

2023

MAUERWERK KALENDER

Instandsetzung

Erdbeben

Lehmbau

Herausgegeben von

Detleff Schermer, Regensburg

Eric Brehm, Karlsruhe

48. Jahrgang

Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser,
wir freuen uns sehr, Ihnen die neueste Ausgabe des Mauerwerk-Kalenders vorlegen zu dürfen, welcher sich mit den Schwerpunkten „Instandsetzung – Erdbeben – Lehmbau“ auseinandersetzt.

Die Bauwirtschaft steht vor epochalen Umbrüchen. Das Erfordernis nach einer nachhaltigen – aktuell vor allem mit „klimaefizient“ übersetzt – Bauweise wird in sehr naher Zukunft zum wahrscheinlich größten Wandel der Nachkriegszeit führen, welcher alle Beteiligten gleichermaßen erfassen wird. In Kombination mit der Vielzahl zeitgleicher Herausforderungen, vor allem der Energiekrise und dem Fachkräftemangel, werden die vor uns stehenden Aufgaben einschneidend werden. Eine solche Situation schien bis vor Kurzem noch kaum vorstellbar.

Die Reaktion auf die anstehenden Aufgaben wird das bestimmende Thema auch dieser Publikation in den nächsten Jahren werden. Daraus ergeben sich die Schwerpunkte „Instandsetzung“ und „Lehmbau“ dieses Bandes. Hier freuen wir uns durch die Beiträge von Brinkmann et al. sowie Ziegert und Röhlen die Grundlagen für eine erfolgreiche Verbreitung der Bauweise in der Praxis zur Verfügung stellen zu dürfen.

Aber auch aktuelle normative Entwicklungen, die nicht im direkten Zusammenhang mit dem oben beschriebenen Bauwandel stehen, werden weiterhin aufgegriffen und behandelt. Daraus ergibt sich der dritte Schwerpunkt „Erdbeben“, der durch den Beitrag von Butenweg et al. einen hervorragenden Überblick über

den rechnerischen Nachweis nach DIN EN 1998-1 liefert.

Eine Möglichkeit, auf die anstehenden Herausforderungen durch den Fachkräftemangel zu reagieren, stellt der verstärkte Einsatz von künstlicher Intelligenz dar. Die Möglichkeiten und deren Anwendung im Wohnungsbau beschreibt der Beitrag von Kraus und Obergriesser.

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

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

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

Herzliche Grüße

Bensheim und München, Prof. Dr.-Ing. Eric Brehm
im Oktober 2022, Prof. Dr.-Ing. Detleff Schermer

Inhaltsverzeichnis

Vorwort III

Autor:innenverzeichnis XIII

A Normen und Baustoffe

A1 Eigenschaften und Eigenschaftswerte von Mauersteinen, Mauermörtel und Mauerwerk 1

Michael Raupach, Dorothea Saenger, Bernd Winkels

1	Einleitung	3	5.1	Allgemeines	8
2	Mauersteine	3	5.2	Haftscherfestigkeit	8
2.1	Festigkeitseigenschaften	3	5.3	Haftzug- und Biegehaftzugfestigkeit	9
2.1.1	Druckfestigkeit in Steinhöhe	3	6	Mauerwerk	10
2.1.2	Druckfestigkeit in Steinlänge und -breite	3	6.1	Allgemeines	10
2.1.3	Zug- und Spaltzugfestigkeit	3	6.2	Festigkeitseigenschaften	10
2.2	Verformungseigenschaften	4	6.2.1	Druckfestigkeit senkrecht zu den Lagerfugen	10
2.2.1	Elastizitätsmoduln	4	6.2.2	Druckfestigkeit parallel zu den Lagerfugen	11
2.2.2	Querdehnungsmodul, Querdehnzahl	4	6.2.3	Zugfestigkeit	11
2.3	Kapillare Wasseraufnahme	5	6.2.4	Biegezugfestigkeit	13
3	Mauermörtel	6	6.2.5	Schubfestigkeit	13
3.1	Festigkeitseigenschaften	6	6.3	Verformungseigenschaften	14
3.1.1	Druckfestigkeit	6	6.3.1	Elastizitätsmoduln	14
3.1.2	Zugfestigkeit	6	6.3.2	Feuchtedehnung, Kriechen, Wärmedehnung	14
3.2	Längs- und Querdehnungsmoduln	6		Literatur	16
4	Mauermörtel im Mauerwerk	6			
5	Verbund zwischen Mauerstein und Mauermörtel	8			

