Baumgärtel, Gränzer); 2007, S. 367

Nachweis tragender Mauerwerkswände und Erdbebenwirkung nach DIN 4149 in Verbindung mit DIN 1053-100 (Graubner, Kranzler, Spengler); 2007, S. 379

Kommentierte Technische Regeln – DIN EN 1996-1-1: Normtext sowie Kommentare und Erläuterungen für unbewehrtes Mauerwerk (Jäger, Hauschild); 2008, S. 457

Festlegung der Teilsicherheitsbeiwerte für das Material (Nguyen); 2008, S. 527

Kommentierte Technische Regeln – DIN EN 1996-1-1: Normtext sowie Kommentare und Erläuterungen für bewehrtes und eingefasstes Mauerwerk (Jäger, Hauschild); 2009, S. 465

Bemessung von Mauerwerk – Entwurf für DIN 1053-11 und DIN 1053-13 mit Kommentaren (Jäger, Reichel); 2009, S. 497

Sicherheitsbeurteilung historischer Mauerwerksbrücken (Proske); 2009, S. 537

Erdbebenbemessung bei Mauerwerksbauten (Butenweg, Gellert, Meyer); 2010, S. 143

Die Anwendung des Eurocode 6 in Österreich (Pech); 2010, S. 169

Bemessung von Mauerwerk nach der holländischen Norm (Wijte, van der Pluijm); 2010, S. 185

Bemessung von Mauerwerk nach der kanadischen Norm (Korany); 2010, S. 195

Bemessung von Mauerwerk – Beispiele nach E DIN 1053-11 und E DIN 1053-13 (Purtak, Hirsch, Ortlepp); 2010, S. 207

Mauerwerk und Erdbeben – Bemessungsansätze, aktuelle Forschung und Normungslage in Europa (Lu); 2010, S. 225

Schubtragfähigkeit von Wänden aus Kalksand-Planenelementen mit geringem Überbindemaß – Experiment und rechnerische Simulation mit nichtlinearen FE-Methoden (Gunkler, Glahe, Budelmann, Sperbeck, Ledderboge); 2011, S. 353

Nachweisverfahren für Brücken aus Natursteinmauerwerk (Purtak, Hirsch); 2011, S. 377

Eurocode 6 – Kommentar und Anwendungshilfe: DIN EN 1996-1-1 und DIN EN 1996-1-1/NA: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für unbewehrtes Mauerwerk (Jäger); 2012, S. 413

Eurocode 6 – Kommentar und Anwendungshilfe: DIN EN 1996-3 und DIN EN 1996-3/NA: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrtes Mauerwerk (Jäger); 2012, S. 435

Einführung in die Mauerwerksbemessung nach der Normenreihe des Eurocode 6 und den Nationalen Anhängen (Brauer, Ehmke); 2012, S. 445

Analyse des Tragverhaltens von bauphysikalisch optimierten Anschlussdetails einschaliger Wandkonstruktionen – Entwicklung eines passivhaustauglichen monolithischen Ziegelsystems für Österreich (Jäger, Reichel, Hammer); 2013, S. 261

D Bauphysik · Brandschutz

Ökologisch-bautechnische Beratung (Rudolphi); 2004, S. 417

Praktische Anwendung der EnEV 2002 auf Fachwerkhäuser im Bestand (Eßmann, Gänßmantel, Geburtig); 2004, S. 441

Mauerwerkspezifische Anwendungsbeispiele zur Energiesparverordnung 2002 (Liersch, Langner); 2005, S. 437

Bauklimatische Software zur Quantifizierung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports im Mauerwerk (Grunewald, Häußel, Petzold, Ruisinger); 2005, S. 447

Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit von Mauerwerk nach DIN 4108-4 (Bender); 2006, S. 445

Die Novelle der Energieeinsparverordnung – EnEV 2007. Chancen für die bessere Bewertung von Nicht-

