

2024

MAUERWERK KALENDER



Klimagerechtes und
nachhaltiges Bauen

Befestigungen

Bauen im Bestand

2024

MAUERWERK KALENDER

Klimagerechtes und
nachhaltiges Bauen

Befestigungen

Bauen im Bestand

Herausgegeben von
Detteff Schermer, Regensburg
Eric Brehm, Karlsruhe

49. Jahrgang

Hinweis des Verlages

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

Titelbild: Mit Porenbetonsteinen lassen sich individuelle Einfamilienhäuser
in höchster Mauerwerksqualität errichten.

Foto: Xella Deutschland GmbH, Bauunternehmer Josef Reger Bau, Wernberg-Köblitz

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.

© 2024 Ernst & Sohn GmbH, 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 photoprinting, microfilm, or any other means – nor transmitted or translated into a machine language without written permission from the publisher.

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.

Umschlaggestaltung: Sonja Frank, Berlin
Herstellung: pp030 – Produktionsbüro Heike Praetor, Berlin
Satz: le-tex publishing services GmbH, Leipzig
Druck und Bindung:

Printed in the Federal Republic of Germany.
Gedruckt auf säurefreiem Papier.

ISSN 0170-4958

Print ISBN 978-3-433-03408-8

ePDF ISBN 978-3-433-61153-1

ePub ISBN 978-3-433-61151-7

oBook ISBN 978-3-433-61152-4

Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser,
wir freuen uns sehr, Ihnen die neueste Ausgabe des Mauerwerk-Kalenders vorlegen zu dürfen, welcher sich mit den Schwerpunkten „Klimagerechtes und nachhaltiges Bauen – Befestigungen – Bauen im Bestand“ auseinandersetzt.

Die Bauwirtschaft steckt in der Krise. Insbesondere der Wohnungsbau muss starke Einbrüche verkraften. Da Mauerwerk die im Wohnungsbau dominierende Wandbauweise ist, sind die Auswirkungen auf die Mauerwerksindustrie noch verstärkt. Die Heftigkeit dieser Krise ist bemerkenswert. Aber auch nach jeder Krise geht es wieder aufwärts, weshalb die Forschung und Entwicklung im Mauerwerksbau weitergehen muss, um gut gerüstet daraus hervorkommen zu können. Die dann entscheidenden Eigenschaften werden vor allem die Nachhaltigkeit und Kosteneffizienz der Bauweise sein.

Die Nachhaltigkeit im Sinne der Klimaneutralität greift der vorliegende Mauerwerk-Kalender in den Beiträgen von *Eden* und *Istanbul*, *Armbrecht* sowie *Schoch* et al. auf, die für unterschiedliche Steinarten den Weg zur Klimaneutralität beleuchten. Die sehr wirksame, aber in den aktuellen Nachhaltigkeitszertifikaten vernachlässigte Eigenschaft der Recarbonatisierung wird von *Rast* und *Pohl* erläutert. Zwei ausgewählte Beiträge von *Gigla* und *Pohl* konzentrieren sich direkt auf die Bewertung und Zertifizierung der Nachhaltigkeit. Damit wird der Weg für alle üblichen Steinarten aufgezeigt, mit Ausnahme des Leichtbetons, da hier der Beitrag krankheitsbedingt leider ausfallen musste. Er wird in einer der nächsten Ausgaben nachgeliefert.

Wie kosteneffizientes Bauen heutzutage gelingen kann, wird von *Walberg* detailliert beschrieben. Dieser Beitrag fußt auf der vielbeachteten Studie der renommierten Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen.

Einen weiteren Schwerpunkt dieses Jahrgangs bildet das Thema Befestigungen sowie Bauen im Bestand. Hier freuen wir uns u. a. über die beiden Beiträge von *Küenzlen* et al. sowie jenen von *Gigla*. Abgerundet wird der Kalender durch ausgewählte Projektbeispiele und Sonderthemen, hier ist der Beitrag zur Bauwerksdiagnostik von *Pelka* et al. zu nennen.

Des Weiteren dokumentiert auch dieser Mauerwerk-Kalender als Jahrbuch wieder den aktuellen Stand der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen und Bauartgenehmigungen sowie laufende Forschungsprojekte.

Wir sind überzeugt, ein spannendes und interessantes Jahrbuch gestaltet zu haben, welches sowohl den Praktikern als auch den mehr forschungsaffinen Leserinnen und Lesern eine spannende Lektüre bietet.

Unser herzlicher Dank gilt allen Mitwirkenden an diesem Band, insbesondere wieder Dr.-Ing. Dirk Jesse von Ernst & Sohn, für die große Unterstützung. Wir wünschen Ihnen, liebe Leserinnen und Leser, eine ansprechende Lektüre und hoffen, dass die Ausgabe Ihnen neue Impulse für Ihre Herangehensweise an die Lösung der kommenden Fragestellungen liefert. Packen wir's an.

Herzliche Grüße

Bensheim und München, Prof. Dr.-Ing. Eric Brehm
im September 2023, Prof. Dr.-Ing. Detleff Schermer

Inhaltsübersicht

A Normen und Baustoffe

- A 1 Eigenschaften und Eigenschaftswerte von Mauersteinen, Mauer Mörtel und Mauerwerk [1](#)
Michael Raupach, Dorothea Saenger, Bernd Winkels
- A 2 Neuentwicklungen im Mauerwerksbau mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ) bzw. mit allgemeiner Bauartgenehmigung (aBG) [17](#)
Jennifer Gebhardt, Simon Gille
- A 3 Geltende Technische Regeln für den Mauerwerksbau (Deutsche, Europäische und Internationale Normen) (Stand 10.03.2023) [61](#)
Benjamin Purkert

B Gestaltung und Konstruktion (Neubau)

Roadmaps zur Klimaeffizienz

- B 1 Der Weg der deutschen Kalksandsteinindustrie zur Klimaneutralität bis 2045 [83](#)
Wolfgang Eden, Zakaria Istanbuly
- B 2 Roadmap für eine treibhausgasneutrale Ziegelindustrie in Deutschland [91](#)
Katharina Armbrrecht
- B 3 Wege zu einer treibhausgasneutralen Porenbetonindustrie in Deutschland [103](#)
Torsten Schoch, Oliver Kreft, Hartmut Walther, Berit Straube

Geschosswohnungsbau/Kostengünstiges Bauen

- B 4 Recarbonatisierung von zement- und kalkgebundenen Mauersteinen [121](#)
Ronald Rast, Sebastian Pohl
- B 5 Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG) [133](#)
Sebastian Pohl
- B 6 Kostenoptimiertes Bauen im Wohnungsbau [155](#)
Dietmar Walberg
- B 7 Blauer Turm Bad Wimpfen [179](#)
Mark Böttges, Helmut Maus, Peter Kifinger

C Konstruktive Details (Bauphysik)

- C 1 Ausführung von Mauerwerkskonstruktionen [223](#)
Dieter Figge
- C 2 Mauerwerkinstandsetzung durch Verpressanker [263](#)
Birger Gigla
- C 3 Befestigungen im Mauerwerksbau [299](#)
Jürgen H.R. Küenzlen, Eckehard Scheller, Rainer Becker, Thomas Kuhn, Thorsten Immel
- C 4 Befestigung absturzsichernder Fenster [367](#)
Jürgen H.R. Küenzlen, Eckehard Scheller, Hermann Hamm, Rainer Becker, Thomas Kuhn

D Mauerwerk im Bestand

- D 1 Nachhaltigkeitsbewertung von Wohngebäuden [415](#)
Birger Gigla
- D 2 Bauwerksdiagnostik als Grundlage für Sanierungskonzepte
historischer Eisenbahngewölbebrücken [443](#)
Conrad Pelka, Erik Meichsner, Sven Unger, Johanna Monka-Birkner, Steffen Marx

E Forschung

- E 1 Übersicht über abgeschlossene und laufende Forschungsvorhaben
im Mauerwerksbau [505](#)
Jonathan Schmalz, Simon Gille, Jennifer Gebhardt

Inhaltsverzeichnis

Vorwort III

Autor:innenverzeichnis XIX

A Normen und Baustoffe

A 1 Eigenschaften und Eigenschaftswerte von Mauersteinen, Mauermörtel und Mauerwerk 1 Michael Raupach, Dorothea Saenger, Bernd Winkels

1	Einleitung	3	5.1	Allgemeines	8
2	Mauersteine	3	5.2	Haftscherfestigkeit	8
2.1	Festigkeitseigenschaften	3	5.3	Haftzug- und Biegehaftzugfestigkeit	9
2.1.1	Druckfestigkeit in Steinhöhe	3	6	Mauerwerk	10
2.1.2	Druckfestigkeit in Steinlänge und -breite	3	6.1	Allgemeines	10
2.1.3	Zug- und Spaltzugfestigkeit	3	6.2	Festigkeitseigenschaften	10
2.2	Verformungseigenschaften	4	6.2.1	Druckfestigkeit senkrecht zu den Lagerfugen	10
2.2.1	Elastizitätsmodul	4	6.2.2	Druckfestigkeit parallel zu den Lagerfugen	11
2.2.2	Querdehnungsmodul, Querdehnzahl	4	6.2.3	Zugfestigkeit	11
2.3	Kapillare Wasseraufnahme	5	6.2.4	Biegezugfestigkeit	13
3	Mauermörtel	6	6.2.5	Schubfestigkeit	13
3.1	Festigkeitseigenschaften	6	6.3	Verformungseigenschaften	14
3.1.1	Druckfestigkeit	6	6.3.1	Elastizitätsmodul	14
3.1.2	Zugfestigkeit	6	6.3.2	Feuchtedehnung, Kriechen, Wärmedehnung	15
3.2	Längs- und Querdehnungsmodul	6	Literatur	15	
4	Mauermörtel im Mauerwerk	6			
5	Verbund zwischen Mauerstein und Mauermörtel	8			

A 2 Neuentwicklungen im Mauerwerksbau mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ) bzw. mit allgemeiner Bauartgenehmigung (aBG) 17 Jennifer Gebhardt, Simon Gille

0	Allgemeines	19	5	Schalungsstein-Bauarten	52
0.1	Gesonderte Regelungen zu Schlitzfenstern	20	6	Trockenmauerwerk	52
0.1.1	Vertikale Schlitzfenster	20	7	Mauerwerk mit PU-Kleber	52
0.1.2	Horizontalschlitzfenster	20	8	Bewehrtes Mauerwerk	55
0.2	Weitere Allgemeine Bestimmungen und Anforderungen	20	9	Ergänzungsbauteile	56
1	Mauerwerk mit Normal- oder Leichtmauermörtel	20	10	Fertigbauteile	59
2	Mauerwerk mit Dünnbettmörtel	23	11	Betonelemente	59
3	Mauerwerk mit Mittelbettmörtel	49	Literatur	60	
4	Vorgefertigte Wandtafeln	49			

A 3 Geltende Technische Regeln für den Mauerwerksbau (Deutsche, Europäische und Internationale Normen) (Stand 10.03.2023) 61 Benjamin Purkert

1	Vorbemerkung	63	Literatur	81
2	Regelwerk	64		

B Gestaltung und Konstruktion (Neubau)**Roadmaps zur Klimateffizienz****B 1 Der Weg der deutschen Kalksandsteinindustrie zur Klimaneutralität bis 2045 83**

