

Inhaltsübersicht

A Baustoffe • Bauprodukte

- I Eigenschaften und Eigenschaftswerte von Mauersteinen, Mauermörtel und Mauerwerk 3
Michael Raupach, Dorothea Saenger und Bernd Winkels, Aachen
- II Neuentwicklungen im Mauerwerksbau mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ) bzw. mit allgemeiner Bauartgenehmigung (aBG) 17
Roland Hirsch, Berlin, Ludwig Wingerter, Karlsruhe, und Eric Brehm, Bensheim

B Konstruktion • Bauausführung • Bauwerkserhaltung

- I Ermittlung der Tragfähigkeit von Kunststoffdübeln und Metall-Injektionsankern durch Versuche am Bauwerk 41
Eckehard Scheller, Berlin, Jürgen H.R. Künzlen und Thomas Kuhn, Künzelsau, Rainer Becker, Dortmund
- II Mauerwerk aus Fertigteilen 143
Dieter Figge, Warburg
- III Veränderung der Tragstrukturen von historischen Mauerwerksgewölben am Beispiel der Erschließung Wilhelmsburg in Ulm 163
Wolfgang Finckh und Hilmar Quantz, Kempten
- IV Erfolgreiche Digitalisierung im Mauerwerksbau – eine multidisziplinäre Unternehmensaufgabe für Baustoffhersteller 197
Markus Heße, Michael Leicht, Alexander Brunst, Andreas Radischewski, Sebastian Kulle und Christian Peter Hille, Duisburg
- V Ziegel aus dem 3D-Drucker 221
Martin Wilfinger und Ulrich Knaack, Darmstadt, Holger Strauß, Frankfurt, und Thomas Fehlhaber, München
- VI Mauerwerksroboter für die Baustelle – internationaler Stand 241
Eric Brehm und Christian Wurl, Karlsruhe
- VII Standsicherheitsuntersuchungen von Mauerwerkstrukturen mithilfe von stochastischen numerischen Simulationen 249
Roger Schlegel, Weimar
- VIII Eine aus der Notwendigkeit geborene Idee – Betonhohlblocksteine für den Mauerwerksbau in informellen Siedlungen und deren bautechnische Umsetzung 261
Oliver von Malm, Gerrit Dittrich, Marcel Enzweiler, Ivana Bivic und Florian Weininger, München, Andreas Saxer, Christoph Waltl, Matthias Egger und Jürgen Feix, Innsbruck, Frank Ilg, Fabian Meyer-Brötz und Jürgen Mayer, Weißenhorn, sowie Jonas Klein und Tilo Proske, Darmstadt

C Bemessung

- I Hilfsmittel zur vereinfachten Mauerwerksbemessung 301
Valentin Förster, Frankfurt am Main, Benjamin Purkert und Carl-Alexander Graubner, Darmstadt
- II Erdbebenbemessung bei Mauerwerksbauten 329
Christoph Butenweg, Aachen, Christoph Gellert, Herzogenrath, und Udo Meyer, Berlin

D Forschung

- I Übersicht über abgeschlossene und laufende Forschungsvorhaben im Mauerwerksbau 359
Jonathan Schmalz, Regensburg, und Ludwig Wingerter, Karlsruhe

VI Inhaltsübersicht

E Normen • Zulassungen • Regelwerk

- I Mauerwerksbau mit vorhabenbezogener Bauartgenehmigung bzw. mit Zustimmung im Einzelfall 393
Hans-Alexander Biegholdt, Leipzig
- II Geltende Technische Regeln für den Mauerwerksbau (Deutsche, Europäische und Internationale Normen)
(Stand 30.11.2020) 403
Nanjie Hu und Benjamin Purkert, Berlin

Stichwortverzeichnis 421

Anbieterverzeichnis 437

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	III
Autoren	XVII
A Baustoffe • Bauprodukte	
I Eigenschaften und Eigenschaftswerte von Mauersteinen, Mauermörtel und Mauerwerk	3
Michael Raupach, Dorothea Saenger und Bernd Winkels, Aachen	
1 Einleitung	3
2 Eigenschaftswerte von Mauersteinen ...	3
2.1 Festigkeitseigenschaften	3
2.1.1 Druckfestigkeit in Steinhöhe	3
2.1.2 Druckfestigkeit in Steinlänge und -breite	3
2.1.3 Zug- und Spaltzugfestigkeit	4
2.2 Verformungseigenschaften	4
2.2.1 Druck-Elastizitätsmodul	4
2.2.2 Querdehnungsmodul, Querdehnzahl ...	5
2.2.3 Zug-Elastizitätsmodul	5
2.3 Kapillare Wasseraufnahme	5
3 Eigenschaftswerte von Mauermörteln ..	6
3.1 Festigkeitseigenschaften	6
3.1.1 Druckfestigkeit	6
3.1.2 Zugfestigkeit	6
3.2 Verformungseigenschaften	6
3.2.1 Längsdehnungsmodul	6
3.2.2 Querdehnungsmodul	6
4 Eigenschaftswerte von Mauermörtel im	6
Mauerwerk	6
5 Verbundeigenschaftswerte zwischen	5
Mauerstein und Mauermörtel	7
5.1 Allgemeines	7
5.2 Haftscherfestigkeit	8
5.3 Haftzug- und Biegehaftzugfestigkeit	9
6 Eigenschaftswerte von Mauerwerk	9
6.1 Allgemeines	9
6.2 Festigkeitseigenschaften	10
6.2.1 Druckfestigkeit senkrecht zu den	6.2.1
Lagerfugen	10
6.2.2 Druckfestigkeit parallel zu den	6.2.2
Lagerfugen	11
6.2.3 Zugfestigkeit	11
6.2.4 Biegezugfestigkeit	12
6.2.5 Schubfestigkeit	13
6.3 Verformungseigenschaften	14
6.3.1 Elastizitätsmoduln	14
6.3.2 Feuchtedehnung, Kriechen,	6.3.2
Wärmedehnung	15
7 Literatur	15
II Neuentwicklungen im Mauerwerksbau mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ) bzw. mit allgemeiner Bauartgenehmigung (aBG)	17
Roland Hirsch, Berlin, Ludwig Wingerter, Karlsruhe, und Eric Brehm, Bensheim	
0 Allgemeines	19
0.1 Gesonderte Regelungen zu Schlitzen ...	19
0.1.1 Vertikalschlitze	19
0.1.2 Horizontalschlitze	19
1 Mauerwerk mit Normal- oder	19
Leichtmauermörtel	19
2 Mauerwerk mit Dünnbettmörtel	20
3 Mauerwerk mit Mittelbettmörtel	28
4 Vorgefertigte Wandtafeln	28
5 Geschosshohe Wandtafeln	30
6 Schalungsstein-Bauarten	30
7 Trockenmauerwerk	31
8 Mauerwerk mit PU-Kleber	31
9 Bewehrtes Mauerwerk	31
10 Ergänzungsbauteile	31
11 Literatur	37
12 Bildnachweis	38