Wohngebäuden und Einführung von Energieausweisen (Hegner); 2007, S. 475

Salze (Klemm); 2008, S. 539

Feuchtehaushalt von Mauerwerk (Garrecht); 2009, S. 575

Passivhausbau mit Mauerwerk (Grobe); 2009, S. 617

Energetische Optimierungen an Bestands-Mauerwerk – Ein Beispiel aus der Praxis (Conrad, Petzold, Grunewald); 2009, S. 641

Schallschutz im Mauerwerksbau (Fischer, Scholl); 2010, S. 245

Die Energieeinsparverordnung 2009 (Gierga); 2010, S. 293

Brandschutz mit Mauerwerk – Stand DIN 4102-4 sowie DIN 4102-22 (Hahn); 2010, S. 313

Brandschutz im Industrie- und Gewerbebau – Anforderungen und Nachweise (Frey); 2010, S. 327

Baupraktische Detaillösungen für Innendämmungen mit hohem Wärmeschutzniveau (Liebert, Sous, Oswald, Zöller); 2011, S. 419

Novelle der EG-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – wesentliche Inhalte und Auswirkungen (Hegner); 2011, S. 441

Neue Instrumente und Zertifizierungssysteme für das nachhaltige Bauen, erste zertifizierte Gebäude (Hegner); 2011, S. 447

Energieeffizienz und Mauerwerksbau: Passivhaus-Gebäudehülle mit KS als Grundlage für „Zero Emission Buildings“ (Schulze Darup); 2012, S. 475

Elbphilharmonie Hamburg: Statisch-konstruktive und bauphysikalische Untersuchungen am Bestandsmauerwerk des Kaispeichers A (Burkert, Plagge); 2013, S. 299

Feuchteschutz von Mauerwerk durch hygrothermische Simulation (Künzel); 2013, S. 363

Brandschutztechnische Beurteilung historischer Mauerwerkskonstruktionen (Geburtig); 2013, S. 393

Tragwerksbemessung für den Brandfall nach Eurocode 6 – Erläuterungen zum Nationalen Anhang zu DIN EN 1996-1-2 (Hahn); 2013, S. 413

Zukunftssicher bauen – Wie die Energiewende das Bauen verändert (Hegner, Schoch); 2013, S. 447

E Normung · Zulassungen · Regelwerk¹⁾

Zum Stand der europäischen brandschutztechnischen Bemessungsregeln für Mauerwerk – ENV 1996-1-2 (Hahn); 2004, S. 469

Europäische Brandschutzklassifizierung (Herzog); 2004, S. 499

Bestimmungen: Hinweise zum bautechnischen Regelwerk und Abdruck ausgewählter Technischer Baubestimmungen (Irmschler); 2005, S. 523

Stand der Überarbeitung von DIN 1053-1 (Jäger, Pflücke); 2005, S. 623

Grundsätze der Normung (Desler); 2010, S. 397

Bauaufsichtliche Verwendbarkeitsnachweise (Irmschler); 2010, S. 401

F Forschung²⁾

Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Erdbebentragverhalten unbewehrter Mauerwerksbauten (Zilch, Schermer); 2004, S. 649

Bemessung bewehrter Mauerwerkswände (Graubner, Glock); 2004, S. 665

Erhöhung der Schubtragfähigkeit von KS-Wänden unter Erdbebenlasten durch schlaffbewehrte Betonstützen in Formsteinen bzw. durch Vorspannung der Wand (Ötes, Löring, Elsche); 2004, S. 683

Erhöhung der Erdbebenwiderstandsfähigkeit unbewehrter Mauerwerkswände mit Hilfe von GAP-Elementen (Fehling, Nejadi); 2005, S. 691

Tastversuche an Wänden aus Planfüllziegeln unter simulierter Erdbebeneinwirkung (Ötes, Löring, Elsche); 2005, S. 699

Modellierung des Wand-Decken-Knotens (Baier); 2007, S. 621

Konstruktion des Wand-Decken-Knotens (Zilch, Schermer, Grabowski, Scheufler); 2007, S. 681