Wolfgang Eden, Zakaria Istanbuly

- | | | | | | |
|-----|---|----|-----|-------------------------------|----|
| 1 | Einleitung | 85 | 4 | Recarbonatisierung | 87 |
| 2 | Die Kalksandstein-Roadmap –
Betrachtung der drei Pfade | 85 | 4.1 | Pfade ohne Recarbonatisierung | 87 |
| | | | 4.2 | Pfade mit Recarbonatisierung | 87 |
| 2.1 | Der Referenzpfad | 85 | 5 | Forderungen an die Politik | 88 |
| 2.2 | Der Pionierpfad | 85 | 6 | Recycling | 89 |
| 2.3 | Der Klimaneutralitätspfad | 86 | 7 | Fazit | 89 |
| 3 | Ergebnisse | 86 | | Literatur | 89 |

B 2 Roadmap für eine treibhausgasneutrale Ziegelindustrie in Deutschland 91

Katharina Armbrrecht

- | | | | | | |
|-----|--|----|-----|--|-----|
| 1 | Vorbemerkung | 93 | 7 | Exkurs: Recycling von Ziegeln | 96 |
| 2 | Zielsetzung und Rahmen der
Roadmap 2050 | 93 | 8 | Ausgewählte Ergebnisse des Klima-
neutralitätspfad (Pfad 3) | 97 |
| 3 | Scope | 93 | 8.1 | Maßnahmen | 97 |
| 4 | Ausgangspunkt und historische
Entwicklung | 94 | 8.2 | Entwicklung des Energieeinsatzes | 98 |
| 5 | Pfade | 94 | 8.3 | Entwicklung der CO ₂ -Emissionen | 98 |
| 6 | Kernergebnisse | 94 | 8.4 | Entwicklung der energiebezogenen
Kosten | 99 |
| 6.1 | Relevante Maßnahmen und Verlauf
der CO ₂ -Emissionen | 94 | 9 | Wesentliche Erkenntnisse | 100 |
| 6.2 | Entwicklung energiebezogener Kosten | 96 | 10 | Externe Rahmenbedingungen | 100 |
| | | | | Literatur | 102 |

B 3 Wege zu einer treibhausgasneutralen Porenbetonindustrie in Deutschland 103

Torsten Schoch, Oliver Kreft, Hartmut Walther, Berit Straube

- | | | | | | |
|-------|--|-----|-------|---|-----|
| 1 | Einleitung | 105 | 4 | Umweltproduktdeklarationen
und Ökobilanzen | 110 |
| 2 | Rohstoffe | 105 | 4.1 | Umweltproduktdeklarationen gemäß
EN 15804:2012+A2:2019 | 110 |
| 2.1 | Aktueller Stand | 105 | 4.2 | CO ₂ in der EPD | 110 |
| 2.2 | Ersatz von Hartbranntkalk durch
Mittelbrand | 105 | 4.3 | Mechanismus der CO ₂ -Rückbindung
in Porenbeton | 111 |
| 2.3 | Einsatz von Portlandkalksteinzement in
Kombination mit Mittelbranntkalk | 106 | 5 | Umweltbezogene Qualität von Gebäuden
aus Porenbeton | 111 |
| 2.4 | Forschungsansatz für ein CO ₂ -reduziertes
Bindemittel – Belit-Zementklinker | 106 | 5.1 | Einführung | 111 |
| 2.4.1 | Belit-Zementklinker | 106 | 5.2 | Bewertungssysteme | 112 |
| 2.4.2 | Verfahren zur Herstellung von Belit-
Zementklinkern aus Altporenbeton | 108 | 5.3 | Ökobilanzierung (LCA) eines
Gebäudes | 112 |
| 2.4.3 | Verwendung von Belit-Zementklinker in
der Porenbetonproduktion | 108 | 5.4 | Die Bilanzierung | 114 |
| 3 | Kreislaufwirtschaft von Porenbeton | 108 | 5.4.1 | Allgemeines | 114 |
| 3.1 | Prototypenentwicklung | 108 | 5.5 | Ökobilanzdaten von Baustoffen | 115 |
| 3.2 | Einsparpotenziale für Primär-
rohstoffe | 109 | 5.6 | Die Herstellungsphase und Nutzungsphase
des Gebäudes | 115 |
| 3.3 | Auswirkungen auf die Treibhausgas-
emissionen | 109 | 5.7 | Die Entsorgungsphase | 116 |
| | | | 5.8 | Nachhaltigkeitszertifikat | 117 |
| | | | | Literatur | 118 |

Geschosswohnungsbau/Kostengünstiges Bauen

- B 4 Recarbonatisierung von zement- und kalkgebundenen Mauersteinen 121**
Ronald Rast, Sebastian Pohl
- 1 Ausgangssituation: Wohnungsbedarf und Mauerwerksbau 123
- 2 Ziele der Untersuchung 126
- 3 Recarbonatisierung von Mauersteinen 126
- 4 Ökobilanzen und CO₂-Kreislauf 127
- 5 Quantifizierung der Recarbonatisierung im Gebäudebestand 128
- 6 Fazit 131
- Literatur 132
- B 5 Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG) 133**
Sebastian Pohl
- 1 Einleitung und Kontext 135
- 2 Anforderungen von BEG und QNG im Überblick 136
- 2.1 Grundidee und aktueller Status der Förderung 136
- 2.2 Die NH-Klasse und das QNG als Fördervoraussetzung 136
- 3 Besondere QNG-Anforderungen im Fokus 142
- 3.1 Vorbemerkungen 142
- 3.2 Besondere QNG-Anforderungen für Wohngebäude 142
- 3.2.1 K.-o.-Benchmarks für Treibhausgas- und Primärenergie-Bilanz von Wohngebäuden 142
- 3.2.2 Nachhaltige Materialgewinnung für die Errichtung von Wohngebäuden 143
- 3.2.3 Schadstoffvermeidung in Baumaterialien für Wohngebäude 144
- 3.2.4 Barrierefreiheit in Wohngebäuden 146
- 3.3 Besondere QNG-Anforderungen für Nichtwohngebäude 148
- 3.3.1 K.-o.-Benchmarks für Treibhausgas- und Primärenergie-Bilanz von Nichtwohngebäuden 148
- 3.3.2 Nachhaltige Materialgewinnung für die Errichtung von Nichtwohngebäuden 149
- 3.3.3 Schadstoffvermeidung in Baumaterialien für Nichtwohngebäude 149
- 3.3.4 Barrierefreiheit in Nichtwohngebäuden 149
- 3.3.5 Naturgefahren am Standort von Nichtwohngebäuden 150
- 3.3.6 Gründächer bei Nichtwohngebäuden 151
- 4 Zusammenfassung 152
- Literatur 153
- B 6 Kostenoptimiertes Bauen im Wohnungsbau 155**
Dietmar Walberg
- 1 Vorbemerkung 157
- 2 Ausgangslage und Rahmenbedingungen für kostenoptimiertes Bauen und bezahlbaren Wohnraum 157
- 2.1 Aktuelle Kostenentwicklung; Baupreise, Bau(werks)kosten und Kostenstand im deutschen Wohnungsbau 157
- 2.2 Materialpreise und Verfügbarkeit 160
- 2.3 Gestehungskosten für den Wohnungsbau in deutschen (Groß-)Städten und Detailbetrachtung (Fortschreibung) am Beispiel der Freien und Hansestadt Hamburg 163
- 2.4 Im Jahr 2017: Bauen für 1800 €/m² – Im Jahr 2022: 2800 €/m²! 166
- 3 Rationelles Bauen – Kostenoptimiertes Bauen 167
- 3.1 Grundlagen des kostenoptimierten Bauens 167
- 3.2 Entwicklung der Produktivität im Bauhauptgewerbe 168
- 3.3 Nachhaltigkeit der Konstruktionen 170
- 3.4 Rationalisierungspotenzial 170
- 3.5 Gebäudetyp „E“ 172
- 4 Possible Practice – Best Practice 173
- 5 Fazit 174
- Literatur 176

- B 7 Blauer Turm Bad Wimpfen 179**
Mark Böttges, Helmut Maus, Peter Kifinger
- 1 Einleitung 181
 - 2 Baubeschreibung 181
 - 2.1 Hochmittelalterlicher Turmschaft 181
 - 2.2 Neugotischer Turmaufbau und Turmhelm 183
 - 3 Baugeschichte 183
 - 3.1 Baugeschichte I: Ursprungszustand und bauliche Entwicklung bis 1848 183
 - 3.1.1 Bauphase 1 (um 1200) 183
 - 3.1.2 Bauphase 2 (um 1450) 184
 - 3.1.3 Bauphase 3 (1674/75) 184
 - 3.2 Baugeschichte II: Der Brand 1848 und der folgende Wiederaufbau (Bauphase 4) 186
 - 3.3 Baugeschichte III: Die Schadensgeschichte des Blauen Turms 188
 - 3.3.1 Schäden und Maßnahmen 1852–1970 188
 - 3.3.2 Die statische Instandsetzung durch Klaus Pieper 1971 190
 - 3.3.3 Wiederaufbau 1984 und weitere Schäden 190
 - 4 Schadensaufnahme und Bestandsuntersuchungen 191
 - 4.1 Schäden 191
 - 4.1.1 Risskartierung und Substanzschäden 191
 - 4.1.2 Verformungen 193
 - 4.2 Untersuchungen am Mauerwerk 196
 - 4.2.1 Kernbohrungen 196
 - 4.2.2 Bauteilöffnungen 196
 - 4.2.3 Mörteluntersuchung 199
 - 5 Schadensursachen 199
 - 5.1 Brandereignisse 199
 - 5.2 Mauerwerksaufbau 201
 - 5.3 Lasteinleitung 201
 - 5.4 Chemisch-mineralogische Prozesse 202
 - 6 Instandsetzungskonzept 203
 - 7 Versuchsreihen zur Instandsetzung 203
 - 7.1 Versuche zur Festigung des Kernmauerwerks 203
 - 7.2 Versuchsreihen zur Ermittlung der Tragfähigkeit des gerissenen Schalenmauerwerks 205
 - 8 Statische Berechnung 206
 - 8.1 Eingangswerte 206
 - 8.1.1 Ermittlung der rechnerisch ansetzbaren Schalenstärke 206
 - 8.1.2 Materialkennwerte des Füllmauerwerks 206
 - 8.1.3 Materialkennwerte des Schalenmauerwerks 206
 - 8.1.4 Sicherheitskonzept und zulässige Spannungen 207
 - 8.2 Spannungsverteilung im dreischaligen Mauerwerk 208
 - 8.2.1 Grenzwertbetrachtung 1: Ausnutzung der zulässigen Spannungen im Füllmauerwerk 209
 - 8.2.2 Grenzwertbetrachtung 2: Ausnutzung der zulässigen Spannungen im Schalenmauerwerk 209
 - 8.2.3 Parameterstudie zur Validierung der Spannungsverteilungen 209
 - 8.3 Baugrund und Gründung 212
 - 9 Ausführungsplanung und Ausführung 213
 - 9.1 Injektionsmaßnahmen 213
 - 9.2 Nadelanker 213
 - 9.3 Spannanker 215
 - 9.4 Steinaustausch, Umgang mit gerissenen Steinen und Neuverfugung 215
 - 9.5 Oberflächenbehandlung 216
 - 9.6 Bauablauf 216
 - 10 Baubegleitende Messungen und weiterführendes Monitoring 217
 - 10.1 Baubegleitende Überprüfung des Injektionserfolgs und der Festigkeit im Füllmauerwerk 217
 - 10.2 Baubegleitende Distanz- und Temperaturmessungen 218
 - 10.3 Weiterführendes Monitoring 219
 - 11 Zusammenfassung 220
 - 12 Projektbeteiligte 220
 - Literatur 221
- C Konstruktive Details (Bauphysik)**
- C 1 Ausführung von Mauerwerkskonstruktionen 223**
Dieter Figge
- 1 Allgemeines 225
 - 2 Grundsätzliche Planungs- und Konstruktionsregeln 225
 - 2.1 Normen und Merkblätter 225
 - 2.2 Einflüsse auf die Dauerhaftigkeit des Mauerwerks 225
 - 2.2.1 Mikroumweltbedingungen 225
 - 2.2.2 Klimafaktoren (Makroumweltbedingungen) 227