VIII Inhaltsverzeichnis

B Konstruktion • Bauausführung • Bauwerkserhaltung

I	Ermittlung der Tragfähigkeit von Kunststoffdübeln und Metall-Injektionsankern durch Versuche am Bauwerk	41		
	Eckehard Scheller, Berlin, Jürgen H.R. Küenzlen und Thomas Kuhn, Künzelsau, Rainer Becker, Dortmund			
1	Einleitung	41	5.2.5.2	Bestimmung des Verankerungsgrunds bei einem Neubau
2	Grundlagen für Versuche am Bauwerk im Verankerungsgrund Mauerwerk	42	5.2.5.3	Bestimmung des Verankerungsgrunds bei einem Altbau
2.1	Dübel-Systeme	42	5.2.6	Name des Produkts
2.2	Bauaufsichtlich relevanter Bereich	43	5.2.7	Montage
2.3	Zustimmung im Einzelfall/vorhabenbezogene Bauartgenehmigung ..	44	5.2.8	Versuchsergebnisse
2.4	Europäische Zulassungen bzw. Bewertungen für Kunststoffdübel	44	5.3	„Zwischenfazit“: Aufgabentrennung ...
2.5	Europäische Zulassungen bzw. Bewertungen für Metall-Injektionsanker zur Verankerung im Mauerwerk	44	5.4	Auswertung der Zugversuche (Bruchversuche)
2.6	Systematik für den vorliegenden Beitrag	45	5.4.1	Grundlagen für Zugversuche
3	Verantwortlichkeiten	45	5.4.2	Ermittlung der charakteristischen Tragfähigkeit bei mindestens fünf Versuchen
3.1	Allgemeines	45	5.4.3	Ermittlung der charakteristischen Tragfähigkeit über einen vereinfachten Ansatz
3.2	Fachplaner	46	5.4.4	Berücksichtigung von Fugen
3.3	Versuchsleiter	46	5.4.5	Bemessungswert der Tragfähigkeit
3.4	Sachkundiges Personal	46	5.5	Bemerkungen und Hinweise
4	Technische Regel Durchführung und Auswertung von Versuchen am Bau für Kunststoffdübel in Beton und Mauerwerk mit ETA	47	5.6	Unterschriften
4.1	Gliederung/Allgemeines	47	5.7	Bemessung der Verankerung (Befestigung der Unterkonstruktion) ...
4.2	Anwendungsbereich für Kunststoffdübel	47	5.7.1	Allgemeines
4.2.1	Allgemeines	47	5.7.2	Ausgangsdaten
4.2.2	Baustoffgruppen (Mauerwerksgruppen)	47	5.7.3	Einwirkung aus Eigengewicht
4.2.3	Temperaturbereiche	48	5.7.4	Einwirkung aus Windsog
4.2.4	Bedingungen für Achs- und Randabstände	49	5.7.5	Resultierende Einwirkung
4.2.5	Handeln „im Rahmen der Zulassung“ ..	49	5.7.6	Nachweis Schrägzug
4.3	Versuche für Kunststoffdübel	50	5.7.7	Nachweis Holz: Kopfdurchzug des Dübels durch die Vertikal-Lattung
4.3.1	Allgemeines	50	5.7.8	Nachweis Holz: Kontrolle der Abstände
4.3.2	Bruchversuche	50	5.7.9	Ermittlung der Dübelanzahl für eine Querwand
4.3.3	Probebelastungen	50	5.7.10	Ergebnis/Fazit der Dübelbemessung ...
4.4	Prüfbericht	51	6	Praxisbeispiel 2: Querlastversuche für Kunststoffdübel (Bruchversuche) – Absturzsicherndes Fensterelement mit unterer Festverglasung
5	Praxisbeispiel 1: Zugversuche für Kunststoffdübel (Bruchversuche) – Befestigung einer Fassadenunterkonstruktion	52	6.1	Einleitung
5.1	Einleitung	52	6.2	Durchführung und zugehörige Dokumentation der Versuche am Bauwerk
5.2	Durchführung und zugehörige Dokumentation der Versuche am Bauwerk	53	6.2.1	Allgemeine Informationen zum Bauvorhaben
5.2.1	Allgemeine Informationen zum Bauvorhaben	53	6.2.2	Ort der Prüfungen
5.2.2	Ort der Prüfungen	53	6.2.3	Prüfvorrichtung
5.2.3	Prüfvorrichtung	55	6.2.4	Art der zu befestigenden Konstruktion ..
5.2.4	Art der zu befestigenden Konstruktion ..	58	6.2.5	Verankerungsgrund
5.2.5	Verankerungsgrund	59	6.2.6	Name des Produkts
5.2.5.1	Allgemeines	59	6.2.7	Montage
			6.2.8	Versuchsergebnisse