Stand der Untersuchungen und Zwischenergebnisse des Forschungsprojekts ESECMaSE (González, Meyer); 2008, S. 727

Experimente im Mauerwerksbau – Versuche an geschosshohen Prüfkörpern (Schermer, Scheufler); 2008, S. 761

Möglichkeiten der numerischen Simulation von Mauerwerk heute anhand praktischer Beispiele (Schlegel); 2009, S. 791

1) Mit dem Mauerwerk-Kalender 2006 sind die bisherigen Kapitel *E – Europäisches Regelwerk* und *F – Nationales Regelwerk* in einem gemeinsamen Kapitel *E – Normung · Zulassungen · Regelwerk* aufgegangen. Damit wurde der fortschreitenden Übernahme des europäischen Normenwerks in das deutsche Rechnung getragen.

2) Bis zum Mauerwerk-Kalender 2005 wurde die Forschungs-Rubrik mit *G* und Software mit *H* bezeichnet (neue Bezeichnung wegen Fußnote 1).

Örtliche Verstärkung gemauerter Wandscheiben mit aufgeklebten Faserverbundwerkstoffen (Pfeiffer, Seim); 2010, S. 481

Die Kollapsanalyse als Werkzeug zur Überprüfung von Schwachstellen an Mauerwerksstrukturen bei Erdbeben (Bakeer); 2011, S. 617

Rezyklierbare modulare Massivbauweisen – Entwicklung von Grundprinzipien (Masou, Bergmann, Haase, Brenner); 2012, S. 649

Experimentelle und numerische Untersuchungen zur Biegezugfestigkeit von Mauerwerk (Schmidt); 2013, S. 655

G Software³⁾

Software zur Energieeinsparverordnung (Liersch, Langner); 2005, S. 713

Bauklimatische Software zur Qualifizierung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Mauerwerk (Grunewald, Häupl, Petzold, Ruisinger); 2005, S. 447

3) Bis zum Mauerwerk-Kalender 2005 wurde die Forschungs-Rubrik mit *G* und Software mit *H* bezeichnet (neue Bezeichnung wegen Fußnote 1).

A Baustoffe ■ Bauprodukte

- I **Eigenschaften von Mauersteinen, Mauermörtel,
Mauerwerk und Putzen 3**
Wolfgang Brameshuber, Aachen

- II **Neuentwicklungen beim Mauerwerksbau mit
allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ) 35**
Wolfram Jäger, Dresden und Roland Hirsch, Berlin

- III **Glasfaserbewehrung im Mauerwerksbau 69**
Ben Jütte und Werner Venter, Baden-Baden

- IV **Befestigungsmittel für den Mauerwerksbau 89**
Michael Müller und Eckehard Scheller, Berlin
aktualisiert durch Andreas Kummerow, Berlin

I Eigenschaften von Mauersteinen, Mauermörtel, Mauerwerk und Putzen

Wolfgang Brameshuber, Aachen

1 Allgemeines

Dieses Kapitel des Mauerwerk-Kalenders wird als ständiger Beitrag jährlich aktualisiert. Der Verfasser würde sich über Hinweise, z. B. über fehlende wesentliche Literaturangaben etc., sehr freuen und diese im folgenden Jahrgang gern aufnehmen.

Im Zuge der Ablösung der nationalen Bemessungsnorm DIN 1053-1 [1] durch den EC 6 [2] führen die Rechenansätze zur Bemessung von Mauerwerk insofern eine Veränderung herbei, dass auch europäische Steine und Mörtel mit teilweise anderen Eigenschaften ihr Einsatzgebiet in Deutschland finden. Daher sind die überwiegend deutschen Ausgangsstoffe und das daraus erstellte Mauerwerk mit den erzielten Eigenschaften in diesem Beitrag zusammengestellt, der somit die direkte Möglichkeit eines Vergleichs mit Materialien anderer Länder gibt.

