
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 Lehmmauerwerk 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	III
Autoren	XIX
Beiträge früherer Jahrgänge	XXI
A Baustoffe · Bauprodukte	
I Eigenschaften von Mauersteinen, Mauermörtel, Mauerwerk und Putzen	3
Wolfgang Brameshuber, Aachen	
1 Allgemeines	3
2 Eigenschaftskennwerte von Mauersteinen ..	3
2.1 Festigkeitseigenschaften	3
2.1.1 Längsdruckfestigkeit	3
2.1.2 Zugfestigkeiten	3
2.2 Verformungseigenschaften	5
2.2.1 Elastizitätsmodul senkrecht zur Lagerfuge unter Druckbeanspruchung	5
2.2.2 Elastizitätsmodul in Steinlängsrichtung unter Zugbeanspruchung	6
2.2.3 Spannungs-Dehnungs-Linie	6
2.2.4 Querdehnungsmodul	6
2.3 Dehnung aus Schwinden und Quellen, thermische Ausdehnungskoeffizienten	7
3 Eigenschaftswerte von Mauermörteln	7
3.1 Allgemeines	7
3.2 Festigkeitseigenschaften	7
3.2.1 Zugfestigkeit β_Z	7
3.2.2 Scherfestigkeit β_S	7
3.3 Verformungseigenschaften	7
3.3.1 E-Modul (Längsdehnungsmodul) E	7
3.3.2 Querdehnungsmodul E_q	7
3.3.3 Feuchtedehnung (Schwinden ϵ_s)	8
3.3.4 Kriechen (Kriechzahl φ)	9
4 Verbundeigenschaften zwischen Stein und Mörtel	9
4.1 Allgemeines	9
4.2 Haftscherfestigkeit	9
4.3 Haftzugfestigkeit	12
5 Eigenschaftswerte von Mauerwerk	13
5.1 Druckfestigkeit senkrecht zu den Lagerfugen	13
5.2 Druckfestigkeit parallel zu den Lagerfugen	20
5.3 Zugfestigkeit und -tragfähigkeit	20
5.4 Biegezugfestigkeit und -tragfähigkeit	20
5.5 Verformungseigenschaften	24
5.5.1 Allgemeines	24
5.5.2 Druckbeanspruchung senkrecht zu den Lagerfugen	24
5.5.2.1 Druck-E-Modul E_D	24
5.5.2.2 Querdehnungszahl μ_D und Dehnung bei Höchstspannung $\epsilon_{u,D}$	26
5.5.2.3 Völligkeitsgrad α_0	26
5.5.3 Druckbeanspruchung parallel zu den Lagerfugen	26
5.5.3.1 Druck-E-Modul $E_{D,p}$	26
5.5.3.2 Dehnung bei Höchstspannung $\epsilon_{u,D,p}$	26
5.5.4 Zug-E-Modul E_Z (Zugbeanspruchung parallel zu den Lagerfugen)	27
5.5.5 Feuchtedehnung ϵ_f , (Schwinden ϵ_s , irreversibles Quellen ϵ_q), Kriechen (Kriechzahl φ), Wärmedehnungs- koeffizient α_T	27
6 Feuchtigkeitstechnische Kennwerte von Mauersteinen, Mauermörtel und Mauerwerk	28
6.1 Kapillare Wasseraufnahme	28
6.2 Wasserdampfdurchlässigkeit	29
7 Natursteine, Natursteinmauerwerk	29
8 Eigenschaftswerte von Putzen (Außenputz)	29
8.1 Allgemeines	29
