

## 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**

<b>Vorwort</b> .....	III
<b>Autoren</b> .....	XVII
<b>A Baustoffe • Bauprodukte</b>	
<b>I Eigenschaften und Eigenschaftswerte von Mauersteinen, Mauermörtel und Mauerwerk</b> .....	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 Elastizitätsmodul .....	14
6.3.2 Feuchtedehnung, Kriechen,	6.3.2
Wärmedehnung .....	15
7 Literatur .....	15
<b>II Neuentwicklungen im Mauerwerksbau mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ) bzw. mit allgemeiner Bauartgenehmigung (aBG)</b> .....	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**

<b>I</b>	<b>Ermittlung der Tragfähigkeit von Kunststoffdübeln und Metall-Injektionsankern durch Versuche am Bauwerk</b> .....	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	<b>Mauerwerk aus Fertigteilen</b>	143	
	Dieter Figge, Warburg		
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	Hochlochtafeln	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	<b>Veränderung der Tragstrukturen von historischen Mauerwerksgewölben am Beispiel der Erschließung Wilhelmsburg in Ulm</b>	163	
	Wolfgang Finckh und Hilmar Quantz, Kempten		
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			
<b>IV</b>	<b>Erfolgreiche Digitalisierung im Mauerwerksbau – eine multidisziplinäre Unternehmensaufgabe für Baustoffhersteller</b> . . . . .	<b>197</b>			
	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/>			
<b>V</b>	<b>Ziegel aus dem 3D-Drucker</b> .....		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	
<b>VI</b>	<b>Mauerwerksroboter für die Baustelle – internationaler Stand</b> .....		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	
<b>VII</b>	<b>Standortsicherheitsuntersuchungen von Mauerwerkstrukturen mithilfe von stochastischen numerischen Simulationen</b> .....		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	



<b>VIII</b>	<b>Eine aus der Notwendigkeit geborene Idee – Betonhohlblocksteine für den Mauerwerksbau in informellen Siedlungen und deren bautechnische Umsetzung</b> . . . . .	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**

<b>I</b>	<b>Hilfsmittel zur vereinfachten Mauerwerksbemessung</b> .....	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		
<b>II</b>	<b>Erdbebenbemessung bei Mauerwerksbauten</b> .....	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**

<b>I</b>	<b>Übersicht über abgeschlossene und laufende Forschungsvorhaben im Mauerwerksbau</b>	<b>359</b>			
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 <sub>2</sub> -Emissionen . . . . .	387	2.2.12	Kosteneinsparung und Steigerung der Ressourceneffizienz von Kalksandsteinen durch Ansatz von Druckhaltestufen bei der Hydrothermalhärtung – sog. „Treppenkurven“ – CO <sub>2</sub> -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**