6.3	„Zwischenfazit“: Aufgabentrennung . . .	82	7.2.3	Temperaturbereiche	93
6.4	Auswertung der Versuchsergebnisse . . .	83	7.2.4	Nutzungsbedingungen in Bezug auf Montage und Verwendung	93
6.4.1	Grundlagen für Querlastversuche am Rand	83	7.2.5	Bedingungen für Achs- und Randabstände	94
6.4.2	Ermittlung der charakteristischen Tragfähigkeit bei mindestens fünf Versuchen	83	7.2.6	Handeln „im Rahmen der Zulassung“ . .	94
6.4.3	Ermittlung der charakteristischen Tragfähigkeit über einen vereinfachten Ansatz	84	7.3	Versuche	94
6.4.4	Berücksichtigung von Fugen	84	7.3.1	Allgemeines	94
6.4.5	Bemessungswert der Tragfähigkeit	84	7.3.2	Bruchversuche	95
6.5	Bemessung der Verankerung (Befestigung des absturzsichernden Fensterelements)	84	7.3.3	Probelastungen	96
6.5.1	Allgemeines	84	7.3.4	Abnahmeversuche	96
6.5.2	Ausgangsdaten	86	7.3.5	Unterscheidung mit Zahlenbeispiel: Probelastungen – Abnahmeversuche . .	98
6.5.3	Einwirkungen	86	7.3.5.1	Allgemeines	98
6.5.3.1	Windlasten	86	7.3.5.2	Ausgangsdaten für beide Zahlenbeispiele	98
6.5.3.2	Horizontallast bzw. horizontale Nutzlast (Brüstungsriegel)	87	7.3.5.3	Probelastungen (Zahlenbeispiel)	98
6.5.3.3	Last aus 90° geöffnetem Fenster	87	7.3.5.4	Abnahmeversuche (Zahlenbeispiel)	100
6.5.3.4	Stoßartige Lasten nach ETB-Richtlinie (Außergewöhnliche Einwirkung)	88	7.3.5.5	Vergleich	102
6.5.4	Zu untersuchende Lastfälle	88	7.4	Prüfbericht	102
6.5.4.1	Allgemeines	88	8	Praxisbeispiel 3: Zugversuche für Injektionsanker (Bruchversuche) – Befestigung eines Französischen Balkongeländers	103
6.5.4.2	Lastfall 1: Überlagerung Horizontallast plus Wind	88	8.1	Einleitung	103
6.5.4.3	Lastfall 2: Überlagerung Horizontallast plus Last aus 90° geöffnetem Fenster . . .	89	8.2	Durchführung und zugehörige Dokumentation der Versuche am Bauwerk	104
6.5.4.4	Lastfall 3: Weicher Stoß gemäß ETB-Richtlinie (außergewöhnlicher Lastfall)	89	8.2.1	Allgemeine Informationen zum Bauvorhaben	104
6.5.5	Glied 6 der Nachweiskette: Fenster- montageschiene mit Konsolen- befestigung	89	8.2.2	Ort der Prüfungen	105
6.5.5.1	Nachweis: Befestigung der Lasche der Fenstermontageschiene am Fensterprofil	89	8.2.3	Prüfvorrichtung	105
6.5.5.2	Nachweise: Fenstermontageschiene mit Konsolenbefestigung	89	8.2.4	Art der zu befestigenden Konstruktion .	106
6.5.6	Glied 7 der Nachweiskette: Dübel-Befestigung der Konsolen- befestigung am Baukörper	89	8.2.5	Verankerungsgrund	106
6.5.6.1	Tragfähigkeit der verwendeten Dübel . . .	89	8.2.6	Name des Produkts	106
6.5.6.2	Nachweise: Konsolenbefestigung mit zwei Kunststoffdübeln	90	8.2.7	Montage	108
6.5.6.3	Nachweis Herausschieben eines Steins (Abschätzung)	90	8.2.8	V Versuchsergebnisse	109
6.5.7	Ergebnis/Fazit der Dübelbemessung . . .	90	8.3	„Zwischenfazit“: Aufgabentrennung . . .	109
7	Technische Regel Durchführung und Auswertung von Versuchen am Bau für Injektionsankersysteme im Mauerwerk mit ETA	91	8.4	Auswertung der Versuchsergebnisse	110
7.1	Gliederung/Allgemeines	91	8.4.1	Grundlagen für Zugversuche	110
7.2	Anwendungsbereiche für Injektionsanker	91	8.4.2	Ermittlung der charakteristischen Tragfähigkeit über Quantilwerte	110
7.2.1	Allgemeines	91	8.4.2.1	Bestimmung des Referenzsteins	110
7.2.2	Mauerwerksgruppen	91	8.4.2.2	Charakteristische Zugtragfähigkeit	111
			8.4.2.3	Charakteristische Quertragfähigkeit	112
			8.4.3	Ermittlung der charakteristischen Tragfähigkeit über einen vereinfachten Ansatz	112
			8.4.4	Berücksichtigung von Fugen	112
			8.4.5	Bemessungswert der Tragfähigkeit	112
			8.5	Bemessung der Verankerung (Befestigung des Französischen Balkongeländers)	112
			8.5.1	Allgemeines	112
			8.5.2	Ausgangsdaten	113
			8.5.3	Einwirkungen	113
			8.5.3.1	Eigengewicht	113
			8.5.3.2	Verkehrslasten	113
			8.5.3.3	Stoßartige Last	113