- 2.2.3 Aggressive chemische Umgebungen 227
- 2.3 Auswahl der Baustoffe 228
 - 2.3.1 Mauersteine 228
 - 2.3.2 Mauermörtel 228
- 2.4 Mauerwerk 228
 - 2.4.1 Verarbeitung von Mauersteinen und Mauermörtel 228
 - 2.4.2 Grundsätzliches zu Mauerwerks-Verbänden 229
 - 2.4.3 Bewährte Regeln/Normmaße 230
 - 2.4.4 Anschlüsse 231
 - 2.4.5 Dehnungsfugen 234
 - 2.4.6 Toleranzen 236
- 3 Außenwände 236
 - 3.1 Dämmung von Außenwänden 236
 - 3.2 Sichtmauerwerk/Verblendmauerwerk 237
 - 3.2.1 Tragende Außenwände mit Sichtmauerwerk als Verbandsmauerwerk 237
 - 3.2.2 Verblend- oder Vormauerschale bei zweischaligem Außenmauerwerk 238
 - 3.2.3 Ausbildung der Mauerwerksfugen 238
 - 3.3 Anschlussdetails und Abdichtungen 240
 - 3.3.1 Dachanschluss 240
 - 3.3.2 Deckenaufleger 240
 - 3.3.3 Stürze 242
 - 3.3.4 Fenster- und Türanschlüsse 244
 - 3.3.5 Gesimse, Sohlbänke, Abdeckungen 245
 - 3.3.6 Fußpunkte im Erd- und im Kellergeschoss 247
- 4 Innenwände 248
 - 4.1 Tragende Innenwände 249
 - 4.1.1 Anforderungen 249
 - 4.1.2 Anschlüsse 249
 - 4.2 Nichttragende Innenwände 250
- C2 Mauerwerkinstandsetzung durch Verpressanker 263**
Birger Gigla
 - 1 Einführung 265
 - 2 Begriffe 265
 - 2.1 Verpressanker im Mauerwerk 265
 - 2.2 Verbundfestigkeit und Ankerwiderstand 266
 - 2.3 Erhaltung des kulturellen Erbes: Denkmalschutz und Denkmalverträglichkeit 267
 - 3 Bauweise von Verpressankern im Mauerwerk 268
 - 3.1 Anforderungen 268
 - 3.2 Bohrungen 270
 - 3.3 Ankerstäbe 270
 - 3.4 Korrosionsschutz 270
 - 3.5 Einbau der Ankerstäbe 271
 - 3.6 Verpresskörper 271
 - 3.7 Verpressen 272
 - 3.8 Weiterentwicklungen und Bauprodukte für Verpressanker 273
 - 4 Bemessung von Verpressankern 274
 - 4.1 Stand der Wissenschaft 274
 - 4.2 Versagensarten 276
 - 4.3 Maßgebende Einflussfaktoren 277
 - 4.3.1 Ankerstab 277
 - 4.3.2 Eigenschaften der Verpresssuspension 278
 - 4.3.3 Druckfestigkeit des Verpresskörpers 280
 - 4.3.4 Umgebendes Steinmaterial 281
 - 4.3.5 Vergleich zwischen Verpressankern und Stahlbetonbewehrung 283
 - 4.3.6 Auflasten 284
 - 4.3.7 Witterungseinfluss 285
 - 4.4 Bemessungswerte der Verbundfestigkeit 286
 - 5 Entwurf und Berechnung 287
 - 5.1 Voruntersuchungen 287
 - 5.2 Voraussetzungen für die Anwendung von Verpressankern 287
- 4.2.1 Anwendungsbereich und Anforderungen 250
- 4.2.2 Befestigungen an angrenzende Bauteile 254
- 4.2.3 Regeln für die schadensfreie Ausführung 254
- 5 Schlitz-/Durchbrüche 255
 - 5.1 Planen 255
 - 5.2 Nachträgliches Herstellen von Schlitzfenstern 255
- 6 Ausführung von Mauerwerk und Tipps für die Baustelle 256
 - 6.1 Prüfungspflicht 256
 - 6.2 Mischkonstruktionen 256
 - 6.3 Vollfugigkeit 256
 - 6.4 Nachbehandlung und Schutz des Mauerwerks während der Bauausführung 256
 - 6.4.1 Allgemeines 256
 - 6.4.2 Schutz gegen Regen 256
 - 6.4.3 Schutz gegen Frost-Tau-Wechsel 258
 - 6.4.4 Schutz gegen Austrocknung 258
 - 6.4.5 Schutz vor mechanischer Beschädigung 258
 - 6.4.6 Bauhöhe des Mauerwerks 259
 - 6.5 Zulässige Abweichungen 259
 - 6.6 Aussteifung während der Herstellung 259
 - 6.7 Erddruck auf Kelleraußenwände 259
 - 6.8 Lieferungskontrolle und Prüfungen 260
- 7 Hinweise zur Ausschreibung und Vergabe 261
 - 7.1 Notwendige Vorgaben 261
 - 7.2 Leistungsbeschreibung 261
 - 7.3 Vergabe 261
- Literatur 261

- 5.3 Wahl der Ankergeometrie und des Ankersystems 288
- 5.4 Erforderliche Nachweise 288
- 5.5 Bemessungsbeispiele 289
- 5.5.1 Ankerzugkraft in monolithischem Postler Sandstein 289
- 5.5.2 Instandsetzung von Bruchsteinmauerwerk aus Granit 290

- 5.5.3 Abdeckung von Schub im Ziegelmauerwerk 290
- 6 Qualitätssicherung 291
- 7 Zusammenfassung 296
- Literatur 296

C3 Befestigungen im Mauerwerksbau 299

Jürgen H.R. Künzlen, Eckehard Scheller, Rainer Becker, Thomas Kuhn, Thorsten Immel

- 1 Einleitung 303
 - 1.1 Allgemeines 303
 - 1.2 Eine reale Kommunikation zum Thema Dübel im privaten Umfeld 303
 - 1.3 Dübeltechnik für Profis 304
- 2 Baurecht 306
 - 2.1 Allgemeines 306
 - 2.2 Sicherheitsrelevante und nicht sicherheitsrelevante Befestigungen 306
 - 2.3 Bauaufsichtlich relevante und nicht bauaufsichtlich relevante Befestigungen 306
 - 2.4 Bauaufsichtlich relevanter Bereich 307
 - 2.4.1 Allgemeines 307
 - 2.4.1.1 Deutschland 307
 - 2.4.1.2 Europa 308
 - 2.4.2 Verwendbarkeitsnachweis 308
 - 2.4.2.1 Allgemeines 308
 - 2.4.2.2 CE-Kennzeichnung 308
 - 2.4.2.3 Ü-Zeichen 309
 - 2.4.2.4 Bauprodukte ohne Ü-Zeichen oder CE-Kennzeichnung 309
 - 2.4.2.5 Technische Baubestimmungen und allgemein anerkannte Regeln der Technik 309
 - 2.4.2.6 Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) 309
 - 2.4.2.7 Europäische Technische Bewertung (ETA) 309
 - 2.4.2.8 Zustimmung im Einzelfall (ZiE) 310
 - 2.4.2.9 Allgemeine (aBG) und vorhabenbezogene Bauartgenehmigung (vBG) 311
 - 2.5 Bauaufsichtlich nicht relevanter Bereich 312
- 3 Verankerungsgrund – Worin soll befestigt werden? 312
 - 3.1 Allgemeines 312
 - 3.2 Bestimmung des Verankerungsgrunds auf der Baustelle 312
 - 3.2.1 Bestimmung des Verankerungsgrunds anhand von Bauunterlagen 312
 - 3.2.2 Bestimmung des Verankerungsgrunds ohne Bauunterlagen mittels Probebohrung 313

- 4 Verankerungsgrund Mauerwerk im Detail 316
 - 4.1 Allgemeines 316
 - 4.1.1 Mauersteine 316
 - 4.1.2 Vermörtelte und unvermörtelte Fugen 316
 - 4.2 Mauersteine 317
 - 4.2.1 Mauerziegel: Vollziegel und Hochlochziegel 317
 - 4.2.2 Kalksandsteine: Kalksandvollsteine und Kalksandlochsteine 318
 - 4.2.3 Leichtbetonsteine: Vollblöcke und Hohlblöcke 319
 - 4.2.4 Porenbetonsteine 320
 - 4.2.5 Mauersteine aus Normalbeton: Vollblöcke und Hohlblocksteine 320
 - 4.3 Nachträglich gedämmte Untergründe 320
 - 4.4 Zweischalige Wandkonstruktionen: Zweischaliges Mauerwerk 322
- 5 Umgebung – Welche äußeren Einflüsse liegen vor? 323
 - 5.1 Allgemeines 323
 - 5.2 Temperatur 324
 - 5.3 Brand 325
 - 5.4 Korrosion 326
 - 5.4.1 Hinweise in den „Zulassungen“ für Dübel 326
 - 5.4.2 Ergänzende und weiterführende Informationen 326
- 6 Bauteilabmessungen – Wo wird der Dübel montiert? 326
 - 6.1 Definition wichtiger Begriffe und Maße im Bereich der Dübeltechnik 326
 - 6.2 (Mindest-)Bauteildicke 327
 - 6.3 Randabstand (c) 327
 - 6.3.1 Minimaler Randabstand (c_{min}) 327
 - 6.3.2 Charakteristischer Randabstand (c_{cr}) 327
 - 6.4 Achsabstand (s) 328
 - 6.5 Regelungen für zugelassene Kunststoffdübel 328
- 7 Anbauteil bzw. Ankerplatte – Was soll befestigt werden? 329
 - 7.1 Allgemeines 329
 - 7.2 Anbauteile bzw. Ankerplatten in der Theorie 329