A2 Neuentwicklungen im Mauerwerksbau mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ) bzw. mit allgemeiner Bauartgenehmigung (aBG) 17

Jennifer Gebhardt, Simon Gille

0	Allgemeines	19	5	Schalungsstein-Bauarten	50
0.1	Gesonderte Regelungen zu Schlitzfenstern	20	6	Trockenmauerwerk	50
0.1.1	Vertikalschlitzfenster	20	7	Mauerwerk mit PU-Kleber	50
0.1.2	Horizontalschlitzfenster	20	8	Bewehrtes Mauerwerk	56
0.2	Weitere allgemeine Bestimmungen und Anforderungen	20	9	Ergänzungsbauteile	56
1	Mauerwerk mit Normal- oder Leichtmauermörtel	20	10	Fertigbauteile	56
2	Mauerwerk mit Dünnbettmörtel	20	11	Betonelemente	57
3	Mauerwerk mit Mittelbettmörtel	46		Literatur	57
4	Vorgefertigte Wandtafeln	47			

A3 Geltende Technische Regeln für den Mauerwerksbau (Deutsche, Europäische und Internationale Normen) (Stand 25.03.2022) 59

Benjamin Purkert

1	Vorbemerkung	61		Literatur	77
2	Regelwerk	62			

B Gestaltung und Konstruktion (Neubau)**B 1 Grundlagen zur Bemessung druckbeanspruchten Lehm-mauerwerks 79**

Maximilian Brinkmann, Philipp Wiehle, Marc Thiele, Carl-Alexander Graubner

1	Einleitung	81	3.2	Materialmodellierung	96
2	Experimentelle Untersuchungen an Lehm-mauerwerk	82	3.3	Numerische Berechnung der Traglast	97
2.1	Einfluss des Feuchtegehalts	82	3.3.1	Modellierungsstrategie	97
2.2	Steine und Mörtel	82	3.3.2	Geometrie	98
2.2.1	Allgemeines	82	3.3.3	Lagerungsbedingungen und Belastung	98
2.2.2	Probekörpervorbereitung und Versuchsdurchführung	83	3.3.4	Diskretisierung	99
2.2.3	Ergebnisse und Auswertung	84	3.4	Analytische Berechnung der Traglast	99
2.3	Lehm-mauerwerk	86	3.5	Validierung der Traglastmodelle	100
2.3.1	Allgemeines	86	3.6	Fazit	101
2.3.2	RILEM-Probekörper	86	4	Bemessung druckbeanspruchten Lehm-mauerwerks auf Basis von DIN EN 1996/NA	102
2.3.2.1	Probekörpervorbereitung und Versuchsdurchführung	86	4.1	Allgemeines	102
2.3.2.2	Ergebnisse und Auswertung der zentrischen Druckversuche	88	4.2	Semiprobabilistisches Sicherheitskonzept	103
2.3.2.3	Ergebnisse und Auswertung der exzentrischen Druckversuche	90	4.3	Ermittlung der charakteristischen Lehm-mauerwerksdruckfestigkeit	104
2.3.2.4	Ergebnisse und Auswertung der Kriechversuche	90	4.4	Berücksichtigung der bemessungsrelevanten Materialfeuchte	105
2.3.3	Geschosshohe Wände	92	4.5	Vereinfachte Traglastfaktoren auf Basis von DIN EN 1996-3/NA	106
2.3.3.1	Probekörpervorbereitung und Versuchsdurchführung	92	4.6	Fazit	108
2.3.3.2	Ergebnisse und Auswertung	93	5	Zusammenfassung und Ausblick	108
2.4	Zusammenfassung	94	6	Danksagung	109
3	Tragfähigkeit von Lehm-mauerwerk	95		Literatur	109
3.1	Allgemeines	95			