X	Inhaltsverzeichnis	
8.5.4	Resultierende Einwirkungen auf die maßgebende Ankerplatte	114
8.5.4.1	Allgemeines	114
8.5.4.2	Ermittlung der maßgebenden Zugkräfte	114
8.5.4.3	Ermittlung der maßgebenden Querlasten	115
8.5.5	Nachweise für Zugbeanspruchung	116
8.5.5.1	Allgemeines	116
8.5.5.2	Stahlversagen	116
8.5.5.3	Herausziehen des Dübels	117
8.5.5.4	Steinausbruch (Dübelgruppe)	117
8.5.5.5	Herausziehen eines Steins	118
8.5.5.6	Einfluss von Fugen	119
8.5.6	Nachweise für Querbeanspruchung	119
8.5.6.1	Allgemeines	119
8.5.6.2	Stahlversagen: Querlast ohne Hebelarm	119
8.5.6.3	Stahlversagen: Querlast mit Hebelarm	120
8.5.6.4	Örtliches Steinversagen	120
8.5.6.5	Steinkantenbruch	120
8.5.6.6	Herausdrücken eines Steins	121
8.5.6.7	Einfluss von Fugen	121
8.5.7	Nachweise für Interaktion von Zug- und Querlasten	121
8.5.8	Fazit zur Bemessung	121
9	Zusammenfassung	122
10	Literatur	122
	Anhang A: Kategorien vergleichbarer Hohl- und Lochsteine	
		125
	Anhang B: Blanko-Formular „Dokumentation (Dübel-)Versuche am Bauwerk“	
		133
II	Mauerwerk aus Fertigteilen Dieter Figge, Warburg	143
1	Einleitung	143
1.1	Allgemeines	143
1.2	Geschichtliches	143
1.3	Stand der Technik	144
2	Arten von Wandelementen	144
2.1	Vergusstafeln	145
2.2	Hochlochstafeln	145
2.3	Rippentafeln	145
2.4	Ziegel-Fertigteildecken	146
2.5	Mauertafeln	146
2.5.1	Planung	147
2.5.2	Bemessung von Mauertafeln	147
2.5.3	Konstruktion von Mauertafeln	148
2.5.4	Herstellung von Mauertafeln	148
2.5.5	Transport von Mauertafeln	150
3	Mauertafeln aus Mauersteinen	150
3.1	Mauertafeln aus Normziegeln (Mauertafelziegeln)	150
3.2	Mauertafeln aus Zulassungsziegeln	151
3.3	Aufhängungen mit Hebebändern	151
3.4	Aufhängungen mit Tragbolzen	153
3.5	Mauertafeln aus Kalksandsteinen	154
3.6	Mauertafeln aus Porenbeton	154
4	Vertikale Stoßfugen zwischen Einzeltafeln	155
4.1	Konstruktive Vertikalfuge	155
4.2	Statische Nachweise für vertikale Stoßfugen zwischen Einzeltafeln	156
5	Ausfachungsmauerwerk für Stahlbetonskelettkonstruktionen	157
6	Brandschutz	158
7	Transport	159
8	Montage	159
9	Überwachung	161
9.1	Fremdüberwachung [26]	161
9.2	Qualitätssicherung	161
10	Literatur	162
III	Veränderung der Tragstrukturen von historischen Mauerwerksgewölben am Beispiel der Erschließung Wilhelmsburg in Ulm Wolfgang Finckh und Hilmar Quantz, Kempten	163
1	Einleitung	163
1.1	Historisches	163
1.2	Heutige und zukünftige Nutzung der Anlage	165
1.3	Erforderliche Umbauten	165
2	Vorgehensweise	165
2.1	Allgemeines	165
2.2	Geometrie	166
2.3	Material	166
2.4	Baugrund	167
2.5	Zustand	168
2.6	Durchgängigkeit der Planung	169
2.7	Die digitale Baustelle	170
3	Horizontale Erschließung	170
3.1	Aufgabenstellung	170
3.2	Entwurfsfindung	171
3.2.1	Allgemeines Vorgehen und Randbedingungen	171
3.2.2	Brücke in der Burg	171
3.2.3	Brücke über den Burggraben	172
3.2.3.1	Allgemeines	172
3.2.3.2	Varianten	172