- 7.3 Lagerung des Anbauteils 330
 - 7.3.1 Allgemeines 330
 - 7.3.2 Statisch bestimmte Lagerung des Anbauteils – Einzelbefestigung 331
 - 7.3.3 Statisch unbestimmte Lagerung des Anbauteils – Mehrfachbefestigung 332
 - 7.3.3.1 Allgemeines 332
 - 7.3.3.2 Unterscheidung tragender und nicht-tragender Systeme 333
 - 7.3.3.3 Steifigkeit des zu befestigenden Anbauteils 334
 - 7.3.3.4 Beanspruchungen für Mehrfachbefestigungen 334
 - 7.3.4 Zusammenfassung mit einem Beispiel 335
- 7.4 Durchgangslöcher im Anbauteil 335
- 7.5 Montagearten 336
- 7.6 Anbauteile bzw. Ankerplatten in der Praxis 336
- 8 Einwirkungen – Welche Belastungen treten bei der Befestigung auf? 337
 - 8.1 Allgemeines 337
 - 8.2 Belastungsrichtungen (Belastungsweise) 338
 - 8.3 Beanspruchungen (Belastungsarten) 338
 - 8.4 Bemessung ist Aufgabe des Planers! 339
 - 8.5 Beanspruchungen an einem Beispiel 339
 - 8.5.1 Allgemeines 339
 - 8.5.2 Statisches System 340
 - 8.5.3 Eigengewicht – Eigenlast 340
 - 8.5.4 Verkehrslasten 341
 - 8.5.5 Einwirkungen auf die Dübel infolge des Eigengewichts und der Verkehrslasten 341
 - 8.5.6 Ermüdungsrelevante Belastungen 342
 - 8.5.6.1 Allgemeines 342
 - 8.5.6.2 Beispiel Klimmzugstange 342
 - 8.5.7 Fazit 343
- 9 Dübel-Systeme – Welche Systeme stehen zur Verfügung? 343
 - 9.1 Vorbemerkung 343
 - 9.2 Kunststoffdübel 343
 - 9.3 Metall-Injektionsanker zur Verankerung im Mauerwerk 346
 - 9.4 Dübel-Systeme zur Verankerung im Porenbeton 348
- C4 Befestigung absturzsichernder Fenster 367**
Jürgen H.R. Küenzlen, Eckehard Scheller, Hermann Hamm, Rainer Becker, Thomas Kuhn
 - 1 Einleitung 371
 - 2 Aktuelle Regelungen für die Befestigung von absturzsichernden Fensterelementen 372
 - 2.1 Allgemeines 372
 - 2.2 Zusammenfassung auf der Internetseite des DIBt 372
 - 2.3 Musterbauordnung (MBO) und Landesbauordnungen (LBOen) 373
 - 2.4 DIN 18008, Teil 4 – Zusatzanforderungen an absturzsichernde Verglasungen 374
 - 2.5 ETB-Richtlinie – Bauteile, die gegen Absturz sichern 374
 - 2.5.1 Allgemeines und Einbaubereiche 374
 - 2.5.2 Horizontale, statische Lasten 374
 - 2.5.3 Stoßartige Belastung 374
 - 2.6 Leitfaden zur Planung und Ausführung der Montage von Fenstern und Haustüren für den Neubau und Renovierung 375
- 10 Bemessung 349
- 11 Montage 350
 - 11.1 Monteure: „Geschultes Personal“ 350
 - 11.2 Bohrer – Bohren – Bohrlochreinigung 350
 - 11.2.1 Allgemeines 350
 - 11.2.2 Bohrverfahren 351
 - 11.2.3 Bohrlochreinigung 351
 - 11.2.3.1 Allgemeines 351
 - 11.2.3.2 Bohrlochreinigung für Kunststoffdübel 352
 - 11.2.3.3 Bohrlochreinigung für Injektionssysteme 352
 - 11.2.4 Fehlbohrungen 353
 - 11.3 Temperatur – Montagezeit – Aushärtezeit 353
 - 11.4 Montageprotokoll 354
- 12 Typische Fehler und was man anders bzw. besser machen kann 354
 - 12.1 Allgemeines 354
 - 12.2 Umgebung – Korrosion 354
 - 12.3 Bauteil-Geometrie: Rand- und Achsabstände 355
- 13 Versuche am Bauwerk 356
 - 13.1 Einleitung 356
 - 13.2 Verantwortlichkeiten 356
 - 13.3 Technische Regel Durchführung und Auswertung von Versuchen am Bau 357
 - 13.4 Anwendungsbereiche 357
 - 13.5 Bedingungen für Achs- und Randabstände 358
 - 13.6 Handeln „im Rahmen der Zulassung“ 358
 - 13.7 Praxistipps 359
 - 13.7.1 Ort der Prüfungen 359
 - 13.7.2 Prüfvorrichtung 359
 - 13.7.3 Versuchsergebnisse 361
 - 13.7.4 Aufgabentrennung 361
- 14 Zusammenfassung – Wie löst man die Befestigungsaufgabe? 362
 - Literatur 362

3	Baurechtliche Grundlagen für die Befestigung am Bauwerk 376	6.4.3	Lastfall 3: Winddrucklast 390
3.1	Allgemeines 376	6.4.4	Lastfall 4: Horizontale Nutzlast in ideeller Holmhöhe 390
3.2	Grundlagen für den statischen Nachweis 376	6.4.5	Lastfall 5: Überlagerung horizontale Nutzlast plus Windsoglast 390
4	Beispiele für Produkte mit „Zulassung“ 377	6.4.6	Übersicht der maßgebenden Querkräfte für das Praxisbeispiel 1 391
4.1	Allgemeines 377	6.5	Statische Nachweise für Glied 4 der Nachweiskette: Befestigung des Fensterrahmens mit dem Direktbefestiger im Mauerwerk 391
4.2	Absturzsichernde Fensterelementbefestigung (W-ABZ) 377	6.5.1	Nachweis Lastfall 1: Stoßartige Lasten 392
4.3	AMO-Combi Schraube mit Kunststoff-Dübelhülse W-UR 10 XS oder W-UR 10 XXL 379	6.5.2	Nachweis Lastfall 5: Überlagerung horizontale Nutzlast (Holmlast) plus Windsog (nach außen wirkend) 392
4.4	Befestigungssystem BS 100 zur lastabtragenden und absturzsichernden Befestigung von Anbauteilen an Fensterrahmenprofilen 380	6.6	Fazit 392
5	Nachweisführung für die Befestigung 381	7	Praxisbeispiel 2 – Befestigung eines bodentiefen absturzsichernden Fensterelements mit Festverglasung mit einer Fenstermontageschiene – Nachweis der „Mehrfachbefestigung“ oder durch Versuche 392
5.1	Nachweis der horizontalen Nutzlast (Holmlast) 381	7.1	Allgemeine Hinweise 392
5.1.1	Lastannahmen für horizontale Nutzlasten (Holmlasten) 381	7.2	Zusammenstellung der erforderlichen Ausgangsdaten 392
5.1.2	Überlagerung von horizontaler Nutzlast (Holmlast) und Windlast 382	7.3	Einwirkungen 393
5.2	Nachweis der stoßartigen Belastung 383	7.3.1	Stoßartige Lasten nach ETB-Richtlinie (Außergewöhnliche Einwirkung) 393
5.2.1	Allgemeines 383	7.3.2	Windlasten 393
5.2.2	Anordnung der Befestigungspunkte zur Aufnahme der stoßartigen Belastung 383	7.3.3	Horizontale Nutzlast 393
5.2.3	Rechnerischer Nachweis 384	7.4	Ermittlung der maßgebenden Querkräfte für Befestigungspunkt (7) bzw. (8) für das zu untersuchende Dübel-System 394
5.2.4	Nachweis durch Versuche 384	7.4.1	Lastfall 1: Stoßartige Lasten 394
5.3	Mehrfachbefestigung von absturzsichernden Fensterelementen 384	7.4.2	Lastfall 2: Windsoglast 394
5.3.1	Im Allgemeinen: Mehrfachbefestigung von nichttragenden Systemen 384	7.4.3	Lastfall 3: Horizontale Nutzlast in ideeller Holmhöhe 394
5.3.2	Im Besonderen: Mehrfachbefestigung von absturzsichernden Fensterelementen 385	7.4.4	Lastfall 4: Überlagerung horizontale Nutzlast plus Windsoglast 394
5.4	Überleitung zu den Praxisbeispielen 1 und 2 387	7.4.5	Übersicht der maßgebenden Querkräfte für das Praxisbeispiel 2 394
6	Praxisbeispiel 1 – Befestigung eines bodentiefen absturzsichernden Fensterelements mit Festverglasung mit einem Direktbefestiger 387	7.5	Statische Nachweise für Glied 4 der Nachweiskette: Verbindung Fensterrahmen mit Fenstermontageschiene W-ABZ 394
6.1	Allgemeine Hinweise 387	7.6	Statische Nachweise für Glied 5 der Nachweiskette: Fenstermontageschiene W-ABZ 395
6.2	Zusammenstellung der erforderlichen Ausgangsdaten 388	7.6.1	Nachweis Lastfall 1: Stoßartige Lasten 395
6.3	Einwirkungen 388	7.6.2	Nachweis Lastfall 4: Überlagerung horizontale Nutzlast plus Windsog (nach außen wirkend) 395
6.3.1	Stoßartige Lasten nach ETB-Richtlinie (Außergewöhnliche Einwirkung) 388	7.7	Statische Nachweise für Glied 6 der Nachweiskette: Befestigung der W-ABZ mit Kunststoffdübel in Mauerwerk 395
6.3.2	Windlasten 389	7.7.1	Nachweis Lastfall 1: Stoßartige Lasten 395
6.3.3	Horizontale Nutzlast in ideeller Holmhöhe 389	7.7.1.1	ETB-Last 2,8 kN 395
6.3.4	Last aus 90° geöffnetem Fensterflügel 390	7.7.1.2	Lösungsmöglichkeit a): Nachweis einer „Mehrfachbefestigung“ 395
6.4	Ermittlung der maßgebenden Querkräfte für Befestigungspunkt (7) bzw. (8) für das zu untersuchende Dübel-System 390		
6.4.1	Lastfall 1: Stoßartige Lasten 390		
6.4.2	Lastfall 2: Windsoglast 390		

7.7.1.3	Lösungsmöglichkeit b): Nachweis durch Versuche	397	8.4.6	Lastfall 6: Last aus 90° geöffnetem Fensterflügel	404
7.7.2	Nachweis Lastfall 4: Überlagerung horizontale Nutzlast plus Windsog (nach außen wirkend)	398	8.4.7	Übersicht der maßgebenden Kräfte für das Praxisbeispiel 3	404
7.8	Fazit	398	8.5	Statische Nachweise für Glied 2 der Nachweiskette: Unmittelbare Glasbefestigung/Glaslagerung des Fenstergeländers in Befestigungspunkt (7) und (8)	404
8	Praxisbeispiel 3 – Befestigung eines bodentiefen absturzsichernden Fensterelements mit Drehkipplügel und auf dem Fensterrahmen aufgeschraubtem Fenstergeländer	399	8.5.1	Nachweis Lastfall 1: Stoßartige Lasten	404
8.1	Allgemeine Hinweise	399	8.5.2	Nachweis Lastfall 3 auf Grundlage abZ/aBG: Horizontale Nutzlasten	405
8.1.1	Ansatz 1	400	8.5.3	Nachweis Lastfall 5 auf Grundlage abZ/aBG: Eigengewicht aus Glasgeländer Typ BG015	405
8.1.2	Ansatz 2	400	8.5.4	Nachweis Lastfall 3 und Lastfall 5 auf Grundlage Systemstatik	405
8.2	Zusammenstellung der erforderlichen Ausgangsdaten	400	8.6	Statische Nachweise für Glied 3 der Nachweiskette: Verbindung des Geländers mit dem Fensterrahmen mit dem Befestigungssystem BS 100 in Befestigungspunkt (7) und (8)	407
8.3	Einwirkungen	401	8.7	Statische Nachweise für Glied 5 der Nachweiskette: Befestigung des Fensterrahmens mit dem Direktbefestiger im Mauerwerk	407
8.3.1	Stoßartige Lasten nach ETB-Richtlinie (Außergewöhnliche Einwirkung)	401	8.7.1	Nachweis Lastfall 1: Stoßartige Lasten	407
8.3.2	Windlasten	401	8.7.2	Nachweis Lastfall 4: Überlagerung horizontale Nutzlast plus Windsoglast (für Ansatz 2) für die Befestigungspunkte (7) und (8)	407
8.3.3	Horizontale Nutzlast	401	8.7.3	Nachweis Lastfall 5: 90° öffentlicher Fensterflügel für die Befestigungspunkte (1) und (11)	407
8.3.4	Eigengewicht aus Glasgeländer Typ BG015	402	9	Zusammenfassung	408
8.3.5	Last aus 90° geöffnetem Fensterflügel	402		Literatur	408
8.4	Ermittlung der maßgebenden Schnittkräfte für Befestigungspunkt (7) bzw. (8) sowie (1) und (11)	402		Anhang	410
8.4.1	Lastfall 1: Stoßartige Lasten	402			
8.4.2	Lastfall 2: Windsoglast	403			
8.4.2.1	Ansatz 1	403			
8.4.2.2	Ansatz 2	403			
8.4.3	Lastfall 3: Horizontale Nutzlast in ideeller Holmhöhe	403			
8.4.4	Lastfall 4: Überlagerung horizontale Nutzlast plus Windsoglast (für Ansatz 2)	403			
8.4.5	Lastfall 5: Eigengewicht aus Glasgeländer Typ BG015	403			

