

2013

MAUERWERK KALENDER

Herausgegeben von
Wolfram Jäger, Dresden

38.Jahrgang

Inhaltsübersicht

A Baustoffe • Bauprodukte

- I Eigenschaften von Mauersteinen, Mauermörtel, Mauerwerk und Putzen 3
Wolfgang Brameshuber, Aachen
- II Neuentwicklungen beim Mauerwerksbau mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ) 35
Wolfram Jäger, Dresden und Roland Hirsch, Berlin
- III Instandsetzung verwitterter Natursteinoberflächen an historischen Bauwerken 63
Heiner Siedel, Dresden
- IV Mineralische Mörtel und Putze zur Sanierung historischer Mauerwerksbauten 107
Petra Egloffstein, Mainz

B Konstruktion • Bauausführung • Bauwerkserhaltung

- I Mauerwerksbrücken – Untersuchen und Ertüchtigen 137
Wilhelm Wilmers, Wetzlar mit Beiträgen von Ingo Schultz, Wetzlar zur Statik ausgeführter Beispiele
- II Instandsetzung von gerissenem Mauerwerk mit Spiralankern 191
Thomas Jahn, Leipzig und Heinz Meichsner, Altenbach
- III Untersuchungen zur Erhöhung der Schubfestigkeit und der Erdbebensicherheit von Lehm-mauerwerk 213
Jörg Braun, Dresden

C Bemessung

- I Analyse des Tragverhaltens von bauphysikalisch optimierten Anschlussdetails einschaliger Wandkonstruktionen – Entwicklung eines passivhaustauglichen monolithischen Ziegelsystems für Österreich 261
Wolfram Jäger und Stephan Reichel, Dresden; Renate Hammer, Krems

D Bauphysik • Brandschutz

- I Elbphilharmonie Hamburg: Statisch-konstruktive und bauphysikalische Untersuchungen am Bestandsmauerwerk des Kaispeichers A 299
Toralf Burkert, Weimar und Rudolf Plagge, Dresden
- II Feuchteschutz von Mauerwerk durch hygrothermische Simulation 363
Hartwig M. Künzel, Holzkirchen
- III Brandschutztechnische Beurteilung historischer Mauerwerkskonstruktionen 393
Gerd Geburtig, Weimar
- IV Tragwerksbemessung für den Brandfall nach Eurocode 6 – Erläuterungen zum Nationalen Anhang zu DIN EN 1996-1-2 413
Christiane Hahn, Hamburg/Braunschweig
- V Zukunftssicher bauen – Wie die Energiewende das Bauen verändert 447
Hans-Dieter Hegner, Berlin und Torsten Schoch, Kloster Lehnin

E Normen • Zulassungen • Regelwerk

- I Geltende Technische Regeln für den Mauerwerksbau (Deutsche, Europäische und Internationale Normen) (Stand 30.9.2012) 479
Immo Feine, Berlin
- II Verzeichnis der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für den Mauerwerksbau (Stand 31.8.2012) 495
Wolfram Jäger, Dresden und Roland Hirsch, Berlin

F Forschung

- I Übersicht über abgeschlossene und laufende Forschungsvorhaben im Mauerwerksbau 617
Anke Eis und Sebastian Ortlepp, Dresden
- II Experimentelle und numerische Untersuchungen zur Biegezugfestigkeit von Mauerwerk 655
Ulf Schmidt, Neuwied und Wolfgang Brameshuber, Aachen

Stichwortverzeichnis 689

Inhaltsverzeichnis

Vorwort				HI
Autoren				XIX
Beiträge früherer Jahrgänge				XXI
A Baustoffe · Bauprodukte				
1 Eigenschaften von Mauersteinen, Mauermörtel, Mauerwerk und Putzen				3
Wolfgang Brameshuber, Aachen				
1 Allgemeines	3	5.5.2	Druckbeanspruchung senkrecht zu den Lagerfugen	24
2 Eigenschaftskennwerte von Mauersteinen	3	5.5.2.1	Druck-E-Modul E_D	24
2.1 Festigkeitseigenschaften	3	5.5.2.2	Querdehnungszahl (χ_D) und Dehnung bei Höchstspannung $\epsilon_{u,D}$	26
2.1.1 Längsdruckfestigkeit	3	5.5.2.3	Völligkeitsgrad α_{00}	26
2.1.2 Zugfestigkeiten	3	5.5.3	Druckbeanspruchung parallel zu den Lagerfugen	26
2.2 Verformungseigenschaften	5	5.5.3.1	Druck-E-Modul E_{Dp}	26
2.2.1 Elastizitätsmodul senkrecht zur Lagerfuge unter Druckbeanspruchung	5	5.5.3.2	Dehnung bei Höchstspannung $\epsilon_{u>D,p}$	26
2.2.2 Elastizitätsmodul in Steinlängsrichtung unter Zugbeanspruchung	6	5.5.4	Zug-E-Modul E_z (Zugbeanspruchung parallel zu den Lagerfugen)	27
2.2.3 Spannungs-Dehnungs-Linie	6	5.5.5	Feuchtedehnung ϵ_f , (Schwinden ϵ_s , irreversibles Quellen ϵ_q), Kriechen (Kriechzahl $\langle p$), Wärmedehnungskoeffizient (χ_t)	27
2.2.4 Querdehnungsmodul	6	6	Feuchtigkeitstechnische Kennwerte von Mauersteinen, Mauermörtel und Mauerwerk	28
2.3 Dehnung aus Schwinden und Quellen, thermische Ausdehnungskoeffizienten	7	6.1	Kapillare Wasseraufnahme	28
3 Eigenschaftswerte von Mauermörteln	7	6.2	Wasserdampfdurchlässigkeit	29
3.1 Allgemeines	7	7	Natursteine, Natursteinmauerwerk	29
3.2 Festigkeitseigenschaften	7	8	Eigenschaftswerte von Putzen (Außenputz)	29
3.2.1 Zugfestigkeit B_z	7	8.1	Allgemeines	29
3.2.2 Scherfestigkeit B_s	7	8.2	Festigkeitseigenschaften	31
3.3 Verformungseigenschaften	7	8.2.1	Druckfestigkeit B_D	31
3.3.1 E-Modul (Längsdehnungsmodul) E	7	8.2.1	Zugfestigkeit B_z	31
3.3.2 Querdehnungsmodul E_q	7	8.3	Verformungseigenschaften	31
3.3.3 Feuchtedehnung (Schwinden ϵ_s)	8	8.3.1	Zug-E-Modul E_z , dynamischer E-Modul dyn E	31
3.3.4 Kriechen (Kriechzahl $\langle p$)	9	8.3.2	Zugbruchdehnung $\epsilon_{z>u}$	31
4 Verbundeigenschaften zwischen Stein und Mörtel	9	8.3.3	Zugrelaxation \forall	31
4.1 Allgemeines	9	8.3.4	Schwinden ϵ_s , Quellen ϵ_q	31
4.2 Haftscherfestigkeit	9	8.4	Eigenschaftszusammenhänge	31
4.3 Haftzugfestigkeit	12	9	Literatur	32
5 Eigenschaftswerte von Mauerwerk	13			
5.1 Druckfestigkeit senkrecht zu den Lagerfugen	13			
5.2 Druckfestigkeit parallel zu den Lagerfugen	20			
5.3 Zugfestigkeit und -tragfähigkeit	20			
5.4 Biegezugfestigkeit und -tragfähigkeit	20			
5.5 Verformungseigenschaften	24			
5.5.1 Allgemeines	24			