Der Eurocode 6 teilt die Mauersteine in vier Kategorien ein, die den Lochanteil berücksichtigen. Diese Klassen werden in Deutschland nicht übernommen, da die Lochanteile nicht zu Gruppierungen passen, wie sie sich national seit Jahrzehnten entwickelt haben. Daher wurde hier im Nationalen Anhang zum EC6 eine stark abweichende Regel in Form von Stein- und Lochgeometrie abhängigen Tabellen eingeführt. Dies bewirkt, dass die Materialausnutzung dem Steinmaterial deutlich besser angepasst wurde – ein wichtiger Beitrag zur Nachhaltigkeit, neben der ökonomischen Optimierung. Es zeigt sich somit auch ein Trend, den der Verfasser dieses ständigen Beitrags im Mauerwerk-Kalender vollumfänglich unterstützt, nämlich der Weg zum materialbegründeten Kennwert. Dies gilt nicht nur für die Druckfestigkeit, sondern insbesondere für Haftscher- und Haftzugfestigkeiten, die einen unmittelbaren Einfluss auf die Schub- und Biegezugfestigkeit von Mauerwerk haben. Wir unterscheiden hier derzeit nur auf Basis der Mörtelklassen. Warum? Weil es immer so war? In den kommenden Monaten werden Vorschläge für eine stärkere Berücksichtigung von Mauerstein-/Mauermörtelkombinationen erarbeitet werden, die das Mauerwerk sicher und wieder konkurrenzfähiger gegenüber anderen Baustoffen erscheinen lassen.

Die hier aufgeführten Eigenschaftswerte beziehen sich auf das tatsächliche Verhalten von Mauerstein, Mauermörtel und Mauerwerk, womit deutlich wird, dass aufgrund der vielfältigen Materialien und Kombinationen

eine große Bandbreite von Eigenschaften entsteht. Anforderungen aus Normen und allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen sind Mindesteigenschaften. Die hier genannten Eigenschaftswerte gehen über Normanforderungen hinaus und sollen bei gesonderten Fragestellungen helfen, eine fachlich fundierte Antwort zu finden, wie z. B. bei der Beurteilung der Rissicherheit von Mauerwerk (Gebrauchstauglichkeitsnachweis), bei einer Schadensdiagnose oder aber bei genaueren Nachweisen für die Tragfähigkeit bestehender Bauwerke. In Grenzfällen kann ein ingenieurmäßig überdachter Ansatz geeigneter Kennwerte zusätzliche Sicherheit bieten.

Die Zusammenstellung der Eigenschaftskennwerte bezieht sich in einigen Fällen auf frühere Beiträge des Mauerwerk-Kalenders. In anderen Fällen wurde eine Aktualisierung vorgenommen. Der Bezug bei einer unveränderten Datenlage ist dann der Artikel aus dem Mauerwerk-Kalender 2010 [3]. Wenn Materialkennwerte/Rechenwerte aus dem Eurocode 6 entnommen wurden, wird hierfür auf die Kommentierung zum EC6 [67], die noch weiterführende Erläuterungen enthält.

2 Eigenschaftskennwerte von Mauersteinen

2.1 Festigkeitseigenschaften

2.1.1 Längsdruckfestigkeit

Die Längsdruckfestigkeit von Mauersteinen wird überall dort benötigt, wo eine Biegebeanspruchung in Wandebene erfolgt, so z. B. bei Wänden auf sich durchbiegenden Decken oder Stürzen mit Übermauerung. Gemäß [3] ergibt sich nach Auswertung der Literatur [4–6] folgendes Bild: Für Hochlochziegel lässt sich kein Zusammenhang zwischen dem Nennwert der Steindruckfestigkeit und der Längsdruckfestigkeit angeben, unabhängig vom Lochanteil, genausowenig für Leichtbeton. Dies hat im Wesentlichen den Einfluss der Loch-/Steganordnung als Ursache. Im Einzelfall wird empfohlen, den Nachweis experimentell zu führen. Für Vollsteine und Kalksandlochsteine ergibt sich nach [3] ein durchaus verwertbarer Zusammenhang. Für Mauerziegel, Kalksand-, Voll- und Lochsteine ist das Verhältnis Längsdruck-/Mauersteindruckfestigkeit