3.2.3.3	Vorzugsvariante	173	4.2	Entwurfsfindung	184
3.3	Brücke über den Burggraben	173	4.2.1	Schaffung des Lichtraumprofils	184
3.3.1	Konstruktion	173	4.2.2	Bauteile der Erschließung	184
3.3.2	Statisches System und Berechnung	173	4.3	Gewölbeöffnung	185
3.3.3	Herstellung	174	4.3.1	Konzept und Konstruktion	185
3.4	Brücke in der Burg	176	4.3.2	Bauzustände	185
3.4.1	Konzept und Konstruktion	176	4.3.3	Berechnungsmethodik	187
3.4.2	Gründung	176	4.3.3.1	Allgemeines Vorgehen	187
3.4.3	Bauablauf	176	4.3.3.2	Berechnung am Mauerwerk	187
3.4.4	Berechnungsmethodik	178	4.3.3.3	Nachweis der Aussteifungselemente	190
3.4.4.1	Allgemeines	178	4.4	Aufzugsschacht mit Treppe	190
3.4.4.2	Mauerwerk	178	4.5	Herstellung	190
3.4.4.3	Stahlbetonbauwerk	182	4.5.1	Gurtung	190
3.4.5	Herstellung	182	4.5.2	Aufzugsschacht	191
3.5	Gestaltungskonzept	183	4.6	Gestaltungskonzept	192
4	Vertikale Erschließung	184	5	Literatur	193
4.1	Aufgabenstellung	184			
IV	Erfolgreiche Digitalisierung im Mauerwerksbau – eine multidisziplinäre Unternehmensaufgabe für Baustoffhersteller	197			
	Markus Heße, Michael Leicht, Alexander Brunst, Andreas Radischewski, Sebastian Kulle und Christian Peter Hille, Duisburg				
1	Einleitung	197	4	Digitalisierung auf der Mauerwerksbaustelle	210
2	Digital unterstützte Planung im Mauerwerksbau	198	4.1	Papier oder Tablet – Planbereitstellung für die Baustelle	211
2.1	Der digitale Zwilling – erste Produktdaten für die Planung	198	4.2	Hilfsmittel für die effiziente Baustelle – Soll-Ist-Abgleich mit Mixed Reality	211
2.2	Aus Produkten werden Systeme – vom Mauerstein zum Mauerwerk	202	4.3	Mensch und Maschine – ein Ausblick auf Robotik im Mauerwerksbau	213
2.3	Ein Modell, viele Disziplinen – medienbruchfreier Austausch von Produktdaten	204	5	Digitalisierung ist mehr als nur die Bereitstellung von Daten	216
2.4	Haftung für die BIM-Produktdaten	205	5.1	Bieten digitale Daten neue Geschäftsfelder für Mauerwerkshersteller?	216
3	Von Produktdaten zu Produktionsdaten	206	5.2	An welchen Stellschrauben muss gearbeitet werden, damit Mauerwerk digitaler wird?	217
3.1	Das digitale Gebäudemodell – die universelle Datenquelle für die Produktion	206	5.3	Ausblick in die Zukunft der Digitalisierung im Mauerwerksbau	217
3.2	Haftung des Mauerwerksherstellers für das BIM-Modell	207	6	Fazit	218
3.3	Geistige Eigentumsrechte des Mauerwerksherstellers an dem BIM-Modell	209	7	Literatur	219
3.4	Projektverwaltung und Produktionsplanung	210			
3.5	Produktion und Kommissionierung	210			

XII		Inhaltsverzeichnis	
<hr/>			
V	Ziegel aus dem 3D-Drucker		221
	Martin Wilfinger und Ulrich Knaack, Darmstadt, Holger Strauß, Frankfurt, und Thomas Fehlhaber, München		
1	Einleitung	221	
2	Geschichtlicher Hintergrund	221	
3	Technologie Additive Herstellung	222	
3.1	Photopolymerisationsverfahren	224	
3.1.1	Stereolithographie (SLA)	224	
3.1.2	Digitale Lichtverarbeitung (DLP)	224	
3.2	Bindemittel-Jetting, 3D-Druck (3DP) ..	224	
3.3	Material-Extrusion	225	
3.3.1	FDM (Fused Deposition Modeling), FFF (Fused Filament Fabrication)	225	
3.3.2	Robocasting oder Direktes Schreiben mit Tinte (DIW)	225	
3.4	Pulverbett-Schmelzung	225	
3.4.1	Selektives Lasersintern (SLS)	225	
3.4.2	Selektives Laserschmelzen (SLM)	225	
3.4.3	Selektives Wärmesintern (SHS)	226	
3.4.4	Elektronenstrahlschmelzen (EBM)	226	
3.5	Ebenen-Laminierung	226	
3.5.1	Herstellung laminierter Objekte (LOM) .	226	
3.5.2	Selektives Auftragslaminieren (SDL) . .	226	
3.6	Material-Jetting	226	
3.7	Direct Energy Deposition oder Direkte Energieabscheidung	226	
4	Additive Herstellung von Ziegeln/Ziegelbauteilen in der aktuellen Forschung und Entwicklung	227	
5	Strategien zum Drucken von Ziegeln/Ziegelbauteilen	229	
5.1	Kartesische 3D-Drucker	229	
5.2	Delta-3D-Drucker	230	
5.3	Roboterarm basierende 3D-Drucker . . .	230	
6	Technologieauswahl und Entwicklung des eigenen Druckens für Ziegel	231	
6.1	Aufbau und Konzeption	232	
6.2	Druckversuche	233	
6.3	Druckmaterial	234	
6.4	Druckergebnisse und Fazit zum Projekt .	236	
7	Anwendungsbereich von gedruckten Ziegeln/Ziegelbauteilen	236	
8	Ausblick	238	
9	Weiterführende Literatur	238	
VI	Mauerwerksroboter für die Baustelle – internationaler Stand		241
	Eric Brehm und Christian Wurl, Karlsruhe		
1	Einleitung	241	
2	Aktueller Stand	241	
2.1	Historie in Deutschland	241	
2.2	Aktuelle Bauroboter	242	
2.2.1	Stahlbetondrucker	242	
2.2.2	In Situ Fabricator	242	
2.2.3	Interagierende Roboter	242	
2.3	Vorhandene Mauerwerksroboter	243	
2.3.1	Allgemeines	243	
2.3.2	SAM100	244	
2.3.3	HADRIAN X	244	
2.3.4	Seilroboter	244	
3	Besonderheiten des deutschen Marktes .	245	
4	Voraussetzungen und Handlungsbedarf .	246	
5	Ansatz der Hochschule Karlsruhe	246	
6	Auswirkungen auf die Baukultur	247	
7	Literatur	248	
VII	Standortsicherheitsuntersuchungen von Mauerwerkstrukturen mithilfe von stochastischen numerischen Simulationen		249
	Roger Schlegel, Weimar		
1	Einleitung	249	
2	Numerische Modellierung und Simulation von Mauerwerkstrukturen . .	249	
2.1	Diskretisierung und Materialmodellie- rung des Mauerwerkverbands	249	
2.2	Nichtlineare Lastgeschichteberechnung .	251	
3	Modellvalidierung	252	
3.1	Parametrische Modellierung	252	
3.1.1	Sensitivitätsanalyse	252	
3.1.2	Modellkalibrierung	254	
4	Stochastische Simulation in der Berechnungspraxis	254	
4.1	Definition von Unsicherheiten	255	
4.2	Varianzbasierte Robustheitsanalyse . . .	255	
4.3	Zuverlässigkeitsanalyse	256	
5	Stochastische Analysen zur Versagens- wahrscheinlichkeit einer historischen Mauerwerkbrücke gegenüber Schiffsstoß	257	
6	Zusammenfassung	260	
7	Literatur	260	