Neuentwicklungen beim Mauerwerksbau mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ)				35	
Wolfram Jäger, Dresden und Roland Hirsch, Berlin					
	Vorbemerkungen	35	7	Trockenmauerwerk	49
1	Mauerwerk mit Normal- oder Leichtmörtel	36	8	Mauerwerk mit PU-Kleber	49
2	Mauerwerk mit Dünnbettmörtel	36	9	Bewehrtes Mauerwerk	57
3	Mauerwerk mit Mittelbettmörtel	49	10	Ergänzungsbauteile	58
4	Vorgefertigte Wandtafeln	49	11	Literatur . . .	61
5	Geschosshohe Wandtafeln	49	12	Bildnachweis	62
6	Schalungsstein-Bauarten	49			
III	Instandsetzung verwitterter Natursteinoberflächen an historischen Bauwerken			63	
Heiner Siedel, Dresden					
1	Einführung	63	5.1	Allgemeines	87
2	Strategien zur Erhaltung historischer Originaloberflächen	64	5.2	Reinigungsverfahren '	
2.1	Denkmalpflegerische Strategien und Begriffe	64	5.2.1	Mechanische Verfahren	
2.2	Praktische Vorgehensweise	66	5.2.2	Chemische Verfahren	90
			5.2.3	Laserstrahlreinigung	90
			5.3	Bewertung der Reinigungsergebnisse	91
	Natursteinverwitterung und Verwitterungsbilder	68	6	Entsalzung	92
3.1	Allgemeines	68	6.1	Allgemeines	92
3.2	Physikalische Verwitterung	69	6.2	Kompressenentsalzungen	92
3.2.1	Thermische Beanspruchung	69	6.3	Entsalzung im Wasserbad	94
3.2.2	Frost-Tau-Wechsel	71	6.4	Elektrokinetische Verfahren	94
3.2.3	FeuchteWechsel und hydrische/hygrische Dehnung	73	6.5	Weitere Methoden und Erfolgskontrolle . .	95
3.2.4	Salzsprengung und hygroskopische Salze .	74	7	Steinfestigung	95
3.3	Chemische Verwitterung	76	7.1	Allgemeines	95
3.3.1	Lösung und Umwandlung von Karbonaten	77	7.2	Vorzustand und Ziel der Festigung, Voruntersuchungen	96
3.3.2	Oxidationsverwitterung	78	7.3	Wirkstoffsysteme und Applikation	97
3.3.3	Mineralumwandlung	78	7.4	Bewertungskriterien	97
3.4	Biologische Verwitterung	79	8	Steinergänzung	98
3.5	Verwitterungsbilder	80	8.1	Steinergänzung in Naturstein	98
	Naturwissenschaftliche Vor- und Begleituntersuchungen	81	8.2	Steinergänzung mit Steinergänzungs-mörteln	99
4.1	Allgemeines	81		Hydrophobierung	100
4.2	Dokumentation der Schäden/Kartierung . .	82	9.1	Allgemeines	100
4.3	Untersuchungen zur Salzbelastung	83	9.2	Ziel der Hydrophobierung, Wirkstoffsysteme und Applikation .	100
4.4	Messung der Wasseraufnahme mit dem Karsten-Prüfröhrchen	84	9.3	Bewertungskriterien	101
4.5	Messung des Bohrwiderstandes	85	9.4	Dauerhaftigkeit und Risiken	101
4.6	Messung der Ringbiegezugfestigkeit	86	10	Fazit	102
4.7	Weitere Messungen	86	11	Literatur	102
	Steinreinigung	87			

IV	Mineralische Mörtel und Putze zur Sanierung historischer Mauerwerksbauten				107
	Petra Egloffstein, Mainz				
1	Einleitung	107	5.3	Maschinelle Verarbeitung	119
2	Mörtel und Putze	107	5.3.1	Nassspritz- und Kartuschenverfahren	119
2.1	Historischer Überblick über die Bindemittelentwicklung	107	5.3.2	Trockenspritzverfahren	120
2.2	Geologischer Überblick der Rohstoffe für die Bindemittel	108	5.4	Nachbehandlung	122
2.3	Bindemittel heute	108	6	Auswahl geeigneter Reparaturmaterialien anhand von beispielhaften Objekten	123
2.3.1	Gips	108	6.1	Gipsgebundene Mörtel	123
2.3.2	Kalk	108	6.2	Kalkgebundene Mörtel	123
2.4	Zement	HO	6.2.1	Mörtel mit Luftkalken als Bindemittel	123
2.5	Gesteinskörnungen	112	6.2.1.1	Sumpfkalk- und Luftkalkputz	123
3	Untersuchungen historischer Mauerwerksbauten	112	6.2.1.2	Dolomitmalkputz	124
3.1	Gesteinsmaterial	112	6.2.2	Mörtel mit natürlichen hydraulischen Kalken als Bindemittel	125
3.2	Mörteluntersuchungen	113	6.2.2.1	Fugenmörtel und-Schlämme	125
3.3	Salzuntersuchungen	115	6.2.2.2	Kartuschenmörtel	125
3.4	Feuchtetechnische Untersuchungen	115	6.2.2.3	Trocken gespritzte Mörtel	127
4	Mörtel und Putze	116	6.2.3	Mörtel mit hydraulischen Kalken als Bindemittel	128
4.1	Mörtel	116	6.2.3.1	Mauerkronenmörtel	128
4.1.1	Mauer- und Fugenmörtel	116	6.2.3.2	Putzmörtel	129
4.1.2	Injektionsmörtel, Verpressmörtel und Verfüllmörtel	117	6.3	Zementgebundene Mörtel	130
4.2	Putze	117	6.3.1	Sanierputze und Feuchteregulierungsputze	130
5	Applikation von Mörtel und Putzen	118	6.3.2	Injektions- und Verpressmörtel	131
5.1	Vorbehandlung des Untergrundes	118	7	Zusammenfassung	131
5.2	Manuelle Verarbeitung	118	8	Literatur	132