B 2 Normen im Lehm-bau 111

Christof Ziegert, Ulrich Röhlen

1	Einleitung	113	3.4	DIN 18946:2018-12 Lehm-mauermörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung	120
2	Struktur und bauaufsichtliche Einordnung der Regelwerke im Lehm-bau	116	3.5	DIN 18947:2018-12 Lehmputzmörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung	120
3	Ausgewählte Inhalte der Normen zum Lehm-bau	117	3.6	DIN 18948:2018-12 Lehmplatten – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung	122
3.1	DIN 18942-1:2018-12 Lehm-baustoffe und Lehm-bauprodukte – Teil 1: Begriffe	117	3.7	Entwurf DIN 18940 Tragendes Lehmstein-mauerwerk – Konstruktion, Bemessung und Ausführung	123
3.2	DIN 18942-100:2018-12 Lehm-baustoffe und Lehm-bauprodukte – Teil 100: Konformitätsnachweis	118		Literatur	125
3.3	DIN 18945:2018-12 Lehmsteine – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung	118			

B 3	Konservierung von mesopotamischen Lehmsteinbauten in Uruk (Südirak), der ersten Metropole der Menschheit 127		
	Jasmine Alia Blaschek, Christof Ziegert		
1	Einleitung 129	5.2	Eanna-Zikkurat, Westecke 133
2	Kulturhistorischer Hintergrund der Architekturreste in Uruk 129	5.2.1	Untersuchungen, Konservierungsmaterialien 135
3	Archäologischer Hintergrund 132	5.2.2	Umsetzung der Notsicherung 138
4	Entwicklung und Umsetzung einer Erhaltungs- und Ausbildungsstrategie 132	5.3	Anu-Zikkurat, Weißer Tempel 139
5	Bereits durchgeführte Erhaltungsmaßnahmen 133	5.3.1	Untersuchungen, Konservierungsmaterialien 142
5.1	Infrastrukturelle Maßnahmen: Wege für Besuchende und die Lorenbahn 133	5.3.2	Notkonservierungskonzept 144
		5.3.3	Umsetzung der Notsicherung 147
		6	Ausblick 150
		7	Danksagung 150
			Literatur 151
C	Konstruktive Details (Bauphysik)		
C 1	Erdbebennachweis von Mauerwerksbauten nach DIN EN 1998-1 153		
	Christoph Butenweg, Thomas Kubalski, Christoph Gellert, Khaled El-Deib		
1	Einleitung 155	5.2.1	Grundlagen und Berechnungsablauf 172
2	Erdbebeneinwirkung: DIN EN 1998-1/NA 155	5.2.2	Ermittlung der Kapazitätskurven für Mauerwerksgebäude 173
3	Seismisches Verhalten von Mauerwerksbauten 158	5.3	Berücksichtigung von Torsionseffekten 175
3.1	Versagensformen von tragenden Mauerwerkswänden 158	5.4	Ansatz von Verhaltensbeiwerten für Mauerwerk 175
3.2	Erdbebenschäden und neue Nachweisansätze 159	5.4.1	Pauschaler Ansatz 175
3.3	Wand-Decken-Interaktion und Normalkraftumlagerungen 160	5.4.2	Ansatz erhöhter Verhaltensbeiwerte mit Pushover-Analysen 175
3.4	Berücksichtigung der Wand-Decken-Interaktion 163	5.4.2.1	Verhaltensbeiwert für Verformungsfähigkeit und Energiedissipation 176
3.5	Ansatz zur Ermittlung der Momentenverteilungsfaktoren 163	5.4.2.2	Verhaltensbeiwerte für Lastumverteilung und Überfestigkeiten 176
3.6	Bemessung der Stahlbetondecken 167	6	Berechnungsbeispiele 176
3.7	Verhalten von nichttragenden Trennwänden 167	6.1	Reihenhaus: Nachweis mit konstruktiven Regeln 176
3.8	Verhalten von Vormauerschalen 169	6.2	Mehrfamilienhaus: Linearer kraftbasierter Ansatz 180
4	Auslegung mit konstruktiven Regeln 170	6.2.1	Bauwerksbeschreibung und Erdbebeneinwirkung 180
5	Rechenverfahren 171	6.2.2	Statisches Ersatzsystem 181
5.1	Lineare kraftbasierte Berechnungen 171	6.2.3	Statische Ersatzlasten 181
5.1.1	Vereinfachtes Antwortspektrenverfahren 171	6.2.4	Verteilung der statischen Ersatzlasten auf die Schubwände 182
5.1.2	Multimodales Antwortspektrenverfahren 172	6.2.5	Stand sicherheitsnachweise nach DIN EN 1998-1/NA 182
5.1.2.1	Berechnung der erforderlichen Schwingformen 172	6.2.5.1	Nachweis mit einem Verhaltensbeiwert von $q = 1,7$ 182
5.1.2.2	Kombination der Schwingformen und Richtungüberlagerung 172	6.2.5.2	Nachweis mit erhöhten Verhaltensbeiwerten 182
5.2	Nichtlineare statische Berechnungen 172		