D Mauerwerk im Bestand

D 1 Nachhaltigkeitsbewertung von Wohngebäuden 415 Birger Gigla

1	Einleitung: Nachhaltigkeit und „einfacher Wohnungsbau“	417	4	Grundlagen der Ökobilanzierung (LCA)	427
2	Ziele am Beispiel des Wiederaufbaus der Frauenkirche Dresden – Urban Mining und ressourcenschonende Tragwerksplanung	418	4.1	Ziele	427
3	Grundlagen und Begriffe	420	4.2	Funktionelle Einheit und Referenzfluss	428
3.1	Politische Ziele und aktueller Stand	420	4.3	Nutzungsdauer RSL und ESL	428
3.2	Nachhaltigkeitsbewertung	421	4.4	Typ III Umweltproduktdeklaration (EPD)	429
3.3	Bundespolitische Maßnahmen (LFNB, BNB und QNG)	425	4.5	ÖKOBAUDAT und eLCA	431
3.4	Ressourceneffizienz und „Urban Mining“	427	4.6	Produktkategorieeregeln (PCR)	431
			4.7	Wirkungsabschätzung (LCIA)	432
			4.8	Allokation	434

5	Nachhaltigkeitsbewertung von Wohngebäuden 434	5.4	Einfluss der Betriebsphase 437
5.1	Ökobilanzierungsregeln und Beispiel 434	6	Zusammenfassung 439
5.2	Berechnungsbeispiel 435		Literatur 439
5.3	Bewertung auf Gebäudeebene 436		
D 2 Bauwerksdiagnostik als Grundlage für Sanierungskonzepte historischer Eisenbahngewölbebrücken 443			
Conrad Pelka, Erik Meichsner, Sven Unger, Johanna Monka-Birkner, Steffen Marx			
1	Einleitung 447	5	Bestands- und Zustandserfassung vor Ort 464
2	Errichtung historischer Eisenbahngewölbebrücken 447	5.1	Vorbemerkungen 464
2.1	Bogenformen 448	5.2	Bestandsbauwerk Imtaltviadukt 465
2.2	Stein und Mörtel 448	5.3	Vor-Ort-Untersuchungen 466
2.3	Gewölbeberechnung 448	5.3.1	Zugänglichkeit 466
2.4	Die Betrachtung von Eisenbahnbrücken veränderte sich 449	5.3.2	Mauerwerkskonstruktionen 466
2.5	Gelenke im Massivbrückenbau 449	5.3.3	Fahrbahnwanne 468
2.6	Abdichtung 449	5.3.4	Probenübergabe und Ergebnisaufbereitung 468
2.7	Gerüste 450	5.4	Erfahrungen aus dem Projekt 469
3	Dokumentation und erste Beurteilung auf Grundlage der Regelinspektion 450	6	Ermittlung der Materialparameter 469
3.1	Grundsätze der Inspektion von Ingenieurbauwerken im Eisenbahnverkehr (DB Netz AG) für Brückenbauwerke 450	6.1	Einführende Betrachtungen 469
3.1.1	Ziel und Nutzen der Inspektion 450	6.2	Materialparameter für die Bewertung der Tragfähigkeit 469
3.1.2	Dokumentation 451	6.3	Statistische Aspekte 471
3.1.3	Art und Umfang der Inspektion 451	6.4	Mechanische/physikalische Materialparameter 472
3.1.4	Befund 451	6.4.1	Naturstein 472
3.1.5	Verantwortung und fachliche Qualifikation 451	6.4.2	Ziegelstein 478
3.1.6	Inspektionsfristen und Maßnahmen nach der Inspektion 451	6.4.3	Mörtel 479
3.2	Inspektion am Beispiel einer historischen Eisenbahngewölbebrücke 452	6.4.4	Mauerwerksverbund 482
3.2.1	Ort und Lage des Bauwerks 452	6.5	Beispiel 482
3.2.2	Bestandsdokumente und Ist-Zustand 452	7	Bewertung und Diagnostik – Ableitung von Sanierungskonzepten 483
3.2.3	Soll-Zustand 457	7.1	Weg einer ressourcenschonenden Generalsanierung 483
3.2.4	Ableitung weiterführender Maßnahmen 457	7.2	Gewölbebrückenerfassung und -kategorisierung sowie erste Schadenszuordnung 484
3.3	Bewertung auf der Grundlage der Regelinspektion 458	7.2.1	Gewölbebrückenerfassung und -kategorisierung 484
4	Bauwerksdiagnostik (Stufe 1) 458	7.2.2	Erste Zuordnung von augenscheinlichen Schäden 485
4.1	Projektbezogene Untersuchungsplanung für die Bestands- und Zustandserfassung 458	7.2.3	Zuordnung von Einwirkungen zu Schadensbildern 485
4.1.1	Bestandsbauwerk/Bestandsdokumente 458	7.3	Ableitung von Sanierungskonzepten 490
4.1.2	Orientierende Bauwerksbesichtigung 459	7.3.1	Vorbereitungen der Bestandsstruktur 490
4.2	Untersuchungsplan 461	7.3.2	Rückenabdichtung nach Stand der Technik mit Sanierung der historischen Mauerwerksstruktur und Erneuerung des Dichtungs- und Entwässerungssystems 492
4.2.1	Lage der Untersuchungsbereiche, Kernbohrungen und Schürfen 462	7.3.3	Randbalkenergänzung mit Mauerwerksanierung und Erneuerung des Dichtungs- und Entwässerungssystems 493
4.3	Randbedingungen für die Untersuchung 462		
4.4	Erfahrungen aus dem Projekt 464		

- 7.3.4 Sanieren bei Abriss von Stirnwänden und Stirnringrissen sowie Erneuerung des Dichtungs- und Entwässerungssystems 494
- 7.3.5 Fahrbahnplatten mit oberliegendem Dichtungs- und Entwässerungssystem sowie Sanierung der geschädigten historischen Mauerwerksstruktur 494
- 7.3.6 Tragende Innenschale aus Stahlbeton, nur bei funktionierender oder erneuerter Bauwerksdichtung und -entwässerung 496
- 7.3.7 Innenschale aus Spritzbeton (tragend oder nicht tragend), nur bei funktionierender oder erneuerter Bauwerksdichtung und -entwässerung 497
- 8 Zusammenfassung und Ausblick 499
- 9 Dank 500
- Literatur 501

E Forschung

E1 Übersicht über abgeschlossene und laufende Forschungsvorhaben im Mauerwerksbau 505

Jonathan Schmalz, Simon Gille, Jennifer Gebhardt

- 1 Laufende Forschungsvorhaben 508
- 1.1 Übersicht der Forschungsvorhaben 508
- 1.2 Kurzberichte 508
- 1.2.1 Nachweis von Gebäuden aus Ziegelmauerwerk mit geringen Auflastniveaus 508
- 1.2.2 Verhalten von Stahlbetonrahmen mit entkoppelten Mauerwerksausfachungen und Öffnungen unter seismischen Einwirkungen 509
- 1.2.3 Bewertung flexibler und gleitender Anschlüsse für die erdbebensichere Auslegung von Stahlbetonrahmen-tragwerken mit Mauerwerksausfachungen (FLEJOI) 512
- 1.2.4 Seismische Leistungsfähigkeit eines resilienten Gebäudes aus Leichtbeton (ECORE – Earthquake efficient, Concrete, Resilient) 513
- 1.2.5 Entwicklung dissipativer Elemente zur Entkopplung und Sicherung von nicht-tragenden Wänden in Geschossbauten (DEMAS) 513
- 1.2.6 Entwicklung eines neuen Bemessungsansatzes für Mauerwerksbauten unter seismischen Horizontallasten 514
- 1.2.7 REALight – Leichtgranulate und REA-Gips aus feinkörnigen sulfatbelasteten Bau- und Abbruchabfällen und industriellen Nebenprodukten 515
- 1.2.8 Entwicklung eines innovativen Ansatzes zur Entkopplung von Ausfachungen und nichttragenden Trennwänden aus Mauerwerk von der Tragstruktur 519
- 1.2.9 Entwicklung eines vereinfachten rechnerischen Nachweisverfahrens zum Feuerwiderstandsverhalten von Ziegel-Mauerwerk 521
- 1.2.10 Untersuchung des Feuerwiderstands von teilflächenbelastetem monolithischem Ziegelmauerwerk 525
- 1.2.11 Stampflehm-Mauerwerk 526
- 2 Abgeschlossene Forschungsvorhaben 528
- 2.1 Übersicht der Forschungsvorhaben 528
- 2.2 Kurzberichte 528
- 2.2.1 Verbesserung der Energieeffizienz und Reaktivität durch separate Mahlung von Ziegelbrechsand für den Einsatz in Portlandpuzzolanementen 528
- 2.2.2 Experimentelle Untersuchungen des Einflusses geringer Auflasten auf das Schubtragverhalten von Ziegelmauerwerk 533

Stichwortverzeichnis 537

Autor:innenverzeichnis

Ambrecht, Katharina, Dipl.-Ing.

1997–2002 Studium des Technischen Umweltschutzes an der Technischen Universität Berlin, seit 2003 Abteilungsleiterin Umwelt und Energie beim Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e. V.

Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie,
Reinhardstr. 12–16, 10117 Berlin

Becker, Rainer, Dipl.-Ing.

1993 Bauingenieurstudium an der TU Dortmund, 2000–2013 wissenschaftlicher Mitarbeiter, 2013–2022 Gesellschafter-Geschäftsführer der fobatec GmbH, seit 2018 Gründungspartner der ISB Block und Becker beratende Ingenieure PartGmbH, seit 2022 Gesellschafter-Geschäftsführer der OPUS Engineering GmbH, seit 2001 (stellvertr.) Prüfstellenleiter „nachträgl. Bewehrungsanschlüsse“, seit 2007 Mitarbeit/seit 2013 bzw. 2015 Berufung in diverse DIBt-Sachverständigenausschüsse (Verankerungen und Befestigungen/WDVS).