B Konstruktion · Bauausführung · Bauwerkserhaltung

	Mauerwerksbrücken – Untersuchen und Ertüchtigen				137
	Wilhelm Wilmers, Wetzlar mit Beiträgen von Ingo Schultz, Wetzlar zur Statik ausgeführter Beispiele				
1	Einleitung	137	3.4.1.2	Anwendung	142
2	Vorgehen bei der Brückenprüfung	138	3.4.2	Hydrophobierung	143
2.1	Grundlagen	138	3.5	Fugenmörtel	143
2.1.1	Visuelle Bemusterung	138	3.5.1	Grundlagen	143
2.1.2	Bohrprogramm	138	3.5.2	Ausführung	143
2.1.3	Bohrlochspiegel	139	3.5.3	Spritzmörtel zur Fugenfüllung	144
2.1.4	Verfällen der Bohrlöcher	140	3.6	Füllung des Mauerwerks durch Injektionen	144
2.2	Untersuchung am Bohrkern	140	3.6.1	Grundlagen	144
2.3	Zerstörungsfreie Prüfverfahren	140	3.6.2	Ausführung	144
2.4	Untersuchung von Druckfestigkeit und Elastizitätsmodul	140	3.6.3	Injektionssuspension	144
2.4.1	Untersuchungsmethode	140	4	Vorhandene Konstruktion der Brücken	145
2.4.2	Untersuchungsergebnisse	141	4.1	Gründung	145
3	Mauerwerk und seine Ertüchtigung	142	4.1.1	Konstruktionsprinzip	145
3.1	Grundsätzliches	142	4.1.2	Typische Schäden Unterspülung/ Ausspülung	146
3.2	Reinigen des Mauerwerks	142	4.1.3	Untersuchung	146
3.3	Steinersatz	142	4.1.3.1	Gründung	146
3.4	Steinfestiger und Hydrophobierung	142	4.1.3.2	Fundamentmauerwerk	146
3.4.1	Steinfestiger	142	4.1.4	Ertüchtigung der Gründung	146
3.4.1.1	Grundlagen	142			

X	Inhaltsverzeichnis			
4.1.4.1	Erhöhung der Tragfähigkeit der Gründung	146	4.12.1 Konstruktion	157
4.1.4.2	Kolksicherung durch Umspundung	147	4.12.2 Untersuchung	157
4.1.4.3	Kolksicherung durch Betonkragen/Beton- schürze	147	4.12.3 Schadensbehebung	157
4.1.4.4	Kolkschutz durch Sohlsicherung	147	4.13 Pflanzenwuchs	157
4.1.4.5	Stabilisierung des Fundamentmauerwerks bei einer Sohlsicherung	148	5 Ausgeführte Beispiele	157
4.2	Aufgehendes Mauerwerk in Widerlagern und Pfeilern	148	5.1 Elbbachbrücke Niederhadamar – St. Wendelinsbrücke	157
4.2.1	Konstruktion	148	5.1.1 Überblick	157
4.2.2	Typische Schäden	148	5.1.2 Geometrie und Ansicht	158
4.2.3	Untersuchungsmethoden	149	5.1.3 Mauerwerk	158
4.3	Stirnring und Stirnmauer	149	5.1.4 Gründung und Fundamente	158
4.3.1	Konstruktion	149	5.1.5 Zustand vor der Ertüchtigung	159
4.3.2	Typische Schäden	150	5.1.5.1 Widerlager	159
4.3.3	Untersuchung	150	5.1.5.2 Pfeiler	159
4.3.4	Sicherung	150	5.1.5.3 Stirnringe und Bogen	160
4.4	Gewölbe	150	5.1.5.4 Stirnmauern und Brüstung	160
4.4.1	Konstruktion	150	5.1.5.5 Brückenauffüllung	161
4.4.2	Bogenunterseite	151	5.1.6 Ertüchtigung	161
4.4.2.1	Untersuchung	151	5.1.6.1 Mauerwerk	161
4.4.2.2	Sicherung	151	5.1.6.2 Tragsystem	161
4.4.3	Bogenoberseite	151	5.1.6.3 Kolksicherung	162
4.4.3.1	Konstruktion	151	5.1.6.4 Abdichtung und Fahrbahn	162
4.4.3.2	Typische Schäden	151	5.1.6.5 Beobachtungen	162
4.4.3.3	Untersuchung	152	5.1.7 Zustand März 2012	163
4.4.3.4	Schadensbehebung	152	5.1.8 Folgerungen	163
4.5	Flügelmauern	152	5.2 Lahnbrücke Runkel	163
4.5.1	Konstruktion	152	5.2.1 Überblick	163
4.5.2	Typische Schäden	152	5.2.2 Geometrie und Ansicht	164
4.5.3	Untersuchung	152	5.2.3 Mauerwerk	166
4.5.4	Sicherung	152	5.2.4 Gründung	166
4.6	Brüstungen	152	5.2.5 Zustand vor der Ertüchtigung	167
4.6.1	Konstruktion	152	5.2.5.1 Widerlager und Pfeiler	167
4.6.2	Typische Schäden	152	5.2.5.2 Stirnmauern und Brüstungen	167
4.6.3	Untersuchung	153	5.2.5.3 Bögen	167
4.6.4	Sicherung	153	5.2.5.4 Auffüllung und Fahrbahnaufbau	167
4.7	Geländer	153	5.2.6 Laboruntersuchungen	167
4.7.1	Konstruktion	153	5.2.7 Ertüchtigung	168
4.7.2	Typische Schäden	153	5.2.8 Zustand der Brücke im März 2012	169
4.7.3	Untersuchung	154	5.2.9 Statik	170
4.7.4	Schadensbehebung	154	5.3 Lahnbrücke Weilburg	171
4.8	Brückenauffüllung und Abdichtung	154	5.3.1 Überblick	171
4.8.1	Konstruktion	154	5.3.2 Geometrie und Ansicht	171
4.8.2	Schadensbilder	154	5.3.3 Mauerwerk	171
4.8.3	Untersuchung	154	5.3.4 Gründung	173
4.8.4	Schadensbehebung	154	5.3.5 Zustand vor der Ertüchtigung	173
4.9	Abdichtung	155	5.3.5.1 Baustoffkennwerte	173
4.9.1	Brücke mit aufgelegter auskragender Betonplatte	155	5.3.5.2 Gründung, Widerlager und Pfeiler	173
4.9.2	Brücke mit Brüstungen	156	5.3.5.3 Stirnmauern und Brüstungen	174
4.9.3	Fahrbahnaufbau auf der Abdichtung	156	5.3.5.4 Bögen	174
4.10	Verstärkungsgewölbe	156	5.3.5.5 Fahrbahnaufbau	175
4.11	Fahrbahn und Gehweg	156	5.3.6 Ertüchtigung	175
4.11.1	Konstruktionen	156	5.3.7 Zustand im April 2012	175
4.11.2	Typische Schäden	156	5.3.8 Statik	175
4.11.3	Untersuchung	157	5.4 Die Dillbrücke Aßlar – Klein-Alten- städten	176
4.11.4	Schadensbehebung	157	5.4.1 Einführung	176
4.12	Erdkörper im Anschluss an die Brücke	157	5.4.2 Untersuchung vor der Ertüchtigung	176
			5.4.2.1 Beschreibung der Ansicht	176