Tabelle 1. Verhältniswerte Steinlängs- $(\beta_{D,st,l})$ /Normdruckfestigkeit $(\beta_{D,st})$, aus [3]

Mauerstein	n	$\beta_{D,st}$ Wertebereich N/mm ²	$\beta_{D,st,l}/\beta_{D,st}$		
			\bar{x}	min x	max x
Mz	2	21,9/22,7	0,67	0,64	0,70
HLz ¹⁾	5	20...47	0,23	0,12	0,33
HLz ²⁾	37	7, 4...26	0,18	0,05	0,39
KS	8	24,1...36,8	0,59	0,32	0,75
KS L	7	8,9...26,9	0,40	0,32	0,56
V	5	4,1...23,1	0,75	0,61	0,83
Vbl	5	2,7...3,6	0,90	0,36	1,13
Hbl	12	2,5...7,9	0,61	0,35	0,81
Hbn	1	15,8	0,46	–	–
PB, PP	15	2,3...9,4	0,70	0,50	0,92

n Anzahl der Versuchsserien

\bar{x} Mittelwert

min x; max x = Kleinst-, Größtwert

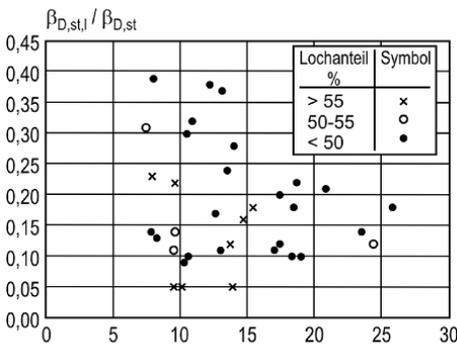
1) Trockenrohdichte $\rho_d > 1,0 \text{ kg/dm}^3$

2) $\rho_d \leq 1,0 \text{ kg/dm}^3$

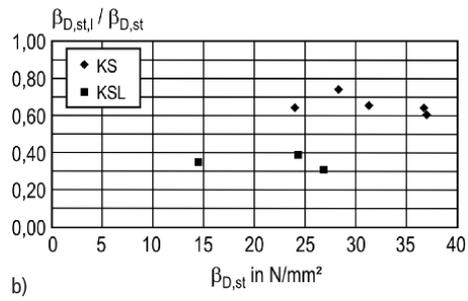
von der Steindruckfestigkeit weitgehend unabhängig. Der Unterschied zwischen Längsdruck-/Normdruckfestigkeit bei Vollsteinen entsteht zum einen dadurch, dass die Normdruckfestigkeit durch Umrechnung der Prüfwerte mittels Formfaktoren ermittelt und für die Längsdruckfestigkeit der Prüfwert ohne Formfaktor gewählt wurde. Zum anderen ist eine produktionsbedingte leichte Anisotropie möglich. Für Porenbeton ergibt sich eine Abnahme des Druckfestigkeitsverhältnisses gemäß dem Zusammenhang $\beta_{D,st,l}/\beta_{D,st} = 0,91 - 0,04 \beta_{D,st}$ [3]. Auch hier ist ein Teil auf die Umrechnung mit Formfaktoren zurückzuführen, aber auch auf eine leichte Anisotropie durch den Herstellprozess. In den Bildern 1 a bis 1 d sind für verschiedene Steinsorten die Verhältnisse $\beta_{D,st,l}/\beta_{D,st}$ in Abhängigkeit von der Normdruckfestigkeit $\beta_{D,st}$ aufgetragen. Tabelle 1 gibt eine Zusammenfassung des derzeitigen Stands der Literatur wieder.