6.3	Mehrfamilienhaus: Linearer und nichtlinearer Nachweis	182	6.3.5	Nichtlinearer statischer Nachweis	186
6.3.1	Bauwerksbeschreibung und Erdbebenwirkung	182	6.3.6	Nachweis der Trennwände im 3. Obergeschoss	188
6.3.2	Modellierung des Gebäudes	183	6.3.7	Nachweis der Vormauerschale	188
6.3.3	Ansatz von Rahmentragwirkung durch Mitwirkung der Geschossdecken	184	7	Zusammenfassung	188
6.3.4	Nachweis der Schubwände	186		Literatur	188
C 2	Technische Erweiterung und kulturelle Bedeutung von Eisenbahngewölbebrücken				191
	Conrad Pelka, Johanna Monka, Gregor Schacht, Steffen Marx				
1	Erhalt von Gewölbebrücken – eine Verpflichtung	193	5.2.3	Halbfertigteilbauweise	214
2	Eisenbahn(gewölbe)brücken	194	5.2.4	Fertigteilbauweise	214
2.1	Zustand und Entwicklung	194	5.3	Anwendungsgrenzen für Fahrbahnplattensysteme	215
2.2	Gewölbebrücken in Sachsen	195	5.4	Gestaltung von Fahrbahnplattensystemen	215
2.2.1	Entwicklung der Eisenbahn in Sachsen	195	6	Eine nachhaltige Zukunft mit Gewölbebrücken	216
2.2.2	Entwicklung der Gewölbebrücken	196	6.1	CO ₂ -Bilanzierung	216
2.3	Eisenbahnentwicklung im Stadtgebiet Leipzig	196	6.2	Finanzierungswürdigkeit von historischen Eisenbahngewölbebrücken	217
3	Konstruktion von Eisenbahngewölbebrücken	199	7	Beispielbauwerke	218
3.1	Bogenformen	199	7.1	Kornhain B6 (Strecke 6363, km 29,25)	218
3.2	Material der Gewölbebrücken	202	7.2	EÜ Pleißbrücke (Strecke 6362, km 4,563)	221
3.3	Entwicklung der Belastungsmodelle für Eisenbahnbrücken	203	7.3	Viadukt Luppe (Strecke 6380, km 1,525)	225
3.4	Statische Wirksamkeit	205	7.4	Karl-Heine-Kanal (Strecke 6383, km 10,504)	227
4	Typische Schäden bei Gewölbebrücken	206	7.5	An der Parthe (Strecke 6360, km 3,844)	231
4.1	Klassifizierung und Bewertung	206	7.6	Parthe, Flussbrücke (Strecke 6360, km 4,015)	234
4.2	Zustandserfassung bei Eisenbahngewölbebrücken	207	8	Analyse zur erhöhten Lebenserwartung ausgewählter Gewölbebrücken in und um Leipzig	236
4.2.1	Visuelle Begutachtung	209	9	Zusammenfassung	236
4.2.2	Strukturelle Analyse	209	10	Potenzial	237
4.2.3	Beurteilung der Tragsicherheit	210		Literatur	239
5	Generalsanierung	211			
5.1	Sanierungsmöglichkeiten bei Gewölbebrücken	211			
5.2	Fahrbahnwannensysteme	213			
5.2.1	Historische Entwicklung	213			
5.2.2	Ortbetonbauweise	213			
C 3	Brandschutzbemessung von Mauerwerkskonstruktionen nach Eurocode 6				243
	Thorsten Mittmann				
1	Gesetzliche Grundlagen	245	2.2	Brandverhalten der Baustoffe	247
2	Brandschutztechnische Anforderungen an die Bauteile	245	3	Erläuterungen der Begriffe	248
2.1	Feuerwiderstand von Bauteilen	245	3.1	Nichttragende Wände	248
2.1.1	Europäische Klassifizierung	245	3.2	Tragende Wände	248
2.1.2	Nationale Klassifizierung	246	3.3	Raumabschließende Wände	248
2.1.3	Anwendung der Klassen im bauaufsichtlichen Verfahren	246	3.4	Nichtraumabschließende Wände	249