VIII	Eine aus der Notwendigkeit geborene Idee – Betonhohlblocksteine für den Mauerwerksbau in informellen Siedlungen und deren bautechnische Umsetzung	261		
	Oliver von Malm, Gerrit Dittrich, Marcel Enzweiler, Ivana Bivic und Florian Weininger, München, Andreas Saxer, Christoph Waltl, Matthias Egger und Jürgen Feix, Innsbruck, Frank Ilg, Fabian Meyer-Brötz und Jürgen Mayer, Weißenhorn, sowie Jonas Klein und Tilo Proske, Darmstadt			
1	Einleitung	261	5	Betontechnologie zur Herstellung der Betonhohlblocksteine und Produktion im Kibera Slum
2	Entwicklung der Geometrie des Betonhohlblocksteins	262		272
3	Future Products & Technologies bei PERI	264	6	Entwicklung des Wandkonzepts
			6.1	Erste Testwand in Kibera
			6.2	Erste Bauprojekte in Kibera
4	Konstruktive Grundlagen und Anforderungen an das Mauerwerk	264	7	Experimentelle Untersuchung zur Schubtragfähigkeit der Betonhohlblocksteine und daraus hergestellter Wandbauteile
4.1	Anforderungen an das zu entwickelnde Betonhohlblockstein-Mauerwerk	265		276
4.2	Standortspezifische Gegebenheiten im Vergleich	266	7.1	Allgemeines
4.2.1	Definition Mustergebäude	266	7.2	Materialeigenschaften
4.2.2	Vergleich der ständigen Belastungen	266	7.3	Schubversuche am Einzelstein
4.2.3	Vergleich der veränderlichen Belastungen	267	7.3.1	Längsschubtragfähigkeit
4.2.4	Vergleich der Erdbebenbelastungen	267	7.3.2	Querschubtragfähigkeit
4.3	Anforderungen an Bauwerksaussteifung und Fügekonzept	267	7.4	Schubversuche an Wänden
4.3.1	Bauwerksaussteifung	268	7.4.1	Übersicht
4.3.2	Abschätzung der Ausmittigkeit der Druckbeanspruchung an den Mustergebäuden	269	7.4.2	Unbewehrte Wand
4.3.3	Fügekonzept	269	7.4.3	Wand mit Zuganker
4.4	Anforderungen an die Stein- und Wandwiderstände	269	7.4.4	Wand-Rahmensystem
4.4.1	Füllung der Betonhohlblocksteine	270	8	Bemessung eines Prototyps – Schulbau in Kibera
4.4.1.1	Frischbetonfüllung	270	8.1	Problemstellung bei der Nachweisführung
4.4.1.2	Erdfüllung	270	8.2	Tragkonzept für ein Schulgebäude in Nairobi
4.4.1.3	Erdfüllung mit Wassereinstau	270	8.3	Detailausführung
4.4.2	Erforderliche Wandwiderstände	270	8.4	Nachweis der Tragfähigkeit
4.4.2.1	Abschätzung des erforderlichen Wanddruckwiderstands	271	8.5	Nachweis der Gebäudeaussteifung
4.4.2.2	Abschätzung des erforderlichen Wandschubwiderstands	271	8.6	Aussicht – ein generalisiertes Bemessungsverfahren
4.4.2.3	Abschätzung des erforderlichen Wandbiegewiderstands	271	9	Ausblick – Praxisanwendung
4.5	Zusammenfassung der Grundlagen und Anforderungen an das Mauerwerk	271	10	Danksagung
			11	Literatur