5.4.2.2	Innerer Aufbau und Zustand	177	5.5.5.4	Bogenunterseite	184
5.4.3	Ausgeführte Arbeiten zur Ertüchtigung ..	178	5.5.5.5	Stirnmauern	184
5.4.4	Zustand am 25.3.2012	181	5.5.5.6	Brückenauffüllung	184
5.4.5	Statik	181	5.5.5.7	Brückenoberfläche und Fahrbahn	184
5.5	Lahnbrücke Dutenhofen	181	5.5.6	Ertüchtigung	184
5.5.1	Überblick	181	5.5.7	Statik	185
5.5.2	Geometrie und Ansicht	182	5.6	Zusammenfassung	187
5.5.3	Mauerwerk	183	5.6.1	Behandlung von Mauerwerk	187
5.5.4	Gründung	183	5.6.2	Brückenauffüllung	188
5.5.5	Zustand	183	5.6.3	Abdichtung und Fahrbahn	188
5.5.5.1	Widerlager	183	5.6.4	Kolkenschutz	188
5.5.5.2	Pfeiler	183	6	Literatur	188
5.5.5.3	Stirnringe	183			
Instandsetzung von gerissenem Mauerwerk mit Spiralankern					191
Thomas Jahn, Leipzig und Heinz Meichsner, Altenbach					
1	Einführung	191	6.4	Eingangsgrößen für die Berechnung und Berechnungsergebnisse	202
2	Spiralanker als System und ihre Einsatzgebiete	191	6.5	Formeln zur Berechnung der Einleitungslänge l_{es} , der Stahlspannung $a_{SpI,R}$, der rechnerischen Rissbreite w_k und der Mauerwerksdehnung e_M	203
3	Eigenschaften von Mauerwerksrissen und Auswirkungen auf die Instandsetzung ...	192	6.6	Zahlenbeispiel	203
4	Funktionsweise der Spiralanker und die Bedeutung des Verbundes zwischen Mauerwerk und Spiralankern	194	6.7	Hinweise zur Abschätzung der Dehnlänge L des Mauerwerks	206
4.1	Wirkprinzip	194	7	Materialeigenschaften	207
4.2	Verbund zwischen Spiralanker und Mauerwerk	195	7.1	Spiralanker	207
4.3	Prüfkörper	196	7.2	Ankermörtel	208
5	Schlitze im Mauerwerk	198	7.3	Mauerwerk	208
5.1	Allgemeines	198	8	Konstruieren mit Spiralankern	209
5.2	Abmessungen der Schlitze	198	8.1	Mindestwanddicke	209
5.2.1	Vertikale Schlitze	198	8.2	Verlegerichtung der Spiralanker in Richtung der Zugkraft	210
5.2.2	Horizontale Schlitze	199	8.3	Spiralanker in einspringenden Ecken	210
6	Bemessung der Spiralanker	199	8.4	Einzel- oder Gruppenrisse	211
6.1	Ausgangsgrößen und Ablauf	199	8.5	Ist eine Mindestbewehrung erforderlich? .	212
6.2	Schematisierte Bemessungslastfälle	200	9	Literatur	212
6.3	Bemessungsansatz	200			
III	Untersuchungen zur Erhöhung der von Lehm-mauerwerk		mit und der Erdbebensicherheit		213
Jörg Braun, Dresden					
1	Einführung	213	3.3	Faserarmierte Lehmsteine	219
2	Die Zitadelle in Bam und das Erdbeben vom 26. Dezember 2003	213	3.3.1	Ermittlung geeigneter Naturfaserarten für die Armierung	219
3	Erhöhung der Schubfestigkeit von Lehm-mauerwerk	215	3.3.1.1	Herstellung faserarmerter Lehm-prüfkörper	220
3.1	Einführung	215	3.3.1.2	Versuchsdurchführung und Ergebnisauswertung	220
3.2	Bruch- und Materialmodelle für Mauerwerk	215	3.3.1.3	Bestimmung der Eigenschaften der Naturfasern	226