8.2 Festigkeitseigenschaften	31
8.2.1 Druckfestigkeit β_D	31
8.2.1 Zugfestigkeit β_Z	31
8.3 Verformungseigenschaften	31
8.3.1 Zug-E-Modul E_Z , dynamischer E-Modul $\text{dyn } E$	31
8.3.2 Zugbruchdehnung $\epsilon_{Z,u}$	31
8.3.3 Zugrelaxation ψ	31
8.3.4 Schwinden ϵ_s , Quellen ϵ_q	31
8.4 Eigenschaftszusammenhänge	31
9 Literatur	32

II	Neuentwicklungen beim Mauerwerksbau mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ)	35			
	Wolfram Jäger, Dresden und Roland Hirsch, Berlin				
	Vorbemerkungen	35	7	Trockenmauerwerk	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	88
2.1	Denkmalpflegerische Strategien und Begriffe	64	5.2.1	Mechanische Verfahren	88
2.2	Praktische Vorgehensweise	66	5.2.2	Chemische Verfahren	90
3	Natursteinverwitterung und Verwitterungs- bilder	68	5.2.3	Laserstrahlreinigung	90
3.1	Allgemeines	68	5.3	Bewertung der Reinigungsergebnisse	91
3.2	Physikalische Verwitterung	69	6	Entsalzung	92
3.2.1	Thermische Beanspruchung	69	6.1	Allgemeines	92
3.2.2	Frost-Tau-Wechsel	71	6.2	Kompressenentsalzungen	92
3.2.3	Feuchtwechsel und hydrische/hygrische Dehnung	73	6.3	Entsalzung im Wasserbad	94
3.2.4	Salzspregung und hygroskopische Salze	74	6.4	Elektrokinetische Verfahren	94
3.3	Chemische Verwitterung	76	6.5	Weitere Methoden und Erfolgskontrolle	95
3.3.1	Lösung und Umwandlung von Karbonaten	77	7	Steinfestigung	95
3.3.2	Oxidationsverwitterung	78	7.1	Allgemeines	95
3.3.3	Mineralumwandlung	78	7.2	Vorzustand und Ziel der Festigung, Voruntersuchungen	96
3.4	Biologische Verwitterung	79	7.3	Wirkstoffsysteme und Applikation	97
3.5	Verwitterungsbilder	80	7.4	Bewertungskriterien	97
4	Naturwissenschaftliche Vor- und Begleituntersuchungen	81	8	Steinergänzung	98
4.1	Allgemeines	81	8.1	Steinergänzung in Naturstein	98
4.2	Dokumentation der Schäden/Kartierung	82	8.2	Steinergänzung mit Steinergänzungs- mörteln	99
4.3	Untersuchungen zur Salzbelastung	83	9	Hydrophobierung	100
4.4	Messung der Wasseraufnahme mit dem Karsten-Prüfröhrchen	84	9.1	Allgemeines	100
4.5	Messung des Bohrwiderstandes	85	9.2	Ziel der Hydrophobierung, Wirkstoffsysteme und Applikation	100
4.6	Messung der Ringbiegezugfestigkeit	86	9.3	Bewertungskriterien	101
4.7	Weitere Messungen	86	9.4	Dauerhaftigkeit und Risiken	101
5	Steinreinigung	87	10	Fazit	102
			11	Literatur	102