2.1.2 Zugfestigkeiten

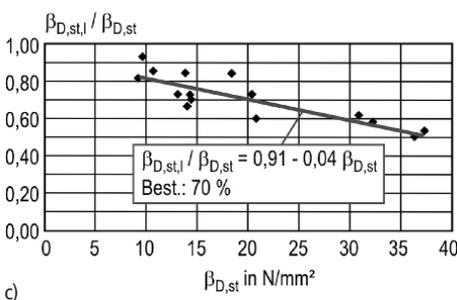
Für Mauerwerk mit Dickbettfuge (Normal- und Leichtmörtel) ist bei Druckbeanspruchung senkrecht zur Lagerfuge bei bestimmten Verhältnissen Stein-/Mörtel-druckfestigkeit wegen des entstehenden mehraxialen Spannungszustandes die Zugfestigkeit der Mauersteine eine für die Druckfestigkeit von Mauerwerk maßgebende



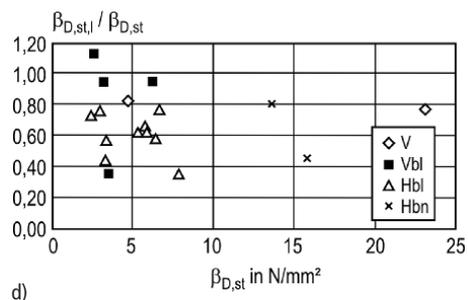
a)



b)



c)



d)

Bild 1. Steinlängs- $(\beta_{D,st,l})$ /Normdruckfestigkeit $(\beta_{D,st})$ in Abhängigkeit von der Normdruckfestigkeit [3]; a) Leichthochlochziegel, b) Kalksandvollsteine, Kalksandlochsteine, c) Porenbeton-Blocksteine, Porenbeton-Plansteine, d) Leichtbetonsteine, Betonsteine

Tabelle 2. Verhältniswerte Steinzug-/Steindruckfestigkeit

Steinart	$\delta_i = f_{bt,cal} / f_{st}$	Mauerstein	$\beta_{z,l} / \beta_{D,st,prüf}$ [3]		
	DIN EN 1996-1-1/NA		Mittelwert	Wertebereich	Anzahl Versuchswerte
Hohlblocksteine	0,020	Hbl	0,08	0,05...0,13	8
		Hbl 2	0,09	0,07...0,13	5
		Hbl ≥ 4	0,07	0,06...0,10	3
		Hbn	0,08	0,06...0,09	2
Hochlochsteine	0,026	HLz	0,03	0,13...0,41	20
		LHLz	0,01	0,002...0,019	54
		KS L	0,035	0,026...0,055	19
Steine mit Grifföchern und Griffaschen	0,026	KS(GL)	0,045	0,027...0,065	24
Vollsteine ohne Grifföcher oder Griffaschen	0,032	KS	0,063	0,039...0,081	18
		Mz	0,04	0,01...0,08	9
		V, Vbl	0,08	0,04...0,21	23
		V2, Vbl2	0,11	0,06...0,18	16
		V, Vbl ≥ 4	0,07	0,05...0,09	7
Porenbeton	0,082	PB, PP	0,11	0,06...0,19	24
	$1,25 \cdot \frac{1}{0,7 + \left(\frac{f_{st}}{25}\right)^{0,5}}$	PB2, PP2	0,18	0,13...0,20	7
		PB und PP 4, 6, 8	0,11	0,09...0,13	8

$f_{bt,cal}$ rechnerische Steinzugfestigkeit nach DIN EN 1996-1-1/NA
 f_{st} umgerechnete mittlere Steindruckfestigkeit nach DIN EN 1996-1-1/NA
 $\beta_{z,l}$ Prüfwert der Steinzugfestigkeit
 $\beta_{D,st,prüf}$ Prüfwert der Steindruckfestigkeit

de Größe. Für die Schubtragfähigkeit und die Biegezugfestigkeit in Wandebene kann die Steinzugfestigkeit maßgebend werden. Es ist daher sehr hilfreich, etwas detailliertere Angaben im Vergleich zu den Normangaben zu erhalten. Bislang gilt, und dies ist im Entwurf DIN EN 1996-1-1/NA [7] auch so von DIN 1053-1 [1] übernommen worden (2. Spalte der Tabelle 2), die Einteilung nach Hohlblocksteinen, Hochlochsteinen, Steinen mit Grifföchern oder Griffaschen, Vollsteinen ohne Grifföcher oder Griffaschen. Hinzugenommen wurde in DIN EN 1996-1-1/NA [7] der Porenbetonstein.