3.3.2	Anwendung faserarmerter Lehmsteine bei der Sanierung der historischen Zitadelle in Bam	230	3.5.2	Ergebnisbewertung Druckfestigkeit	240
3.4	Verbesserung der Scher- und Haftzugfestigkeit	231	3.6	Übertragung der Versuchsergebnisse auf das Schubbruchmodell von <i>Mann/Müller</i>	242
3.4.1	Erhöhung der Scherfestigkeit	231	4	Untersuchungen zur Erdbbensicherheit von Lehmmauerwerk	243
3.4.1.1	Scherversuche mit variierten Lehmsteinoberflächen	232	4.1	Einführung	243
3.4.1.2	Scherversuche mit variierten Mörtelzusammensetzungen	235	4.2	Erdbebenanalyse	244
3.4.2	Erhöhung der Haftzugfestigkeit	236	4.3	Zyklische Schubversuche an Wänden aus Lehmmauerwerk	244
3.4.2.1	Versuchsdurchführung und Ergebnisbewertung Zugversuche mit variierten Lehmsteinoberflächen	236	4.3.1	Versuchsdurchführung	244
3.4.2.2	Versuchsdurchführung und Ergebnisbewertung Zugversuche mit variierten Mörtelzusammensetzungen	237	4.3.2	Versuchsergebnisse Wand 1 – „traditionelles“ Lehmmauerwerk	246
3.4.3	Optimierung der Scher- und Haftzugfestigkeit auf Grundlage der Versuchsergebnisse	238	4.3.3	Versuchsergebnisse Wand 2 – „optimiertes“ Lehmmauerwerk	247
3.5	Bestimmung der Druckfestigkeit	240	4.3.4	Auswertung der Versuchsergebnisse	248
3.5.1	Versuchsdurchführung	240	4.4	Statische Berechnung	251
			5	Zusammenfassung	255
			6	Literatur	257

Bemessung

Analyse des Tragverhaltens von bauphysikalisch optimierten Anschlussdetails einschaliger Wandkonstruktionen – Entwicklung eines passivhaustauglichen monolithischen Ziegelsystems für Österreich				261
Wolfram Jäger und Stephan Reichel, Dresden; Renate Hammer, Krens				

1	Motivation	261	5	Experimentelle Untersuchungen	280
2	Konstruktive Erläuterungen	262	5.1	Allgemeines	280
2.1	Verwendete Materialien	262	5.2	Materialversuche	280
2.2	System und Geometrie	262	5.3	Versuche am Wand-Decken-Knoten ohne Berücksichtigung der Deckenverdrehung	282
3	Anschlussdetails	263	5.4	Versuche am Wand-Decken-Knoten mit Berücksichtigung der Deckenverdrehung	285
3.1	Deckenanschluss	263	5.4.1	Versuchsaufbau	285
3.1.1	Stand der Technik und Optimierung	263	5.4.2	Versuchsdurchführung	285
3.1.2	Normative Festlegungen	264	5.4.3	Ergebnisse	286
3.1.3	Nachweis	265	5.4.4	Auswertung	287
3.2	Wandüberstand	266	5.4.5	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	289
3.2.1	Stand der Technik und Optimierung	266	5.4.6	Vergleich mit einwirkenden Lasten	291
3.2.2	Normative Festlegungen	266	5.5	Versuche zum Wandüberstand	292
3.2.3	Konstruktion und Bemessung	267	5.5.1	Aufbau	292
3.2.4	Ausführung	268	5.5.2	Ergebnisse	293
4	Numerische Untersuchungen	268	5.5.3	Auswertung	293
4.1	Modellierung	269	6	Zusammenfassung	293
4.2	Lastannahmen	270	7	Fazit und Ausblick	294
4.3	Spannungs- und Schnittkraftermittlung	271	8	Literatur	295
4.4	Vorschlag zur Bestimmung des Abminderungsfaktors am Wandkopf	272			
4.5	Ergebnisse	274			
4.6	Vorbereitung der experimentellen Untersuchungen	277			

Bauphysik • Brandschutz**Elbphilharmonie Hamburg: Statisch-konstruktive und bauphysikalische Untersuchungen am Bestandsmauerwerk des Kaispeichers A**