XIV Inhaltsverzeichnis

C Bemessung

I	Hilfsmittel zur vereinfachten Mauerwerksbemessung	301		
	Valentin Förster, Frankfurt am Main, Benjamin Purkert und Carl-Alexander Graubner, Darmstadt			
1	Einführung	301	4.3.2	Außenwand senkrecht zur Decken- spannrichtung mit vollaufliegender Decke
2	Anwendungsbereich der vereinfachten Berechnungsmethoden von DIN EN 1996-3/NA	301	4.3.3	Außenwand parallel zur Deckenspann- richtung mit teilauf liegender Decke
3	Wände unter überwiegender Normalkraftbeanspruchung	303	4.3.4	Außenwand senkrecht zur Decken- spannrichtung mit teilauf liegender Decke
3.1	Vereinfachte Berechnungsmethode	303	5	Erddruckbeanspruchte Wände
3.1.1	Bemessung bei Normaltemperatur	303	5.1	Nachweisverfahren
3.1.1.1	Normative Regelungen	303	5.2	Bemessungstafel
3.1.1.2	Grundlagen der Tragfähigkeitstafeln ...	304	5.3	Beispiele
3.1.2	Bemessung im Brandfall	304	5.3.1	Vollständig angeschüttete Wand
3.1.2.1	Normative Regelungen	304	5.3.2	Teilweise angeschüttete Wand
3.1.2.2	Grundlagen der Tragfähigkeitstafeln ...	305	6	Nichttragende Wände
3.1.3	Bemessung mit Tragfähigkeitstafeln ...	306	6.1	Innenwände
3.1.3.1	Vorgehensweise	306	6.1.1	Nachweisverfahren
3.1.3.2	Tragfähigkeitstafeln für die „kalte“ und „heiße“ Bemessung	306	6.1.2	Bemessungstafeln
3.1.4	Beispiele	307	6.1.3	Beispiele
3.1.4.1	Innenwand	307	6.1.3.1	Dreiseitig gehaltene innere Trennwand ..
3.1.4.2	Außenwand mit teilauf liegender Decke .	307	6.1.3.2	Vierseitige gehaltene innere Trennwand .
3.1.4.3	Außenwand mit vollaufliegender Decke .	307	6.2	Außenwände
3.2	Stark vereinfachte Berechnungsmethode	312	6.2.1	Nachweisverfahren
3.2.1	Nachweisverfahren	312	6.2.2	Beispiele
3.2.2	Bemessungstafeln	312	6.2.2.1	Außenwand mit quadratischer Ausfachungsfläche
3.2.3	Beispiele	312	6.2.2.2	Außenwand mit rechteckiger Ausfachungsfläche
3.2.3.1	Innenwand	312	7	Vereinfachter Aussteifungsnachweis
3.2.3.2	Außenwand im obersten Geschoss	312	7.1	Nachweisverfahren
4	Windbeanspruchte Wände unter minimaler Auflast	313	7.2	Beispiel
4.1	Nachweisverfahren	313	8	Zusammenfassung
4.2	Bemessungstafeln	314	9	Literatur
4.3	Beispiele – Außenwände im obersten Geschoss	315		
4.3.1	Außenwand parallel zur Deckenspann- richtung mit vollaufliegender Decke	315		
II	Erdbebenbemessung bei Mauerwerksbauten	329		
	Christoph Butenweg, Aachen, Christoph Gellert, Herzogenrath, und Udo Meyer, Berlin			
1	Einleitung	329	3.2	Wand-Decken-Interaktion und Normalkraftumlagerungen
2	Seismische Einwirkung	329	4	Auslegung mit konstruktiven Regeln ...
2.1	Entwicklung der Erdbebenkarten	329	4.1	Erforderliche Schubwandquer- schnittsflächen: DIN 4149
2.2	Erdbebeneinwirkung nach DIN 4149 ...	329	4.2	Erforderliche Schubwandquer- schnittsflächen: DIN EN 1998-1/NA ...
2.2.1	Horizontales Bemessungsspektrum	330	4.3	Bewertung im Hinblick auf die Anwendung in der Praxis
2.3	Erdbebeneinwirkung nach DIN EN 1998-1/NA	331	5	Rechenverfahren
2.3.1	Horizontales Bemessungsspektrum	332	5.1	Lineare kraftbasierte Berechnungen ...
3	Seismisches Verhalten von Mauerwerksbauten	334	5.1.1	Vereinfachtes Antwortspektrenverfahren
3.1	Versagensformen von Mauerwerkswänden	334		

5.1.2	Multimodales Antwortspektrenverfahren	339	6.3.1	Bauwerksbeschreibung und Erdbebeneinwirkung	347
5.1.2.1	Berechnung der erforderlichen Schwingformen	339	6.3.2	Statisches Ersatzsystem	347
5.1.2.2	Kombination der Schwingformen und Richtungsüberlagerung	339	6.3.3	Statische Ersatzlasten	348
5.2	Nichtlineare statische Berechnungen	340	6.3.4	Verteilung der statischen Ersatzlasten auf die Schubwände	349
5.2.1	Grundlagen und Berechnungsablauf	340	6.3.5	Standsicherheitsnachweise nach DIN EN 1998-1/NA	349
5.2.2	Ermittlung der Kapazitätskurven für Mauerwerksgebäude	340	6.3.6	Nachweis mit einem Verhaltensbeiwert von $q = 1,7$	349
5.3	Berücksichtigung von Torsionseffekten	341	6.3.7	Nachweis mit erhöhten Verhaltensbeiwerten	349
5.4	Ansatz von Verhaltensbeiwerten für Mauerwerk	342	6.4	Mehrfamilienhaus – Nichtlinearer statischer Nachweis	350
5.4.1	Verhaltensbeiwert aus Verformungsfähigkeit und Energiedissipation	343	6.4.1	Bauwerksbeschreibung und Erdbebeneinwirkung	350
5.4.2	Verhaltensbeiwert aus Lastumverteilung im Grundriss	343	6.5	Vergleichsberechnung: Vereinfachtes Antwortspektrenverfahren	350
6	Praxisbeispiele	344	6.6	Nichtlinearer statischer Nachweis	352
6.1	Reihenhaus – Konstruktive Regeln nach DIN 4149	344	7	Entwicklung neuer rechnerischer Nachweiskonzepte	353
6.2	Reihenhaus – Konstruktive Regeln nach DIN EN 1998-1/NA	345	8	Zusammenfassung	354
6.3	Mehrfamilienhaus – Vereinfachtes Antwortspektrenverfahren	347	9	Literatur	355