4	Nachweise im bauaufsichtlichen Verfahren 249	6.1	Bemessung nach DIN EN 1996-1-2/NA 253
5	Maßgebende Nachweise bei Mauerwerkskonstruktionen 249	6.1.1	Nichttragende Wände 253
5.1	Änderungen durch die Musterbauordnung seit 2016 250	6.1.2	Bemessungsbeispiel: Nichttragende Wand 254
5.2	Änderungen bei den prüftechnischen Nachweisen 250	6.1.3	Tragende Wände 254
5.2.1	Ausnutzungsfaktor α_{fi} 251	6.1.4	Bemessungsbeispiel: Tragende Wand aus Hochlochziegel HLz12, 1,2, Normalmauermörtel NM IIa 254
5.2.2	Ausnutzungsfaktor $\alpha_{6,fi}$ 252	6.1.5	Putze 255
5.2.3	Zusammenfassung der Änderungen der Prüfnormen 252	6.1.6	Details 255
5.3	Extrapolationsnormen 252	7	Zusammenfassung 255
6	Brandschutztechnische Bemessung von Mauerwerk 253		Literatur 256
D	Mauerwerk im Bestand		
D 1	Natur und Denkmal: Mauerwerksinstandsetzung im Spannungsfeld zwischen zwei Erhaltungszielen 257		
	Christian Kayser		
1	Allgemeines 259	1.3.1	Ortsfester Besatz 265
1.1	Denkmalgerechte Instandsetzung von historischem Natursteinmauerwerk 259	1.3.1.1	Gehölze: Bäume und Sträucher 265
		1.3.1.2	Rankpflanzen (Efeu) 265
1.2	Natursteinmauern als Lebensraum 261	1.3.1.3	Kleinpflanzen, Moose 266
1.2.1	Tiere 261	1.4	Empfehlungen für die Praxis 266
1.2.1.1	Fledermäuse 261	1.4.1	Tiere 267
1.2.1.2	Vögel 262	1.4.1.1	Fledermäuse 267
1.2.1.3	Sonstige Wirbeltiere 262	1.4.1.2	Vögel 267
1.2.1.4	Wirbellose 262	1.4.1.3	Sonstige Wirbeltiere und Wirbellose 267
1.2.2	Ortsfester Besatz 263	1.4.2	Ortsfester Besatz 268
1.2.2.1	Gehölze: Bäume und Sträucher auf und an den Mauern 263	1.5	Monitoring und Pflege 268
1.2.2.2	Rankpflanzen (Efeu) 263	2	Fallbeispiel: Zitadelle Mainz 269
1.2.2.3	Kleinpflanzen auf Maueroberflächen und -kronen 263	2.1	Übersicht 269
1.2.2.4	Moose auf Maueroberflächen 263	2.2	Zielkonflikt Natur- und Denkmalschutz 270
1.2.2.5	Flechten 264	2.3	Konzepte und Maßnahmen 270
1.3	Mögliche Zielkonflikte zwischen Denkmalschutz und Naturschutz 264		Literatur 273
E	Innovationen im Mauerwerksbau		
E 1	Digitale Transformation im Bauwesen – Grundlagen zur künstlichen Intelligenz und deren Anwendung im Wohnungsbau 275		
	Michael A. Kraus, Mathias Obergrießer		
	Begriffsverzeichnis/Dictionary 277	3	Einführung in die künstliche Intelligenz sowie das maschinelle und tiefe Lernen 283
1	Einleitung und Motivation 281	3.1	Grundlagen zu KI-Algorithmen, Modellen und Daten 283
2	Digitale Transformation als Voraussetzung für den Einsatz von künstlicher Intelligenz – Status quo und aktuelle Trends im Bauwesen 282	3.2	Machine Learning/ Maschinelles Lernen 288