Toralf Burkert, Weimar und Rudolf Plagge, Dresden

299

1	Einleitung	299	3.5.3	Fenster	333
2	Bauwerkserkundungen	301	3.5.4	Dehnfugen	334
2.1	Bestandsaufnahme	302	3.5.5	Lagerfugenbewehrung der Vormauer- schale	334
2.2	Schadensaufnahme	303	3.5.6	Auflagerkonsole für das Ziegelfertigteil der Attika	336
2.3	Materialuntersuchungen	304	4	Bauphysikalisches Konzept	337
2.3.1	Probenahme	304	4.1	Beurteilung des Bestandsmauerwerks . . .	337
2.3.2	Ermittlung von Materialkennwerten	305	4.1.1	Feuchtezustand der Konstruktion	338
2.3.2.1	Druckfestigkeit Ziegel	305	4.1.2	Feuchtegehalt der Mauerwerkswände . . .	338
2.3.2.2	Druckfestigkeit Mörtel	306	4.1.3	Adaptive hydrophobe Imprägnierung . . .	338
2.3.2.3	Frostwiderstand Vormauerziegel	307	4.1.3.1	Untersuchung von Bestandsziegeln des Kaispeichers	338
2.3.2.4	Salzanalyse	308	4.1.3.2	Ergebnisse der Ziegeluntersuchungen . . .	339
2.3.2.5	Stahlanalyse	308	4.1.4	Beurteilung zur Wahl eines Innendämm- systems im Hinblick auf die Austrocknung des Mauerwerkes	340
2.3.3	Ergebnisse	308	4.1.4.1	Vergleichende Betrachtung zu unter- schiedlichen Innendämmsystemen	341
2.3.3.1	Druckfestigkeit und Rohdichte der Ziegel- steine	308	4.1.4.2	Simulationsergebnisse	341
2.3.3.2	Frostwiderstand der Vormauerziegel	308	4.1.5	Zusammenfassende Bemerkungen zu den bauphysikalischen Untersuchungen	342
2.3.3.3	Druckfestigkeit von Mauer- und Verfügmörtel	309	4.2	Stochastische hygrothermische Simulation zur Absicherung der gewählten Konstruktionsvariante	342
2.3.3.4	Salzanalyse	309	4.2.1	Beschreibung der unterschiedlichen Varianten des Wandaufbaus	343
2.3.3.5	Stahlanalyse	310	4.2.2	Beschreibung der stochastischen Prozesse	344
2.4	Schadens- und Bauzustandsanalyse der Mauerwerkskonstruktion	310	4.2.2.1	Allgemeines	344
3	Geplante Nutzung des Speichers, Bauablauf und sich daraus ergebende Problemstellungen	310	4.2.2.2	Verwendete Zufallsvariablen	344
3.1	Entkernung des Speichergebäudes und Anbindung der neuen Decken	310	4.2.3	Evaluationskriterien	346
3.2	Zustimmungen im Einzelfall	313	4.2.3.1	Hygrothermisches Verhalten der Konstruktion	346
3.2.1	Querkraftverankerung mittels Verbund- dübel	313	4.2.3.2	Hygrothermisches Modell zur Vorhersage von Schimmelwachstum	346
3.2.1.1	Beschreibung des Antragsgegenstandes . .	313	4.2.3.3	Hygrothermische Belastungskennzahlen .	347
3.2.1.2	Experimentelle Untersuchungen	313	4.2.4	Simulation	348
3.2.2	Ausführung des Verblendmauerwerks – Nachweis der Kopfverzahnung	315	4.2.4.1	Saniertes Wandaufbau mit Calcium- silikat-Innendämmung	348
3.2.2.1	Beschreibung des Antragsgegenstandes . .	315	4.2.4.2	Saniertes Wandaufbau mit Calcium- silikat-Innendämmung und adaptiver hydrophober Imprägnierung mit Funcosil <i>Elbphilharmonie</i>	353
3.2.2.2	Nachweise der bestehenden Konstruktion (Kopfverzahnung)	316	4.2.4.3	Vergleich der hygrothermischen Performance einer sanierten, innen gedämmten Wand mit Calciumsilikat ohne Schlagregenschutz und mit adaptiver hydrophober Imprägnierung (Funcosil <i>Elbphilharmonie</i>)	357
3.2.2.3	Experimentelle Untersuchungen	316			
3.3	Nachverdübelung der zweischaligen Mauerwerksbereiche	319			
3.4	Abschätzung der Verformungsbegrenzung des Abfangträgers an der Ostfassade	321			
3.4.1	Berechnungsannahmen	322			
3.4.2	Berechnungsergebnisse	323			
3.4.3	Schlussfolgerungen aus den Berechnungs- ergebnissen	327			
3.4.4	Umsetzung der Präventivmaßnahmen am Bau	329			
3.5	Verankerung der Ziegel-Vorhangschale im neu errichteten 7. OG	329			
3.5.1	Auflagerkonsole	329			
3.5.2	Verankerung der Vormauerschale	331			

XIV	Inhaltsverzeichnis			
4.2.5	Schlussfolgerungen aus den stochastisch-hygrothermischen Simulationsrechnungen	358	6	Literatur 359
			7	Bildnachweis 361
5	Zusammenfassung	359		
	Feuchteschutz von Mauerwerk durch hygrothermische Simulation			363
	Hartwig M. Künzel, Holzkirchen			
	Einleitung	363	4	Grundlagen des instationären Wärme- und Feuchtetransports 372
	Auswirkungen von Feuchte in Baukonstruktionen	363	4.1	Wärmespeicherung 372
			4.2	Wärmeleitung 373
2.1	Feuchtebedingte Erhöhung des Heizenergieverbrauchs	363	4.3	Wärmetransport durch Enthalpieströme mit Phasenänderung 375
2.2	Schäden durch physikalische Prozesse, z.B. Frost-Tau-Wechsel, Salzkristallisation	364	4.4	Feuchtespeicherung 375
			4.5	Feuchtetransportphänomene 376
2.3	Schäden durch chemische Reaktionen, z. B. Korrosion	365	4.6	Gekoppelte Transportgleichungen 381
			4.7	Durchführung einer hygrothermischen Simulation 381
2.4	Schäden in Form von mikrobiellem Wachstum auf Baustoffen	366	4.8	Anwendungs- und Validierungsbeispiel 382
2.5	Alterung oder Entfestigung durch Feuchte- wechsel- (Quell- und Schwindvorgänge) sowie Temperaturwechselbeanspruchung	366		Normen und Richtlinien zur rechnerischen Feuchteschutzbeurteilung 385
			5.1	Dampfdiffusionsberechnung nach <i>Glaser</i> 385
			5.2	Hygrothermische Simulation 387
			5.3	Vergleich der Ergebnisse von Glaser-Berechnung und hygrothermischer Simulation 389
	Instationäre Feuchte- und Temperaturbeanspruchung von Außenwänden - - - -	367		Fazit - - - 390
3.1	Schlagregen	369		Literatur 390
3.2	Tauwasser von außen	370		
3.3	Einbaufeuchte	371		
	III Brandschutztechnische Beurteilung historischer Mauerwerkskonstruktionen			393
	Gerd Gebürtig, Weimar			
1	Einleitung	393	3.6	Durchdringungen und Öffnungsabschlüsse in Mauerwerkswänden 404
2	Brand- und Bestandsschutz	393	3.7	Gegenwärtige Nachweismöglichkeiten .. 404
2.1	Auslegungen des Bestandsschutzes	393		
2.2	Ganzheitliche brandschutztechnische Bestandsaufnahme	394	4	Geeignete Nachrüstungsmaßnahmen - - - - 405
2.2.1	Rettungswege	394	4.1	Rahmenbedingungen für Nachrüstungen . 405
2.2.2	Baulicher Bestand	394	4.2	Verbesserungen durch Putzbeschichtungen 405
2.2.3	Brandschutztechnische Anlagentechnik ..	395	4.3	Herstellen des Raumabschlusses 406
2.2.4	Betrieblich-organisatorische Regelungen .	395	4.4	Erforderliche Dokumentation von Nachrüstungsmaßnahmen 408
	Beurteilung bestehender Konstruktionen aus Mauerwerk	395		Brandschutzkonzepte für Bestandsgebäude 408
3.1	Grundsätzliches	395	5.1	Grundlagen 408
3.2	Beurteilung historischer Konstruktionen anhand bauzeitlicher Regeln und Normen	395	5.2	Einbeziehen der vorgenommenen Bestandsanalyse 409
3.3	Wände, Pfeiler und Stützen	398	5.3	Umgang mit Abweichungen und Erleichterungen 409
3.3.1	Allgemeines	398		
3.3.2	Wände	398		
3.3.3	Pfeiler und Stützen	400		
3.4	Decken	403		
3.5	Treppen	403		Literatur 411