IV	Mineralische Mörtel und Putze zur Sanierung historischer Mauerwerksbauten	107		
	Petra Egloffstein, Mainz			
1	Einleitung	107	5.3	Maschinelle Verarbeitung
2	Mörtel und Putze	107	5.3.1	Nassspritz- und Kartuschenverfahren
2.1	Historischer Überblick über die Binde- mittelentwicklung	107	5.3.2	Trockenspritzverfahren
2.2	Geologischer Überblick der Rohstoffe für die Bindemittel	108	5.4	Nachbehandlung
2.3	Bindemittel heute	108	6	Auswahl geeigneter Reparaturmaterialien anhand von beispielhaften Objekten
2.3.1	Gips	108	6.1	Gipsgebundene Mörtel
2.3.2	Kalk	108	6.2	Kalkgebundene Mörtel
2.4	Zement	110	6.2.1	Mörtel mit Luftkalken als Bindemittel ...
2.5	Gesteinskörnungen	112	6.2.1.1	Sumpfkalk- und Luftkalkputz
3	Untersuchungen historischer Mauerwerks- bauten	112	6.2.1.2	Dolomitmalkputz
3.1	Gesteinsmaterial	112	6.2.2	Mörtel mit natürlichen hydraulischen Kalken als Bindemittel
3.2	Mörteluntersuchungen	113	6.2.2.1	Fugenmörtel und Schlämme
3.3	Salzuntersuchungen	115	6.2.2.2	Kartuschenmörtel
3.4	Feuchttechnische Untersuchungen	115	6.2.2.3	Trocken gespritzte Mörtel
4	Mörtel und Putze	116	6.2.3	Mörtel mit hydraulischen Kalken als Bindemittel
4.1	Mörtel	116	6.2.3.1	Mauerkronenmörtel
4.1.1	Mauer- und Fugenmörtel	116	6.2.3.2	Putzmörtel
4.1.2	Injektionsmörtel, Verpressmörtel und Verfüllmörtel	117	6.3	Zementgebundene Mörtel
4.2	Putze	117	6.3.1	Sanierputze und Feuchteregulierungs- putze
5	Applikation von Mörtel und Putzen	118	6.3.2	Injektions- und Verpressmörtel
5.1	Vorbehandlung des Untergrundes	118	7	Zusammenfassung
5.2	Manuelle Verarbeitung	118	8	Literatur
B	Konstruktion · Bauausführung · Bauwerkserhaltung			
I	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
2	Vorgehen bei der Brückenprüfung	138	3.4.2	Hydrophobierung
2.1	Grundlagen	138	3.5	Fugenmörtel
2.1.1	Visuelle Bemusterung	138	3.5.1	Grundlagen
2.1.2	Bohrprogramm	138	3.5.2	Ausführung
2.1.3	Bohrlochspiegel	139	3.5.3	Spritzmörtel zur Fugenfüllung
2.1.4	Verfüllen der Bohrlöcher	140	3.6	Füllung des Mauerwerks durch Injektionen
2.2	Untersuchung am Bohrkern	140	3.6.1	Grundlagen
2.3	Zerstörungsfreie Prüfverfahren	140	3.6.2	Ausführung
2.4	Untersuchung von Druckfestigkeit und Elastizitätsmodul	140	3.6.3	Injektionssuspension
2.4.1	Untersuchungsmethode	140	4	Vorhandene Konstruktion der Brücken ..
2.4.2	Untersuchungsergebnisse	141	4.1	Gründung
3	Mauerwerk und seine Ertüchtigung	142	4.1.1	Konstruktionsprinzip
3.1	Grundsätzliches	142	4.1.2	Typische Schäden Unterspülung/ Ausspülung
3.2	Reinigen des Mauerwerks	142	4.1.3	Untersuchung
3.3	Steinersatz	142	4.1.3.1	Gründung
3.4	Steinfestiger und Hydrophobierung	142	4.1.3.2	Fundamentmauerwerk
3.4.1	Steinfestiger	142	4.1.4	Ertüchtigung der Gründung
3.4.1.1	Grundlagen	142		

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	Kolkschutz	188
5.5.5.2	Pfeiler	183	6	Literatur	188
5.5.5.3	Stirnringe	183			
II	Instandsetzung von gerissem 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 $\sigma_{Spir,R}$, der rechnerischen Rissbreite w_k und der Mauerwerksdehnung ϵ_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 Schubfestigkeit und der Erdbbensicherheit von Lehm-mauerwerk	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 Lehmprüfkörper	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 faserverstärkter Lehmsteine bei der Sanierung der historischen Zitadelle in Bam	230	3.5.2	Ergebnisauswertung Druckfestigkeit	240