OPUS Engineering GmbH, Edelstahlweg 5c,
44287 Dortmund

Böttges, Mark, Dipl.-Ing. Bauingenieur

Bauingenieurstudium an der RWTH Aachen, 2001 Diplom, 2003 Aufbaustudium Baudenkmalpflege an der FH Trier, 2003–2006 Mitarbeit bei HLG Ingénieurs Conseils Luxembourg, seit 2006 bei Barthel & Maus Beratende Ingenieure GmbH, seit 2012 Geschäftsführer, seit 2020 geschäftsführender Gesellschafter Kayser + Böttges | Barthel + Maus Ingenieure und Architekten GmbH.

Kayser + Böttges | Barthel + Maus Ingenieure und
Architekten GmbH, Infanteriestr. 11a,
80797 München

Eden, Wolfgang, Dr.-Ing.

1982–1988 Studium des Bauingenieurwesens an der Leibniz Universität Hannover, 1989–1991 Bauleiter bei Goldbeckbau/Lufthansa im Flugzeugdockbau, Promotion an der Universität Kassel im Fachbereich Werkstoffe des Bauwesens, seit 1991 Leiter Forschung, Technologie und Umwelt bei der Forschungsvereinigung Kalk-Sand e. V.

Forschungsvereinigung Kalk-Sand e. V.,
Entenfangweg 15, 30419 Hannover

Figge, Dieter, Dr.

Bauingenieurstudium Universität GHS Paderborn, 1978–1983 Technischer Leiter Ziegel- und Stahlbeton Fertigteilternehmen, 1984–1989 Bau- und Projektleitung in staatlichen und kommunalen Behörden, 1990–2000 Prokurist Ziegel- und Stahlbeton Fertigteilternehmen, 2000–2022 Geschäftsführer Technik eines Wirtschafts- und Arbeitgeberverbandes, seit 1990 Inhaber eines Ingenieurbüros für Tragwerksplanung, Bauphysik und Sachverständigenwesen.

Eggestraße 3, 34414 Warburg

Gebhardt, Jennifer, M.Eng.

Bauingenieurstudium (Bachelor und Master) an der HS Karlsruhe 2017–2022, seit 2022 wissenschaftliche Mitarbeiterin und Lehrbeauftragte an der HS Karlsruhe.

Hochschule Karlsruhe – University of Applied
Sciences (HKA), Moltkestr. 30, 76133 Karlsruhe

Gigla, Birger, Prof. Dr.-Ing.

Studium des Bauingenieurwesens an der TU Braunschweig und der ETH Zürich, 1993–1996 Ingenieurgesellschaft Wiederaufbau Frauenkirche Dresden, Prof. Wenzel und Prof. Jäger, 1996–1999 wiss. Mitarbeiter in der FG Mauerwerk des SFB 315 „Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke, Baugefüge, Konstruktionen“ an der Universität Karlsruhe (heute KIT), 1999 Promotion am Institut für Tragkonstruktionen der Universität Karlsruhe, seit 2000 Professor für Mauerwerkbau, Bauwerkserhaltung und Bauphysik an der TH Lübeck.

Technische Hochschule Lübeck, Fachbereich
Bauwesen, Mönkhofer Weg 239, 23562 Lübeck

Gille, Simon, M.Eng.

Bauingenieurstudium (Bachelor und Master) an der HS Karlsruhe 2017–2022, seit 2022 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der HS Karlsruhe.

Hochschule Karlsruhe – University of Applied
Sciences (HKA), Moltkestr. 30, 76133 Karlsruhe

Hamm, Hermann, Dipl.-Ing.

1984 Diplom-Bauingenieur an der Universität Kassel, 1984–1993 technischer Leiter/Geschäftsführer Stahlbau Fasshauer GmbH, 1993 bis heute Inhaber Ingenieurbüro für Baustatik Glas- und Stahlbau, seit 2019 Lehrbeauftragter für Glasbau und angewandte Baustatik an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg

(DHBW) Campus Mosbach, Fachbereich Fassadentechnik.

Ingenieurbüro für Baustatik, Glas- und Stahlbau
Dipl.-Ing. Hermann Hamm, Seestr. 9,
63571 Gelnhausen

Immel, Thorsten

1995–1998 Ausbildung zum Groß- und Außenhandelskaufmann bei der Firma Adolf Würth GmbH & Co. KG; 1998–2001 Verkauf Innendienst, 2002–2004 Technischer Fachwirt IHK, 2002 Trainer „Zertifizierter Befestigungstechniker“ (IWB Stuttgart), 2002–2010 Mitarbeiter in der Produkt- und Anwendungsberatung, seit Mai 2010 Mitarbeiter im akkreditierten Würth-Dübelprüflabor: Durchführung/Dokumentation von Versuchen sowie Erstellung von Anlagen für Dübelzulassungen, Durchführung von Dübel-Schulungen.

Adolf-Würth-GmbH & Co. KG,
Reinhold-Würth-Str. 12–17, 74653 Künzelsau

Istanbuly, Zakaria, M.Sc.

Studium des Bauingenieurwesens an der Leibniz Universität Hannover und 2022 Masterabschluss, seit 2023 Stellvertretender Leiter Forschungsvereinigung Kalk-Sand e. V. und Stellvertretender Leiter Prüf- und Forschungsinstitut.

Forschungsvereinigung Kalk-Sand e. V.,
Entenfangweg 15, 30419 Hannover

Kifinger, Peter, Dipl.-Ing. (Univ.) Architekt

Architekturstudium TU München (TUM), 2012 Diplom, seit 2012 Architekt und Bauforscher in der Denkmalpflege bei Kayser + Böttges | Barthel + Maus GmbH (2016 Aufnahme in die Bayer. Architektenkammer), 2013–2018 Korrekturassistent für Freihandzeichnen am Lehrstuhl f. Entwerfen und Gestalten – TUM, 2018–2019 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur f. Neuere Baudenkmalpflege, seit 2019 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl f. Baugeschichte – TUM.

Kayser + Böttges | Barthel + Maus Ingenieure und Architekten GmbH, Infanteriestr. 11a,
80797 München

Kreft, Oliver, Dr.

Studium der Chemie (Diplom) an der Freien Universität Berlin, 2003 Promotion zum Dr. rer. nat. an der Universität Potsdam, 2003–2008 tätig in der Grundlagenforschung im Bereich Oberflächen-/Grenzflächenchemie am Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung, seit 2008 in verschiedenen Funktionen tätig bei der Xella Technologie- und

Forschungsgesellschaft mbH – u. a. für Kreislaufwirtschaft. Mitarbeit in diversen Verbänden und Ausschüssen zum Thema Recyclingrohstoffe, Ressourceneffizienz und Kreislaufwirtschaft von Baustoffen.

Xella Technologie- und Forschungsgesellschaft mbH,
Hohes Steinfeld 1, 14797 Kloster Lehnin

Küenzlen, Jürgen H.R., Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) LL.M. M.A. M.A.

1993 Bauingenieurstudium an der TU Stuttgart, 1998 Wirtschaftsingenieurwesen-Studium HS Pforzheim, 1999 wiss. Mitarbeiter und stellv. Laborleiter am Institut für Werkstoffe an TU Stuttgart Fachbereich Befestigungstechnik, 2004 Produktmanager bei Würth, 2007 Weiterbildung zum Fachjournalisten, 2007 Fernstudium Personalentwicklung, 2021 Fernstudium Wirtschaftsrecht, 2022 Fernstudium Kommunikation, seit 2008 Projektleiter bei Würth.

Adolf-Würth-GmbH & Co. KG,
Reinhold-Würth-Str. 12–17, 74653 Künzelsau

Kuhn, Thomas, Dipl.-Ing.

2005 Diplom-Bauingenieur an der TU Kaiserslautern, 2005–2006 Produktentwicklung und Anwendungsberatung bei MKT GmbH & Co. KG, seit 2006 Mitarbeiter bei der Firma Adolf Würth GmbH & Co. KG, dort 2006–2007 Kundenseminare, 2008–2022 (stellvertr.) Leiter des akkreditierten Würth-Dübelprüflabors, 2022 Key Account Manager Dübeltechnik im Baustellen-Projekt-Management, seit 2023 Mitarbeiter der OPUS Engineering GmbH, seit 2011 Mitglied der TG2.9 – Fastenings to structural concrete and masonry des FIB.

OPUS Engineering GmbH, Edelstahlweg 5c,
44287 Dortmund

Marx, Steffen, Univ.-Prof. Dr.-Ing.

Bauingenieurstudium HAB Weimar, 1995–1999 wiss. MA an der Uni Weimar, 1999 Promotion, 1999–2001 Planungsing. bei BGS Ingenieursozietät, Dresden, 2001–2003 Teamleiter Konstruktiver Ing.-bau bei DE-Consult GmbH und DB ProjektBau GmbH, 2004–2005 Projektsteuerer, DB ProjektBau GmbH, dort 2005–2007 Arbeitsgebietsleiter Ingenieur- und Hochbau, 2007–2010 Hon.-Prof. für Mess- und Versuchstechnik, TU Dresden, 2010–2011 University of California San Diego, Visiting-Prof., seit 2011 Gründer und Gesellschafter „Marx Krontal Partner“, 2011–2020 Prof. Massivbau, Leibniz Universität Hannover, seit 2020 DB Netz AG – Stiftungsprof. für Ingenieurbau, Inst. für Massivbau, TU Dresden.

Technische Universität Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen, Institut für Massivbau,
01062 Dresden

Maus, Helmut, Dr.-Ing.

Bauingenieurstudium Universität Stuttgart, 1985 Forschungstätigkeit im Sonderforschungsbereich 315 „Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke“ – Universität Karlsruhe, Lehrstuhl für Tragwerkplanung, 1992 Promotion Universität Karlsruhe, seit 1992 selbstständig, 1996 Mitgründer des Ingenieurbüros Barthel & Maus Beratende Ingenieure GmbH, seit 2020 Mitgesellschafter des Ingenieurbüros Kayser + Böttges | Barthel + Maus GmbH, seit 2021 im Ruhestand.

Kayser + Böttges | Barthel + Maus Ingenieure und Architekten GmbH, Infanteriestr. 11a, 80797 München

Meichsner, Erik, Dipl.-Ing. (FH)

Bauingenieurstudium Fachhochschule Potsdam, Bauwerkserhaltung und Konstruktiver Ingenieurbau, seit 2006 Projektgenieur und Projektleiter

Marx Krontal Partner, 99425 Weimar

Monka-Birkner, Johanna, M.Sc.

Architekturstudium (Bachelor) Leibniz Universität Hannover, Architekturstudium (Master) RWTH Aachen, seit 2020 wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Massivbau, TU Dresden.

Technische Universität Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen, Institut für Massivbau, 01062 Dresden

Pelka, Conrad, M.Sc.

Bauingenieurstudium (Bachelor) HAWK Hildesheim, Konstruktiver Ingenieurbau (Master) Leibniz Universität Hannover, seit 2018 Mitarbeiter DB Netz AG KIB Portfolio Hannover und seit 2020 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Massivbau, TU Dresden, seit 2023 Mitarbeiter DB Netz AG Grundsätze Zentrale Berlin als Experte für Gewölbebrücken.