IV	Tragwerksbemessung für den Brandfall nach Eurocode 6 – Erläuterungen zum Nationalen Anhang zu DIN EN 1996-1-2				413
	Christiane Hahn, Hamburg/Braunschweig				
	Einleitung	413	5.2	Bemessungsverfahren	418
	Wesentliche Merkmale zum Brandverhalten von Mauerwerk	414	5.3	Brandschutznachweise in Abhängigkeit von der Steinart	421
	Brandprüfungen national nach DIN 4102-2 bzw. -3 sowie europäisch nach DIN EN 1365-1 bzw. DIN EN 1364-1	414	5.3.1	Grundlagen	421
3.1	Grundlagen	414	5.3.2	Ziegelmauerwerk nach DIN EN 771-1 in Verbindung mit DIN 20000-401	421
3.2	Nichttragende Mauerwerkswände	415	5.3.3	Kalksandsteinmauerwerk nach DIN EN 771-2 in Verbindung mit DIN 20000-402	426
3.3	Tragende Mauerwerkswände	415	5.3.4	Leichtbetonmauerwerk nach DIN EN 771-3 in Verbindung mit DIN 20000-403	434
	Gegenüberstellung der nationalen und europäischen Bemessungsgrundlagen im Brandfall	416	5.3.5	Porenbetonmauerwerk nach DIN EN 771-4 in Verbindung mit DIN 20000-404	440
4.1	DIN 4102-4 und DIN 4102-4/A1 sowie DIN 4102-22	416	5.4	Rechenverfahren – Ingenieurmethoden	444
4.2	DIN EN 1996-1-2	416	5.5	Konstruktionsdetails	444
4.3	Zusammenfassung	416	g	Schlussfolgerungen, weiteres Vorgehen und Ausblick	444
	Tragwerksbemessung im Brandfall nach DIN EN 1996-1-2 in Verbindung mit dem Nationalen Anhang DIN EN 1996-1-2/NA	416	7	Literatur	445
5.1	Grundlagen	416			
	Zukunftssicher bauen – Wie die Energiewende das Bauen verändert				447
	Hans-Dieter Hegner, Berlin und Torsten Schoch, Kloster Lehnin				
	Politische Zielsetzungen, Rahmenbedingungen	447		Förderprogramm für Effizienzhäuser Plus	455
	Neue Anforderungen an das energiesparende Bauen durch die EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden	448	9	Übertragung des Standards Effizienzhaus Plus auf Massivbauten: MI-Haus der Firmen Xella und Elbehaus	458
	Die EnEV 2012/2013, Fördermittel	449	10	Optimierung im Detail: Wärmebrücken	466
	Forschungsinitiative Zukunft Bau	449	11	Welche TGA-Anlage passt zum Haus?	471
	Entwicklung der Effizienzhaus-Marke	450	12	Wie nachhaltig ist ein massives Haus?	473
	Effizienzhaus Plus mit Elektromobilität des BMVBS in Berlin	452	13	Fazit	475
				Literatur	476
	Normen • Zulassungen • Regelwerk				
	Geltende Technische Regeln für den Mauerwerksbau (Deutsche, Europäische und Internationale Normen) (Stand 30.9.2012)				479
	Immo Feine, Berlin				
	Vorbemerkung	479	2.2	Tragwerksbemessung für allgemeine Lastfälle (Kaltbemessung)	480
	Erläuterungen zur Anwendung des Eurocodes 6: „Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten“ vor der Bekanntmachung als Technische Baubestimmung	480	2.3	Tragwerksbemessung für den Brandfall	480
			2.4	Endgültige bauaufsichtliche Einführung des Eurocodes	
2.1	Allgemeines	480	3	Regelwerk	481

Verzeichnis der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für den Mauerwerksbau (Stand 31.8.2012)

495

Wolfram Jäger, Dresden und Roland Hirsch, Berlin

1	Mauerwerk mit Normal- oder Leichtmörtel	496	2.2	Planelemente und dafür zugelassene Dünnbettmörtel	573
1.1	Mauersteine üblichen Formates	496	2.2.1	Planziegel-Elemente	573
1.1.1	Mauerziegel	496	2.2.2	Kalksand-Planelemente	574
1.1.2	Ziegel mit integrierter Wärmedämmung	506	2.2.3	Porenbeton-Planelemente	580
1.1.3	Verfüllziegel	507	2.2.4	Beton-Planelemente	581
1.1.4	Kalksandsteine	508	2.3	Wandbauart aus Planelementen in drittel- oder halbgeschosshoher Ausführung	583
1.1.5	Betonsteine	509	2.4	Weitere Dünnbettmörtel	584
1.1.5.1	Vollsteine und Vollblöcke	509	3	Mauerwerk mit Mittelbettmörtel	585
1.1.5.2	Hohlblocksteine	514	4	Vorgefertigte Wandtafeln	587
1.1.5.3	Hohlblocksteine mit integrierter Wärmedämmung	515	4.1	Geschosshohe Mauertafeln	587
1.1.6	Sonstige Mauersteine	515	4.2	drittel- oder halbgeschosshohe Mauertafeln	589
1.2	Mauersteine größeren Formates	516	4.3	Verguss- und Verbundtafeln	590
1.2.1	Mauerziegel	516	5	Geschosshohe Wandtafeln	590
1.2.2	Betonsteine	516	6	Schalungsstein-Bauarten	591
1.3	Mauermörtel	517	7	Trockenmauerwerk	592
1.3.1	Leichtmörtel	517		Mauerwerk mit PU-Kleber	593
1.3.2	Sonstige Mörtel	517	9	Bewehrtes Mauerwerk	594
2	Mauerwerk mit Dünnbettmörtel	517	9.1	Bewehrung für bewehrtes Mauerwerk	594
2.1	Plansteine üblichen Formates und dafür zugelassene Dünnbettmörtel	517	9.2	Hochlochziegel für bewehrtes Mauerwerk	594
2.1.1	Planziegel	517	9.3	Stürze	594
2.1.2	Planziegel mit integrierter Wärmedämmung	536	10	Ergänzungsbauteile	596
2.1.3	Planverfüllziegel	544	10.1	Mauerfuß-Dämmelemente	596
2.1.4	Kalksand-Plansteine	547	10.2	Anker zur Verbindung der Mauerwerkschalen von zweischaligen Außenwänden	596
2.1.5	Porenbeton-Plansteine	550	10.3	Sonstige Ergänzungselemente	598
2.1.6	Beton-Plansteine	553		Anhang Zulassungsübersicht	599
2.1.6.1	Planvollsteine und Planvollblöcke	553			
2.1.6.2	Planhohlblocksteine	561			
2.1.6.3	Plansteine aus Leichtbeton mit integrierter Wärmedämmung	565			