3.3	Deep Learning/Tiefes Lernen	290	5	Potenziale und Zukunftstrends von künstlicher Intelligenz im Mauerwerks- und Wohnungsbau	301
4	Anwendungsbeispiele zum Einsatz von künstlicher Intelligenz im Wohnungsbau	293	5.1	Zukunftstrends für die Methoden der künstlichen Intelligenz	301
4.1	Hintergrundinformationen zu Lebenszyklusphasen von Gebäuden	293	5.2	Zukunftstrends für die Anwendung der künstlichen Intelligenz im Bauwesen	302
4.2	Lebenszyklusphase „Entwurf“	294	6	Fazit und Ausblick	302
4.2.1	Konzeptioneller Entwurf (Raumprogramm und Grundrisse) mit generativer KI	294	6.1	Zusammenfassung	302
4.2.2	KI-basierte Ersatzmodelle zur statischen Bemessung im Wohnungsbau	295	6.2	Epilog	304
4.3	Lebenszyklusphase „Bau und Konstruktion“	298		Literatur	305
4.4	Lebenszyklusphasen „Betrieb und Instandhaltung“	300			
F	Forschung				
F 1	Übersicht über laufende Forschungsvorhaben im Mauerwerksbau	309			
	Jonathan Schmalz, Simon Gille, Jennifer Gebhardt				
1	Laufende Forschungsvorhaben	315	1.2.5	Entwicklung eines innovativen Ansatzes zur Entkopplung von Ausfachungen und nichttragenden Trennwänden aus Mauerwerk von der Tragstruktur	329
1.1	Übersicht Forschungsprojekte und Forschungsstellen	315	1.2.6	Planziegelmauerwerk – Bestimmung der Eingangswerte für die Bemessung auf Basis von Versuchen: Datenerhebung und Analyse experimenteller Wanddruckversuche	331
1.2	Kurzberichte	315			
1.2.1	Vereinfachtes Nachweisverfahren für wärmedämmendes Ziegelmauerwerk im Brandfall	315			
1.2.2	Aufbaukörnungen aus gipshaltigem Ziegelmauerwerk	317			
1.2.3	Neue Ansätze für die realistische Bemessung von Mauerwerksbauten unter Horizontallasten	324			
1.2.4	Verhalten von Stahlbetonrahmen mit entkoppelten Mauerwerksausfachungen und Öffnungen unter seismischen Einwirkungen	326			
	Stichwortverzeichnis	335			