Die Prüfung der Zugfestigkeit ist relativ aufwendig. Eine Prüfnorm oder -richtlinie existiert zurzeit nicht (siehe aber [8]). Meist werden die Mauersteine in Richtung Steinlänge geprüft. Wesentliche Eigenschaftsunterschiede zwischen Steinlänge und -breite ergeben sich vor allem bei Lochsteinen mit richtungsorientierten Lochungen. Zugfestigkeitswerte in Richtung Steinbreite liegen nur für HLz vor (8 Werte, Wertebereich $\beta_{z,b} / \beta_{D,st} = 0,003 \dots 0,026$, Mittelwert: 0,009).

Sinnvollerweise werden die $\beta_{z,l}$ -Werte auf die jeweilige Steindruckfestigkeit (nach Norm) ermittelt bezogen als Verhältniswerte $\beta_{z,l} / \beta_{D,st}$ angegeben.

Tabelle 2 gibt den heutigen Stand der Auswertung [3, 9, 10] wieder.

Die beiden angeführten Verhältniswerte sind nicht direkt miteinander vergleichbar, da der Prüfwert jeweils noch mit Formbeiwerten zu versehen und näherungsweise beim Druck mit 0,8 und beim Zug mit 0,7 zu multiplizieren wäre, um auf die charakteristischen Werte zu kommen. Näherungsweise kann man aber die Verhältniswerte gleichsetzen (im Rahmen der hier vorliegenden Genauigkeit).

Für Vollsteine besteht wegen der versuchstechnisch sehr aufwendigen Bestimmung der einaxialen Längszugfestigkeit noch die Möglichkeit der Messung der Spaltzugfestigkeit. Allerdings gibt es für Mauersteine noch keinen einheitlichen Wert zur Umrechnung von der Spaltzugfestigkeit auf die Zugfestigkeit. Dieser Wert hängt erfahrungsgemäß von der Festigkeit ab. Näherungsweise gilt, dass das Verhältnis Spaltzugfestigkeit $\beta_{sz,l}$ zu Zugfestigkeit $\beta_{z,l}$ zwischen 1,1 und 1,3 liegt. Für Lochsteine ist nach Auffassung des Verfassers die Ermittlung der Spaltzugfestigkeit [11] aus Gründen des Spannungszustands nicht sinnvoll anzuwenden.

2.2 Verformungseigenschaften

2.2.1 Elastizitätsmodul senkrecht zur Lagerfuge unter Druckbeanspruchung

Der Elastizitätsmodul der Mauersteine beeinflusst die Steifigkeit des Mauerwerks maßgeblich, er muss in den Fällen, in denen sie eine Rolle spielt, im Einzelfall nachgewiesen werden.

Der E-Modul ist als Sekantenmodul bei 1/3 der Höchstspannung (Druckspannung senkrecht zu den Lagerfugen) und einmaliger Belastung definiert:

$$E_D = \frac{\max \sigma_D}{3 \cdot \epsilon_1}$$

mit

ϵ_1 Längsdehnung bei 1/3 max σ_D

Nach [3] können für eine erste Abschätzung des Druck-E-Moduls folgende Beziehungen gewählt werden:

Kalksandstein: $E_D = 230 \cdot \beta_{D,st}$

Porenbeton: $E_D = 700 \cdot \beta_{D,st}^{0,74}$

Der Verfasser empfiehlt, bei den wenigen Einzelfällen, wo der Elastizitätsmodul des Mauerwerks für Nachwei-