Forschung

Übersicht über abgeschlossene und laufende Forschungsvorhaben im Mauerwerksbau

617

Anke Eis und Sebastian Ortlepp, Dresden

Vorbemerkung	617	1.2.3	Anwendung der Kapazitätsspektrum-Methode zum Nachweis von Mauerwerksbauten unter Erdbebenbelastung	625	
Forschungsstellen (F)	617	1.2.4	Nachträgliche Hohlraumdämmung des Außenmauerwerks – Anwendung und Dauerhaftigkeit	626	
1	Abgeschlossene Forschungsvorhaben	620	1.2.5	Vorschlag für ein neues Verfahren zur Prüfung der Druckfestigkeit von bestehendem Mauerwerk	626
1.1	Übersicht Forschungsprojekte und Forschungsstellen	620	1.2.6	Charakterisierung von Lehmmauerwerk unter statischer Druck- und Schubbeanspruchung	629
1.2	Kurzberichte	621			
1.2.1	Risssicherheit von Außenputzen	621			
1.2.2	Überprüfung der ansetzbaren Verbundspannungen für die Verankerung der Bewehrungsstäbe in Mauerwerk nach DIN 1053-3 und DIN EN 1996-1-1	623			

2	Laufende Forschungsvorhaben	633	2.2.6	SIM Stoffkreislauf im Mauerwerksbau – Ganzheitliche Eignungsbewertung potenzieller Recyclingwege für Mauerwerksrestmassen	637
2.1	Übersicht Forschungsprojekte und Forschungsstellen	633			
2.2	Kurzberichte	634			
2.2.1	Standicherheit horizontal belasteter Mauerwerkswände unter geringer Auflast	634	2.2.7	SIM Stoffkreislauf im Mauerwerksbau – Nachhaltigkeitsanalyse für das Mauerwerksrecycling	641
2.2.2	Rissicherheit von nichttragenden Trennwänden aus Porenbeton	634	2.2.8	Entwicklung eines Prüfverfahrens für Huminstoffe – Teil 2 (AiF-Nr.: 17339-N)	645
2.2.3	SIM Stoffkreislauf im Mauerwerksbau (Gesamtprojekt)	635	2.2.9	Energetische und mechanische Optimierung des Anschlusses der Decke an monolithische Außenwände aus Mauerwerk mit Passivhausstandard	646
2.2.4	SIM Stoffkreislauf im Mauerwerksbau – Vegetationssubstrate aus rezyklierten Gesteinskörnungen aus Mauerwerk (AiF-Nr.: 17319-N)	636	2.2.10	Leichtgranulate aus Mauerwerkbruch für die Betonherstellung	648
2.2.5	SIM Stoffkreislauf im Mauerwerksbau – Verwertungsoptionen für rezyklierte Gesteinskörnungen aus Mauerwerk in der Steine- und Erden-Industrie (AiF-Nr.: 17251-N)	637	2.2.11	Kalksandstein-Recycling-Material für den Deponiebau – Methanox II (AiF)	653

Experimentelle und numerische Untersuchungen zur Biegezugfestigkeit von Mauerwerk 655
 Ulf Schmidt, Neuwied und Wolfgang Brameshuber, Aachen

1	Einleitung	655	2.2.3.1	Steinversagen	669
2	Biegezugfestigkeit parallel zu den Lagerfugen	656	2.2.3.2	Fugensversagen	674
2.1	Einflussgrößen und bisherige Berechnungsansätze	656	2.2.3.3	Vergleich mit eigenen und früheren Versuchsergebnissen	677
2.1.1	Einflussgrößen und Tragverhalten	656	3	Biegezugfestigkeit senkrecht zu den Lagerfugen	680
2.1.2	Berechnungs- und Bemessungsansätze	657	3.1	Einflussgrößen und bisherige Berechnungsansätze	680
2.2	Eigene Untersuchungen zum Biegetragverhalten parallel zu den Lagerfugen	659	3.1.1	Einflussgrößen und Tragverhalten	680
2.2.1	Untersuchte Materialien und deren Eigenschaften	659	3.1.2	Berechnungs- und Bemessungsansätze	681
2.2.1.1	Untersuchte Materialien	659	3.2	Eigene Untersuchungen zum Biegetragverhalten senkrecht zu den Lagerfugen	683
2.2.1.2	Materialkennwerte der Mauersteine und Größeneffekt auf die Biegezugfestigkeit	659	3.2.1	Untersuchte Materialien und deren Eigenschaften	683
2.2.1.3	Materialkennwerte des Verbundes unter Scherbeanspruchung	662	3.2.1.1	Untersuchte Materialien	683
2.2.2	Untersuchungen an Mauerwerkswänden	664	3.2.1.2	Materialkennwerte der Verbundfugen und Größeneffekt auf die Biegezugfestigkeit	683
2.2.2.1	Experimentelle Untersuchungen	664	3.2.2	Experimentelle Untersuchungen an Mauerwerkswänden	684
2.2.2.2	Numerisches Modell	665	4	Zusammenfassung und Ausblick	686
2.2.2.3	Kalibrierung des Modells und weitere experimentelle Untersuchungsergebnisse	666	5	Literatur	686
2.2.3	Durchführung von Parameterstudien und Herleitung von Berechnungsgleichungen	669			

Stichwortverzeichnis 689