3.4	Verbesserung der Scher- und Haftzugfestigkeit	231	3.6	Übertragung der Versuchsergebnisse auf das Schubbruchmodell von Mann/Müller	242
3.4.1	Erhöhung der Scherfestigkeit	231	4	Untersuchungen zur Erdbebensicherheit 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 Ergebnisauswertung Zugversuche mit variierten Lehmsteinoberflächen	236	4.3.1	Versuchsdurchführung	244
3.4.2.2	Versuchsdurchführung und Ergebnisauswertung 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

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, 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			

D Bauphysik · Brandschutz

I	Elbphilharmonie Hamburg: Statisch-konstruktive und bauphysikalische Untersuchungen am Bestandsmauerwerk des Kaispeichers A	299
	Toralf Burkert, Weimar und Rudolf Plagge, Dresden	
1	Einleitung	299
2	Bauwerkserkundungen	301
2.1	Bestandsaufnahme	302
2.2	Schadensaufnahme	303
2.3	Materialuntersuchungen	304
2.3.1	Probenahme	304
2.3.2	Ermittlung von Materialkennwerten	305
2.3.2.1	Druckfestigkeit Ziegel	305
2.3.2.2	Druckfestigkeit Mörtel	306
2.3.2.3	Frostwiderstand Vormauerziegel	307
2.3.2.4	Salzanalyse	308
2.3.2.5	Stahlanalyse	308
2.3.3	Ergebnisse	308
2.3.3.1	Druckfestigkeit und Rohdichte der Ziegelsteine	308
2.3.3.2	Frostwiderstand der Vormauerziegel	308
2.3.3.3	Druckfestigkeit von Mauer- und Verfügmörtel	309
2.3.3.4	Salzanalyse	309
2.3.3.5	Stahlanalyse	310
2.4	Schadens- und Bauzustandsanalyse der Mauerwerkskonstruktion	310
3	Geplante Nutzung des Speichers, Bauablauf und sich daraus ergebende Problemstellungen	310
3.1	Entkernung des Speichergebäudes und Anbindung der neuen Decken	310
3.2	Zustimmungen im Einzelfall	313
3.2.1	Querkraftverankerung mittels Verbunddübel	313
3.2.1.1	Beschreibung des Antragsgegenstandes	313
3.2.1.2	Experimentelle Untersuchungen	313
3.2.2	Ausführung des Verblendmauerwerks – Nachweis der Kopfverzahnung	315
3.2.2.1	Beschreibung des Antragsgegenstandes	315
3.2.2.2	Nachweise der bestehenden Konstruktion (Kopfverzahnung)	316
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 Berechnungsergebnissen	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
3.5.3	Fenster	333
3.5.4	Dehnfugen	334
3.5.5	Lagerfugenbewehrung der Vormauerschale	334
3.5.6	Auflagerkonsole für das Ziegelfertigteil der Attika	336
4	Bauphysikalisches Konzept	337
4.1	Beurteilung des Bestandsmauerwerks	337
4.1.1	Feuchtezustand der Konstruktion	338
4.1.2	Feuchtegehalt der Mauerwerkswände	338
4.1.3	Adaptive hydrophobe Imprägnierung	338
4.1.3.1	Untersuchung von Bestandsziegeln des Kaispeichers	338
4.1.3.2	Ergebnisse der Ziegeluntersuchungen	339
4.1.4	Beurteilung zur Wahl eines Innendämmsystems im Hinblick auf die Austrocknung des Mauerwerkes	340
4.1.4.1	Vergleichende Betrachtung zu unterschiedlichen Innendämmsystemen	341
4.1.4.2	Simulationsergebnisse	341
4.1.5	Zusammenfassende Bemerkungen zu den bauphysikalischen Untersuchungen	342
4.2	Stochastische hygrothermische Simulation zur Absicherung der gewählten Konstruktionsvariante	342
4.2.1	Beschreibung der unterschiedlichen Varianten des Wandaufbaus	343