Technische Universität Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen, Institut für Massivbau, 01062 Dresden

Pohl, Sebastian, Dr.-Ing.

Studium Wirtschaftsingenieurwesen mit Fachrichtung Bauingenieurwesen an der TU Darmstadt, 2010–2014 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Massivbau der TU Darmstadt, 2014 Promotion, seit 2015 Mitglied der Geschäftsleitung und Gesellschafter der LCEE Life Cycle Engineering Experts GmbH, u. a. seit 2021 DGNB Senior Auditor.

LCEE Life Cycle Engineering Experts GmbH, Birkenweg 24, 64295 Darmstadt

Purkert, Benjamin, M.Sc.

Bauingenieurstudium TU Darmstadt, 2014–2015 Tragwerksplaner bei Bernhardt Ingenieure GmbH, 2015–2020 wiss. Mitarbeiter am Institut für Massivbau der TU Darmstadt, 2020–2021 Leiter Technik & Normung bei der Deutschen Gesellschaft für Mauerwerks- und Wohnungsbau e. V. (DGfM) sowie Geschäftsstellenleiter des Deutschen Ausschusses für Mauerwerk e. V., 2022–2023 Geschäftsführer des DAfM e. V.

Deutscher Ausschuss für Mauerwerk e. V. (DAfM), Kochstr. 6–7, 10969 Berlin

Rast, Ronald, Dr. sc. techn. Dr.-Ing.

1980–1984 Bautechnologiestudium, 1985 Promotion in Betontechnologie, 1990 Promotion in Baustoffwissenschaften, 1991–2001 Tätigkeit als Vertriebsleiter, Geschäftsführer und seit 1996 als Vorstand in der YTONG Deutschland AG, München und der Readmix AG, Ratingen; 2001–2004 Geschäftsführer der Haniel Baustoffe GmbH, Duisburg, 2003–2004 Sprecher der Geschäftsführung der Xella Technologie- und Forschungsgesellschaft mbH, Lehnin; 2004–2023 Geschäftsführer DGfM, Berlin; seit 2005 Mitglied NA-Bau-Beirat im DIN u. a.

Ingenieurbüro Dr. Rast, Mühlendamm 13a, 14778 Golzow

Raupach, Michael, Univ.-Prof. Dr.-Ing.

1993–1996 Geschäftsführer des Ing.-Büros Sasse + Schießl + Fiebrich + Raupach in den Bereichen Baustoffe und Bauwerkserhaltung. 1997–1999 Inhaber und Geschäftsführer des Ingenieurbüros Prof. Schießl + Dr. Raupach Consulting + Engineering und Geschäftsführer der S+R Sensortec GmbH. Im Jahr 2000 Berufung zum Universitätsprofessor an die RWTH Aachen University. Gegenwärtig dort Leiter des Lehrstuhls für Bauwerkserhaltung und des Instituts für Baustoffforschung, ibac. Seit 2008 Mitinhaber des Ingenieurbüros Raupach Bruns Wolff GmbH.

Institut für Baustoffforschung der RWTH Aachen University (ibac), Schinkelstr. 3, 52062 Aachen

Saenger, Dorothea, Dipl.-Ing.

Bauingenieurstudium an der RWTH Aachen University, 2008–2020 wiss. Mitarbeiterin und 2018–2020 Leiterin der Arbeitsgruppe Mauerwerk am Institut für Baustoffforschung der RWTH Aachen University (ibac). Seit 2022 Dozentin für Mauerwerk (Masterstudium) an der RWTH Aachen University.

Institut für Baustoffforschung der RWTH Aachen University (ibac), Schinkelstr. 3, 52062 Aachen

Scheller, Eckehard, Dipl.-Ing. (FH)

Holzmechaniker-Ausbildung und Gesellentätigkeit ab 1987, 1992 Bauingenieur-Studium an der TFH-Berlin, ab 1996 Tragwerksplaner im Büro Pichler Ingenieure GmbH Berlin, ab 2001 Technischer Angestellter im DIBt, Referat „Verankerungen und Befestigungen, Treppen“, ab 2012 Projektleiter Technisches Marketing Befestigungstechnik bei der Adolf Würth GmbH & Co. KG, ab 2018 Leiter Technik und Normung bei der DGFm, parallel dazu Leiter der Geschäftsstelle für den DAFm, seit 2019 Mitarbeiter der ISB.

ISB Block und Becker Beratende Ingenieure
PartGmbH, Alarichstr. 44f, 44803 Bochum

Schmalz, Jonathan, M.Eng.

Bauingenieurstudium (Bachelor und Master) an der OTH-Regensburg 2017, seit 2017 wissenschaftlicher Mitarbeiter im Labor für Konstruktiven Ingenieurbau der OTH-Regensburg

Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg/
Labor für den Konstruktiven Ingenieurbau,
Galgenbergstr. 30, 93053 Regensburg

Schoch, Torsten, Dipl.-Ing.

Bauingenieurstudium, seit 1992 in der Baustoffindustrie tätig, nach Stationen in der Projektentwicklung und Bautechnik der Ytong AG seit 2006 CEO der Xella Technologie- und Forschungsgesellschaft mbH in Kloster Lehnin. In verschiedenen nationalen und internationalen Normungsausschüssen tätig, Vorstandsmitglied des Verbandes Bauen in Weiß, Generalsekretär und Vorsitzender des Technischen Ausschusses des Europäischen Verbandes der Porenbetonindustrie (EAACA), Vorsitzender des Technischen Ausschusses des BBS, Mitglied des Präsidiums im Deutschen Ausschusses für Mauerwerk, seit 2016 im DIN-Präsidium, Mitglied im Kuratorium des Fraunhofer IBP.

Xella Technologie- und Forschungsgesellschaft mbH,
Hohes Steinfeld 1, 14797 Kloster Lehnin

Straube, Berit, Dr.

Studium der Werkstoffwissenschaft an der Bergakademie Freiberg, 1991–2000 wissenschaftliche Mitarbeiterin an der TU Ilmenau mit Promotion am Institut für Glas- und Keramik-Technologie 1997, seit 2001 im Unternehmen Hebel Porenbeton/Xella Technologie- und Forschungsgesellschaft mbH in verschiedenen Funktionen, seit 2013 Mitarbeit in nationalen und europäischen Normungsgremien, seit 2015 Convener der Working Group „Material Properties“ bei EAACA.

Xella Technologie- und Forschungsgesellschaft mbH,
Gregor-von-Brück-Ring 9 A, 14822 Brück

Unger, Sven, Dipl.-Ing. (FH)

Bauingenieurstudium HTW Dresden. Im Anschluss 20 Jahre bei der DB AG tätig, zuletzt als Arbeitsgebietsleiter. Seit 2002 Materialgutachter für Mauerwerk und Beton, u. a. 2009 Göltzschtalviadukt (weltgrößte Ziegelbrücke). Nunmehr seit 2018 Leiter des Bereichs Bausubstanz/Bauwerksdiagnostik bei Baugrund Dresden Ingenieurgesellschaft mbH.

Baugrund Dresden, Ingenieurgesellschaft mbH,
Kleistkarree, Kleiststraße 10a, 01129 Dresden

Walberg, Dietmar, Prof.

Studium in Berlin und Kiel bis 1991, Dipl.-Ing. Architekt, bis 2000 Projektleitender Architekt in Rastede, Berlin und Kiel, seit 2000 bei der ARGE e. V.; seit 2010 dort Geschäftsführer, Hon.-Prof. an der TH Lübeck, Mitglied des Lenkungsremiums Grund- und Planungsnormen NA Bau beim DIN und der Baukostensenkungskommission des Bundes beim BMUB, Wissenschaftliche Unterstützung der Bundesregierung zur Baukostensenkung (mit INWIS)/BBSR/BMI, Begleitkreis für die Prüfung der Kostenauswirkungen von Baunormen auf den Wohnungsbau und Einsparpotenziale – Umsetzung von Empfehlungen der Baukostensenkungskommission/BMI, Begleitkreis Serielles und Modulares Bauen beim GdW.

Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e. V.,
Walkerdamm 17, 24103 Kiel

Walther, Hartmut, Dr.

Studium der Mineralogie und Geologie an der Bergakademie Freiberg und der Universität Greifswald, 1990–1996 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TU Bergakademie Freiberg, dabei mehrmonatige Forschungsaufenthalte an der Karlsuniversität Prag und der University of Melbourne, Promotion 1993 an der TU Bergakademie Freiberg, seit 1997 Ytong AG/Xella Technologie- und Forschungsgesellschaft mbH, seit 2008 Convener der Working Group „Environment“ bei EAACA.

Xella Technologie- und Forschungsgesellschaft mbH,
Gregor-von-Brück-Ring 9 A, 14822 Brück

Winkels, Bernd, Dipl.-Ing.

Bauingenieurstudium an der RWTH Aachen University, seit 2013 wiss. Mitarbeiter in den Arbeitsgruppen Mauerwerk sowie Erhaltung und Instandsetzung (Themengebiet Mauerwerk) am Institut für Baustoffforschung der RWTH Aachen University (ibac).

Institut für Baustoffforschung der RWTH Aachen
University (ibac), Schinkelstr. 3, 52062 Aachen

Herausgeber

Prof. Dr.-Ing. Eric Brehm
Hochschule Karlsruhe
Technik und Wirtschaft
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe

Prof. Dr.-Ing. Detleff Schermer
Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg
Galgenbergstraße 30
93053 Regensburg

Verlag

Ernst & Sohn GmbH
Rotherstraße 21, 10245 Berlin
Tel. (030) 47031-200
E-Mail: info@ernst-und-sohn.de
www.ernst-und-sohn.de

A Normen und Baustoffe

**A 1 Eigenschaften und Eigenschaftswerte von
Mauersteinen, Mauermörtel und Mauerwerk**

Michael Raupach, Dorothea Saenger und Bernd Winkels

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3	6	Mauerwerk	10
2	Mauersteine	3	6.1	Allgemeines	10
2.1	Festigkeitseigenschaften	3	6.2	Festigkeitseigenschaften	10
2.1.1	Druckfestigkeit in Steinhöhe	3	6.2.1	Druckfestigkeit senkrecht zu den Lagerfugen	10
2.1.2	Druckfestigkeit in Steinlänge und -breite	3	6.2.2	Druckfestigkeit parallel zu den Lagerfugen	11
2.1.3	Zug- und Spaltzugfestigkeit	3	6.2.3	Zugfestigkeit	11
2.2	Verformungseigenschaften	4	6.2.4	Biegezugfestigkeit	13
2.2.1	Elastizitätsmoduln	4	6.2.5	Schubfestigkeit	13
2.2.2	Querdehnungsmodul, Querdehnzahl	4	6.3	Verformungseigenschaften	14
2.3	Kapillare Wasseraufnahme	5	6.3.1	Elastizitätsmoduln	14
3	Mauermörtel	6	6.3.2	Feuchtedehnung, Kriechen, Wärmedehnung	15
3.1	Festigkeitseigenschaften	6		Literatur	15
3.1.1	Druckfestigkeit	6			
3.1.2	Zugfestigkeit	6			
3.2	Längs- und Querdehnungsmoduln	6			
4	Mauermörtel im Mauerwerk	6			
5	Verbund zwischen Mauerstein und Mauermörtel	8			
5.1	Allgemeines	8			
5.2	Haftscherfestigkeit	8			
5.3	Haftzug- und Biegehaftzugfestigkeit	9			

1 Einleitung

Der vorliegende Beitrag wurde von Dr. Peter Schubert[†] am Institut für Baustoffforschung der RWTH Aachen University (ibac) ab dem Jahr 1989 verfasst und ab dem Jahr 2013 durch Prof. Wolfgang Brameshuber[†] fortgeführt. Die Autoren haben ihn neu aufbereitet.