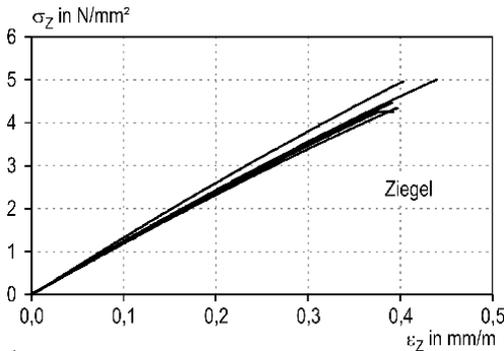
se benötigt wird, z. B. Durchbiegung bei Brückenüberbauten, den Elastizitätsmodul von Steinen vor dem Vermauern bzw. bei bestehenden Bauwerken mittels Probenentnahme zu bestimmen und eine rechnerische Abschätzung vorzunehmen, wozu allerdings eine sehr große Erfahrung erforderlich ist.

2.2.2 Elastizitätsmodul in Steinlängsrichtung unter Zugbeanspruchung

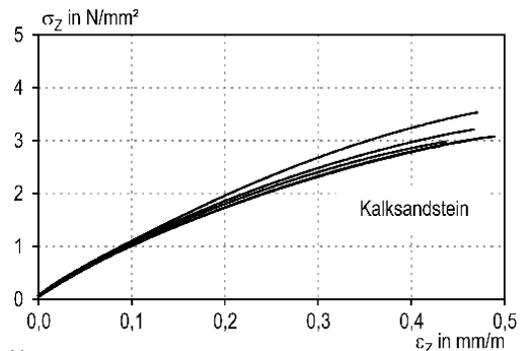
Der Elastizitätsmodul der Mauersteine unter Zugbeanspruchung liegt erfahrungsgemäß in der gleichen Größenordnung wie der unter Druckbeanspruchung. Geringe Abweichungen sind in der Nichtlinearität der Spannungs-Dehnungs-Linien der Steinmaterialien begründet. Der Zug-E-Modul ist analog zum Druck-E-Modul als Sekantenmodul bei 1/3 der Höchstspannung (Zugfestigkeit) und einmaliger Belastung definiert.

Zwischen dem Elastizitätsmodul und der Steinzugfestigkeit wurden folgende Zusammenhänge ermittelt [3] (Best.: Bestimmtheitsmaß):

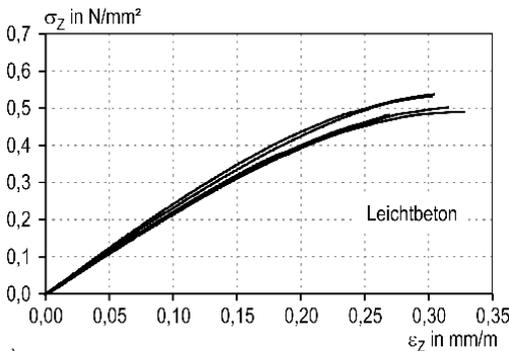
Kalksandsteine (Prismen; 13 Mittelwerte)
 $E_Z = 5800 \beta_{z,1}^{0,73}$ (Best.: 95 %)



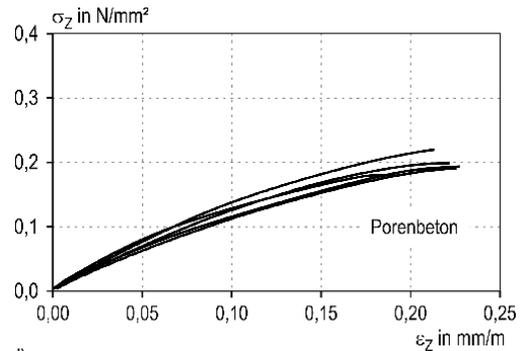
a)



b)



c)



d)

Bild 2. Spannungs-Dehnungs-Linien von Ziegeln (a), Kalksandstein (b), Leichtbeton (c) und Porenbeton (d)