4.2.2	Beschreibung der stochastischen Prozesse	344
4.2.2.1	Allgemeines	344
4.2.2.2	Verwendete Zufallsvariablen	344
4.2.3	Evaluationskriterien	346
4.2.3.1	Hygrothermisches Verhalten der Konstruktion	346
4.2.3.2	Hygrothermisches Modell zur Vorhersage von Schimmelwachstum	346
4.2.3.3	Hygrothermische Belastungskennzahlen	347
4.2.4	Ergebnisse der stochastischen Simulation	348
4.2.4.1	Sanierter Wandaufbau mit Calciumsilikat-Innendämmung	348
4.2.4.2	Sanierter Wandaufbau mit Calciumsilikat-Innendämmung und adaptiver hydrophober Imprägnierung mit Funcosil <i>Elbphilharmonie</i>	353
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

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

IV	Tragwerksbemessung für den Brandfall nach Eurocode 6 – Erläuterungen zum Nationalen Anhang zu DIN EN 1996-1-2	413		
	Christiane Hahn, Hamburg/Braunschweig			
1	Einleitung	413	5.2	Bemessungsverfahren
2	Wesentliche Merkmale zum Brandverhalten von Mauerwerk	414	5.3	Brandschutznachweise in Abhängigkeit von der Steinart
3	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
3.1	Grundlagen	414	5.3.2	Ziegelmauerwerk nach DIN EN 771-1 in Verbindung mit DIN 20000-401
3.2	Nichttragende Mauerwerkswände	415	5.3.3	Kalksandsteinmauerwerk nach DIN EN 771-2 in Verbindung mit DIN 20000-402
3.3	Tragende Mauerwerkswände	415	5.3.4	Leichtbetonmauerwerk nach DIN EN 771-3 in Verbindung mit DIN 20000-403
4	Gegenüberstellung der nationalen und europäischen Bemessungsgrundlagen im Brandfall	416	5.3.5	Porenbetonmauerwerk nach DIN EN 771-4 in Verbindung mit DIN 20000-404
4.1	DIN 4102-4 und DIN 4102-4/A1 sowie DIN 4102-22	416	5.4	Rechenverfahren – Ingenieurmethoden ..
4.2	DIN EN 1996-1-2	416	5.5	Konstruktionsdetails
4.3	Zusammenfassung	416	6	Schlussfolgerungen, weiteres Vorgehen und Ausblick
5	Tragwerksbemessung im Brandfall nach DIN EN 1996-1-2 in Verbindung mit dem Nationalen Anhang DIN EN 1996-1-2/NA	416	7	Literatur
5.1	Grundlagen	416		
V	Zukunftssicher bauen – Wie die Energiewende das Bauen verändert	447		
	Hans-Dieter Hegner, Berlin und Torsten Schoch, Kloster Lehnin			
1	Politische Zielsetzungen, Rahmenbedingungen	447	7	Förderprogramm für Effizienzhäuser Plus
2	Neue Anforderungen an das energiesparende Bauen durch die EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden ..	448	8	Übertragung des Standards Effizienzhaus Plus auf Massivbauten: M1-Haus der Firmen Xella und Elbehaus
3	Die EnEV 2012/2013, Fördermittel	449	9	Optimierung im Detail: Wärmebrücken ..
4	Forschungsinitiative Zukunft Bau	449	10	Welche TGA-Anlage passt zum Haus? ..
5	Entwicklung der Effizienzhaus-Marke ..	450	11	Wie nachhaltig ist ein massives Haus? ..
6	Effizienzhaus Plus mit Elektromobilität des BMVBS in Berlin	452	12	Fazit
			13	Literatur
E	Normen · Zulassungen · Regelwerk			
I	Geltende Technische Regeln für den Mauerwerksbau (Deutsche, Europäische und Internationale Normen) (Stand 30.9.2012)	479		
	Immo Feine, Berlin			
1	Vorbemerkung	479	2.2	Tragwerksbemessung für allgemeine Lastfälle (Kaltbemessung)
2	Erläuterungen zur Anwendung des Eurocodes 6: „Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten“ vor der Bekanntmachung als Technische Baubestimmung .	480	2.3	Tragwerksbemessung für den Brandfall ..