In den nachfolgenden Abschnitten werden die wesentlichen Festigkeits- und Verformungseigenschaften von Mauersteinen, Mauermörtel und Mauerwerk jeweils kurz hinsichtlich Bedeutung und Prüfverfahren beschrieben und – soweit möglich und sinnvoll – Eigenschaftswerte angegeben. Diese beruhen auf Auswertungen von Daten tatsächlich geprüfter Materialien und Materialkombinationen, entstanden in zahlreichen Forschungsvorhaben am ibac bzw. zusammengetragen im Rahmen ergänzender Literaturrecherchen.

Es wird deutlich, dass aufgrund der vielfältigen Materialien und Kombinationsmöglichkeiten eine große Bandbreite an Eigenschaftswerten entsteht. In Normen und allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen werden anzusetzende Eigenschaftswerte bzw. Mindesteigenschaftswerte festgelegt. Die hier aufgeführten 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 bei genaueren Nachweisen für die Tragfähigkeit von Bauwerken. In Grenzfällen können durch einen ingenieurmäßig überdachten Ansatz geeigneter Kennwerte vorhandene Baustoffreserven ausgenutzt werden.

2 Mauersteine

2.1 Festigkeitseigenschaften

2.1.1 Druckfestigkeit in Steinhöhe

Die Druckfestigkeit in Richtung Steinhöhe ist eine der wesentlichen Kenngrößen von Mauersteinen. Die Prüfung der Druckfestigkeit kann nach DIN EN 772-1 [16] an ganzen Mauersteinen erfolgen.

2.1.2 Druckfestigkeit in Steinlänge und -breite

Bei einigen Beanspruchungen von Mauerwerkbauteilen bzw. Bauteilbereichen, wie Scheibenschub, Biegung (Biegedruckzone) oder Teilflächenbelastung senkrecht zur Wandebene, können die Mauersteine in Richtung Steinlänge bzw. -breite auf Druck beansprucht werden. Die Prüfung der Druckfestigkeit in diese Richtungen kann in Anlehnung an DIN EN 772-1 [16] an ganzen Mauersteinen erfolgen.

Die Druckfestigkeit in Richtung Steinlänge und -breite ist im Allgemeinen, insbesondere bei Lochsteinen, kleiner als in Richtung Steinhöhe. Vollsteine weisen herstellungsbedingt (Pressen, Strangpressen, Rüttel-

verdichtung oder Treiben) eine leichte Anisotropie auf. Die Form der Mauersteine hat ebenfalls einen großen Einfluss auf die Prüfwerte der Steindruckfestigkeit. Bei Lochsteinen resultieren kleinere Druckfestigkeitswerte aus dem Lochanteil, der Form der Lochung, der Lochanordnung etc.

Anhaltswerte von Druckfestigkeitsverhältnissen Steinlänge/Steinhöhe sind in [1] angegeben. Aus [1] lassen sich folgende Zusammenhänge ableiten: Für Hochlochziegel und Leichtbetonhohlblöcke kann erwartungsgemäß kein Zusammenhang zwischen der Druckfestigkeit in Steinhöhe und der Druckfestigkeit in Steinlänge festgestellt werden. Für Porenbetonsteine ergibt sich mit zunehmender Steindruckfestigkeit eine Abnahme des Druckfestigkeitsverhältnisses Steinlänge/Steinhöhe. Bei Mauerziegeln sowie Kalksandvoll- und -lochsteinen bleibt dagegen das Druckfestigkeitsverhältnis Steinlänge/Steinhöhe mit zunehmender Steindruckfestigkeit weitestgehend konstant.

2.1.3 Zug- und Spaltzugfestigkeit

Die Zugfestigkeit ist ebenfalls eine wesentliche Kenngröße von Mauersteinen. Die maßgebende Richtung hängt von der ausgeübten Mauerwerkbeanspruchung ab. Aus einer Druckbeanspruchung von Mauerwerk resultieren – aufgrund des entstehenden mehraxialen Spannungszustands – Zugspannungen im Mauerstein in Richtung Steinbreite und -länge, während durch eine Schub- bzw. Biegebeanspruchung von Mauerwerk Zugspannungen im Mauerstein in Richtung Steinhöhe bzw. -länge hervorgerufen werden.

Die Prüfung der Zugfestigkeit ist nicht normativ geregelt. Je nach Anisotropie, Form und Lochung unterscheiden sich i. d. R. auch die Zugfestigkeitswerte richtungsabhängig.

Tabelle 1 gibt den Stand der Auswertung nach [2] wieder. Die in Richtung Steinlänge bestimmten Zugfestigkeitswerte sind als Verhältniswerte bezogen auf die in Richtung Steinhöhe geprüften Druckfestigkeitswerte angegeben. In Tabelle 1 sind zudem rechnerische Steinzugfestigkeitswerte bezogen auf die umgerechnete mittlere Steindruckfestigkeit nach DIN EN 1996-1-1/NA [17] aufgeführt. Bei diesen Werten handelt es sich um charakteristische Werte.

Mithilfe der angegebenen Verhältniswerte $f_{bt,cal}/f_{st}$ kann die rechnerische Steinzugfestigkeit für die Ermittlung der charakteristischen Biegezug- und Schubfestigkeit bei Steinzugversagen abgeschätzt werden, vgl. Abschnitte 6.2.4 und 6.2.5. Für Porenbetonsteine wird der Verhältniswert in Abhängigkeit der Steindruckfestigkeit angegeben. Der in der Berechnungsformel enthaltene „charakteristische“ Verhältniswert Steinzug-/Steindruckfestigkeit von 0,082 ist das Ergebnis einer Literaturlauswertung. Für die Herleitung des Verhältniswertes wurden 26 Versuche an Porenbetonplansteinen mit unterschiedlichen Abmessungen herangezogen. Der Faktor $1/1,25 = 0,8$ resultiert aus der Umrechnung der Steindruckfestigkeit in die mittlere Mindeststeindruckfestigkeit f_{st} . Der Faktor $1/(0,7 +$

Tabelle 1. Mauersteine; Verhältniswerte Steinzug-/Steindruckfestigkeit (nach [17] bzw. [2])

Steinart/-sorte	$f_{bt,cal}/f_{st}$	Steinart/-sorte	$\beta_{z,l}/\beta_{D,st,prüf}$		
			Mittelwert	Wertebereich	n
Hohlblocksteine	0,020	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 und Steine mit Grifflöchern (GL) oder Griffaschen	0,026	HLz	0,03	0,013 ... 0,041	20
		LHLz	0,01	0,002 ... 0,019	54
		KS L	0,035	0,026 ... 0,055	19
		KS (GL)	0,045	0,027 ... 0,065	24
Vollsteine ohne Grifflöcher oder Griffaschen	0,032	KS	0,063	0,039 ... 0,081	18
		Mz	0,04	0,01 ... 0,08	9
		V/Vbl 2	0,11	0,06 ... 0,18	16
		V/Vbl ≥ 4	0,07	0,05 ... 0,09	7
Porenbetonsteine	$\frac{0,082}{1,25} \cdot \frac{1}{0,7 + \left(\frac{f_{st}}{25}\right)^{0,5}}$ 1)	PB/PP 2	0,18	0,13 ... 0,20	7
		PB/PP 4, 6, 8	0,11	0,09 ... 0,13	8

1) Gleichung gilt für Porenbetonplansteine der Länge ≥ 498 mm und der Höhe ≥ 248 mm

$f_{bt,cal}$ angenommene rechnerische Steinlängszugfestigkeit nach [17] in N/mm²

f_{st} umgerechnete mittlere Steindruckfestigkeit nach [17] in N/mm²

$\beta_{z,l}$ Prüfwert der Steinzugfestigkeit in N/mm²

$\beta_{D,st,prüf}$ Prüfwert der Steindruckfestigkeit in Richtung Steinhöhe (ohne Formfaktor) in N/mm²

n Anzahl der Versuchswerte

$(f_{st}/25)^{0,5}$) stellt eine Abminderung von $f_{bt,cal}$ für Steine mit höheren Festigkeiten (größer als Steinfestigkeitsklasse 2) dar. Er ist ungefähr 1 für die Steinfestigkeitsklasse 2 und nimmt mit höheren Festigkeitsklassen ab. Um die Verhältniswerte $\beta_{z,l}/\beta_{D,st,prüf}$ für den Nachweis der Biegezug- und Schubtragfähigkeit ansetzen zu können, sind die Prüfwerte jeweils noch in charakteristische Werte umzurechnen. In Grenzfällen können durch Ansatz dieser Werte ggf. vorhandene Baustoffreserven ausgenutzt und höhere Biegezug- bzw. Schubfestigkeiten erzielt werden.

In bestimmten Fällen kann das Heranziehen der Spaltzugfestigkeit zur Abschätzung der Zugfestigkeit von Vollsteinen von Vorteil sein. Als Anhaltswert kann näherungsweise ein Verhältniswert Spaltzugfestigkeit $\beta_{z,l}$ zu Zugfestigkeit $\beta_{z,l}$ zwischen 1,1 und 1,3 angenommen werden, vgl. [1].

2.2 Verformungseigenschaften

2.2.1 Elastizitätsmodul

Der Elastizitätsmodul gibt das Verhältnis der einwirkenden Spannung zur resultierenden elastischen Dehnung an und ist allgemein bei Mauerwerk als Sekantenmodul bei einem Drittel der Höchstspannung unter einmaliger Belastung definiert. Der Druck-E-Modul von Mauersteinen wird im Druckversuch in Steinhöhe

ermittelt. Der Zug-E-Modul von Mauersteinen wird in einaxialen Zugversuchen, meist in Steinlänge, bestimmt.

Der Elastizitätsmodul von Mauersteinen beeinflusst die Steifigkeit von Mauerwerk maßgeblich. Für eine erste Abschätzung des Druck-E-Moduls von Kalksand- und Porenbetonsteinen können nach [1] die in Tabelle 2 angegebenen Regressionsgleichungen angesetzt werden. Zusammenhänge zwischen dem Zug-E-Modul und der Steinzugfestigkeit bei einer Zugbeanspruchung in Steinlänge bzw. zwischen dem Zug-E-Modul und dem Druck-E-Modul werden in [1] angegeben. Diese sind ebenfalls in Tabelle 2 zusammengestellt.

2.2.2 Querdehnungsmodul, Querdehnzahl

Zur Bestimmung des Querdehnungsmoduls von Mauersteinen unter einer Druckbeanspruchung in Richtung Steinhöhe wird die Spannung auf die zugehörige, quer zur Belastungsrichtung, d. h. in Richtung Steinlänge bzw. -breite, gemessene Dehnung bezogen.

Diese Kenngröße ist von maßgebender Bedeutung für die Drucktragfähigkeit von Mauerwerk. Bei einem ungünstigen Verhältnis der Querdehnungsmoduln von Mauermörtel und Mauerstein wird der Mauerstein stärker auf Zug beansprucht, was die Druckfestigkeit des Mauerwerks reduziert. Werte für den Querdehn-