D Forschung

I	Übersicht über abgeschlossene und laufende Forschungsvorhaben im Mauerwerksbau	359	Jonathan Schmalz, Regensburg, und Ludwig Wingerter, Karlsruhe		
1	Abgeschlossene Forschungsvorhaben	363	2.2.4	Verhalten von Stahlbetonrahmen mit entkoppelten Mauerwerksausfachungen und Öffnungen unter seismischen Einwirkungen	369
1.1	Übersicht Forschungsprojekte und Forschungsstellen	363	2.2.5	Forschungsprojekt BIM-SIS	371
1.2	Kurzberichte	363	2.2.6	Statische Vergleichsberechnung von gemauerten Gewölbebrücken zur Validierung des Entwurfs der neuen Nachrechnungsrichtlinie (Mauerwerk)	373
1.2.1	Betriebsbegleitende Simulation zur optimierten Produktionsplanung und -steuerung in KS-Werken	363	2.2.6.1	Einleitung	373
2	Laufende Forschungsvorhaben	363	2.2.6.2	Beispiel einer zweifeldrigen Brücke	375
2.1	Übersicht Forschungsprojekte und Forschungsstellen	363	2.2.7	Optimierung der Eigenschaftskennwerte von Kalksandsteinen durch den Einsatz von Recycling- und mineralischen Füllern	380
2.2	Kurzberichte	364	2.2.8	Verbesserte Schalldämmung von Kalksandsteinmauerwerk durch Optimierung der produktions-technischen Herstellparameter – Erhöhung des dynamischen E-Moduls des KS-Materials	386
2.2.1	Neue Ansätze für die realistische Bemessung von Mauerwerksbauten unter Horizontallasten	364	2.2.9	Entwicklung von Seilrobotern für die Erstellung von Kalksandstein-Mauerwerk auf der Baustelle	387
2.2.2	Entwicklung eines innovativen Ansatzes zur Entkopplung von Ausfachungen und nichttragenden Trennwänden aus Mauerwerk von der Tragstruktur	365			
2.2.3	Einfluss der exzentrischen Lasteinleitung am Außenwand-Decken-Knoten auf die Schubtragfähigkeit von monolithischen Außenwänden aus Ziegelmauerwerk	367			

XVI Inhaltsverzeichnis

2.2.10	Einsatz natürlicher mineralischer Füller für die Optimierung der Eigenschaftswerte von Kalksandsteinen – Reduzierung der Produktionskosten, des Energieverbrauchs und der CO ₂ -Emissionen	387	2.2.12	Kosteneinsparung und Steigerung der Ressourceneffizienz von Kalksandsteinen durch Ansatz von Druckhaltestufen bei der Hydrothermalhärtung – sog. „Treppenkurven“ – CO ₂ -Einsparung	388
2.2.11	Einsatz von metallurgischen Schlacken bei der Kalksandsteinproduktion zur Erhöhung des baulichen Schallschutzes .	388	2.2.13	Eignung von Kalksandstein-Recyclingmaterial zur Bodenverbesserung	389

E Normen • Zulassungen • Regelwerk

I Mauerwerksbau mit vorhabenbezogener Bauartgenehmigung bzw. mit Zustimmung im Einzelfall 393
 Hans-Alexander Biegholdt, Leipzig

1	Einführung	393	4.1	Anlass zur Erlangung einer Zustimmung im Einzelfall nach § 20 MBO	397
2	Grundlagen	393	4.2	Erfordernis einer vorhabenbezogenen Bauartgenehmigung	398
2.1	Bauaufsichtliche Regelungen	393	4.3	Antragsteller	398
2.2	Geltungsbereich der Zustimmung im Einzelfall/vorhabenbezogenen Bauartgenehmigung	394	5	Zustimmung im Einzelfall/vorhabenbezogene Bauartgenehmigung für die Ver- und Anwendung von Bauprodukten des Mauerwerksbaus in Sachsen	398
2.3	Abgrenzung zum allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnis nach § 19 MBO	394	5.1	Landesbezogene Umsetzung der Musterregelungen	398
2.4	Zuständigkeiten bei der Erteilung von Zustimmungen im Einzelfall/vorhabenbezogenen Bauartgenehmigungen in den Ländern .	394	5.2	Allgemeines	398
3	Anforderungen an Bauprodukte	394	5.3	Abgrenzung zum Genehmigungsverfahren und zur allgemeinen Bewährung .	398
3.1	Allgemeines	394	5.4	Antragstellung	398
3.2	CE-gekennzeichnete Bauprodukte	394	5.5	Eigenschaften des Bauprodukts	400
3.3	Nationaler Verwendbarkeitsnachweis	396	5.6	Übereinstimmungsnachweis	400
3.4	Produkte des Mauerwerksbaus	396	5.7	Regelungen zur Bauart	400
4	Antragsverfahren zur Erlangung einer Zustimmung im Einzelfall/vorhabenbezogenen Bauartgenehmigung	397	5.8	Sonderfall Lehmbauweise	401
			5.9	Gebühren	401
			5.10	Bearbeitungszeiten	401
			6	Literatur	401

II Geltende Technische Regeln für den Mauerwerksbau (Deutsche, Europäische und Internationale Normen) (Stand 30.11.2020) 403
 Nanjie Hu und Benjamin Purkert, Berlin

1	Vorbemerkung	403	3	Regelwerk	405
2	EuGH-Urteil vom 16. Oktober 2014 (Rs. C-100/13)	404	4	Literatur	420

Stichwortverzeichnis 421

Anbieterverzeichnis 437