2.1	Allgemeines	480	2.4	Endgültige bauaufsichtliche Einführung des Eurocodes 6
			3	Regelwerk

II	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
1.1	Mauersteine üblichen Formates	496
1.1.1	Mauerziegel	496
1.1.2	Ziegel mit integrierter Wärmedämmung	506
1.1.3	Verfüllziegel	507
1.1.4	Kalksandsteine	508
1.1.5	Betonsteine	509
1.1.5.1	Vollsteine und Vollblöcke	509
1.1.5.2	Hohlblocksteine	514
1.1.5.3	Hohlblocksteine mit integrierter Wärmedämmung	515
1.1.6	Sonstige Mauersteine	515
1.2	Mauersteine größeren Formates	516
1.2.1	Mauerziegel	516
1.2.2	Betonsteine	516
1.3	Mauermörtel	517
1.3.1	Leichtmörtel	517
1.3.2	Sonstige Mörtel	517
2	Mauerwerk mit Dünnbettmörtel	517
2.1	Plansteine üblichen Formates und dafür zugelassene Dünnbettmörtel	517
2.1.1	Planziegel	517
2.1.2	Planziegel mit integrierter Wärmedämmung	536
2.1.3	Planverfüllziegel	544
2.1.4	Kalksand-Plansteine	547
2.1.5	Porenbeton-Plansteine	550
2.1.6	Beton-Plansteine	553
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
2.2	Planelemente und dafür zugelassene Dünnbettmörtel	573
2.2.1	Planziegel-Elemente	573
2.2.2	Kalksand-Planelemente	574
2.2.3	Porenbeton-Planelemente	580
2.2.4	Beton-Planelemente	581
2.3	Wandbauart aus Planelementen in drittel- oder halbgeschosshoher Ausführung	583
2.4	Weitere Dünnbettmörtel	584
3	Mauerwerk mit Mittelbettmörtel	585
4	Vorgefertigte Wandtafeln	587
4.1	Geschosshohe Mauertafeln	587
4.2	drittel- oder halbgeschosshohe Mauertafeln	589
4.3	Verguss- und Verbundtafeln	590
5	Geschosshohe Wandtafeln	590
6	Schalungsstein-Bauarten	591
7	Trockenmauerwerk	592
8	Mauerwerk mit PU-Kleber	593
9	Bewehrtes Mauerwerk	594
9.1	Bewehrung für bewehrtes Mauerwerk	594
9.2	Hochlochziegel für bewehrtes Mauerwerk	594
9.3	Stürze	594
10	Ergänzungsbauteile	596
10.1	Mauerfuß-Dämmelemente	596
10.2	Anker zur Verbindung der Mauerwerkschalen von zweischaligen Außenwänden	596
10.3	Sonstige Ergänzungselemente	598
	Anhang Zulassungsübersicht	599
F	Forschung	
I	Übersicht über abgeschlossene und laufende Forschungsvorhaben im Mauerwerksbau	617
	Anke Eis und Sebastian Ortlepp, Dresden	
	Vorbemerkung	617
	Forschungsstellen (F)	617
1	Abgeschlossene Forschungsvorhaben	620
1.1	Übersicht Forschungsprojekte und Forschungsstellen	620
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
1.2.3	Anwendung der Kapazitätsspektrum-Methode zum Nachweis von Mauerwerksbauten unter Erdbebenbelastung	625
1.2.4	Nachträgliche Hohlraumdämmung des Außenmauerwerks – Anwendung und Dauerhaftigkeit	626
1.2.5	Vorschlag für ein neues Verfahren zur Prüfung der Druckfestigkeit von bestehendem Mauerwerk	626
1.2.6	Charakterisierung von Lehmmauerwerk unter statischer Druck- und Schubbeanspruchung	629

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

