

## Inhaltsübersicht

### A Baustoffe • Bauprodukte

- I Eigenschaften von Mauersteinen, Mauermörtel, Mauerwerk und Putzen 3  
Wolfgang Brameshuber<sup>†</sup>, Aachen
- II Mauerwerksbau mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ)  
bzw. mit allgemeiner Bauartgenehmigung (aBg) 31  
Wolfram Jäger, Dresden und Roland Hirsch, Berlin
- III Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Drucktragverhalten von Mauerwerk 265  
Markus Graubohm, Aachen

### B Konstruktion • Bauausführung • Bauwerkserhaltung

- I Statisch-konstruktive Sicherungsarbeiten am westlichen Iwan der UNESCO-Welterbestätte Takht-e Soleyman,  
Iran 295  
Toralf Burkert, Weimar, Christian Fuchs, Berlin und Robert Sobott, Naumburg
- II Ev.-Luth. Hauptpfarrkirche Zwickau – seit 1935 Dom St. Marien Zwickau 333  
Toralf Burkert, Weimar und Peter Schöps, Radebeul
- III Tragverhalten und Tragfähigkeit von Injektionsdübeln in Lochsteinen unter Berücksichtigung der Steingeometrie 379  
Marina Stipetic und Jan Hofmann, Stuttgart

### C Bemessung

- I Forschungsvorhaben zur Bewertung der Tragfähigkeit von Injektionsdübeln in Mauerwerk im Rahmen  
von Baustellenversuchen 413  
Rainer Becker, Dortmund, Jan Hofmann, Stuttgart, Catherina Thiele und Florian Wendel, Kaiserslautern
- II Tragfähigkeit ausfachender Mauerwerkswände unter Berücksichtigung der verformungsbasierten  
Membranwirkung 431  
Michael Schmitt, Lauterbach und Carl-Alexander Graubner, Darmstadt
- III Aussteifungssysteme mit Mauerwerksscheiben 461  
Werner Seim, Kassel und Kai Sommerlade, Lohfelden

### D Bauphysik • Brandschutz

- I Schallschutz im Mauerwerksbau 481  
Heinz-Martin Fischer und Martin Schneider, Stuttgart
- II Vereinfachter Nachweis des Tauwasserschutzes nach DIN 4108-3:2018 547  
Helmut Marquardt, Buxtehude
- III Innendämmung eines historischen Mauerwerks mit konventionellen und aerogelhaltigen Dämmstoffen –  
Eine hygrothermische Analyse 591  
Karim Ghazi Wakili und Thomas Stahl, Winterthur, Schweiz

VI Inhaltsübersicht

---

**E Normen • Zulassungen • Regelwerk**

- I Geltende Technische Regeln für den Mauerwerksbau (Deutsche, Europäische und Internationale Normen) (Stand 31.05.2018) 611  
Peter Rauh, Berlin und Carola Hauschild, Radebeul
- II Verzeichnis der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen/allgemeinen Bauartgenehmigungen für den Mauerwerksbau (Stand 31.05.2018) 631  
Wolfram Jäger, Dresden und Roland Hirsch, Berlin
- III Die Anpassung des nationalen Bauproduktenrechts nach dem Urteil des EuGH vom 16. Oktober 2014 765  
Tina Gerschler, Berlin

**F Forschung**

- I Übersicht über abgeschlossene und laufende Forschungsvorhaben im Mauerwerksbau 783  
Anke Eis, Dresden

**Stichwortverzeichnis** 789

**Inhaltsverzeichnis**

<b>Vorwort</b> .....	III
<b>Autoren</b> .....	XVII
<b>A Baustoffe • Bauprodukte</b>	
<b>I Eigenschaften von Mauersteinen, Mauermörtel, Mauerwerk und Putzen</b> .....	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-Dehnungslinie .....	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 $\beta_Z$ .....	7
3.2.2 Scherfestigkeit $\beta_S$ .....	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 $\epsilon_s$ ) .....	8
3.3.4 Kriechen (Kriechzahl $\phi$ ) .....	9
4 Verbundeigenschaften zwischen Stein und Mörtel .....	9
4.1 Allgemeines .....	9
4.2 Haftscherfestigkeit .....	9
4.3 Haftzugfestigkeit .....	9
5 Eigenschaftswerte von Mauerwerk .....	9
5.1 Allgemeines .....	9
5.2 Druckfestigkeit senkrecht zu den Lagerfugen .....	9
5.2.1 Experimentelle Bestimmung .....	9
5.2.2 Rechnerische Bestimmung .....	10
5.3 Druckfestigkeit parallel zu den Lagerfugen .....	14
5.4 Zugfestigkeit und -tragfähigkeit .....	14
5.5 Biegezugfestigkeit und -tragfähigkeit ...	15
5.6 Verformungseigenschaften .....	18
5.6.1 Allgemeines .....	18
5.6.2 Druckbeanspruchung senkrecht zu den Lagerfugen .....	18
5.6.2.1 Druck-E-Modul $E_D$ .....	18
5.6.2.2 Querdehnungszahl $\mu_D$ und Dehnung bei Höchstspannung $\epsilon_{u,D}$ .....	18
5.6.2.3 Völligkeitsgrad $\alpha_0$ .....	20
5.6.3 Druckbeanspruchung parallel zu den Lagerfugen .....	20
5.6.3.1 Druck-E-Modul $E_{D,p}$ .....	20
5.6.3.2 Dehnung bei Höchstspannung $\epsilon_{u,D,p}$ ...	20
5.6.4 Zug-E-Modul $E_Z$ (Zugbeanspruchung parallel zu den Lagerfugen) .....	20
5.6.5 Feuchtedehnung $\epsilon_f$ , (Schwinden $\epsilon_s$ , irreversibles Quellen $\epsilon_q$ ), Kriechen (Kriechzahl $\phi$ ), Wärmedehnungskoeffizient $\alpha_T$ .....	21
6 Feuchtigkeitstechnische Kennwerte von Mauersteinen, Mauermörtel und Mauerwerk .....	22
6.1 Kapillare Wasseraufnahme .....	22
6.2 Wasserdampfdurchlässigkeit .....	23
7 Natursteine, Natursteinmauerwerk .....	23
8 Eigenschaftswerte von Putzen (Außenputz) .....	24
8.1 Allgemeines .....	24
8.2 Festigkeitseigenschaften .....	25
8.2.1 Druckfestigkeit $\beta_D$ .....	25
8.2.2 Zugfestigkeit $\beta_Z$ .....	25
8.2.3 Verformungseigenschaften .....	25
8.3.1 Zug-E-Modul $E_Z$ , dynamischer E-Modul $\text{dyn } E$ .....	25
8.3.2 Zugbruchdehnung $\epsilon_{Z,u}$ .....	25
8.3.3 Zugrelaxation $\psi$ .....	25
8.3.4 Schwinden $\epsilon_s$ , Quellen $\epsilon_q$ .....	25
8.4 Eigenschaftszusammenhänge .....	26
9 Literatur .....	26

## VIII Inhaltsverzeichnis

<b>II</b>	<b>Mauerwerksbau mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ) bzw. mit allgemeiner Bauartgenehmigung (aBg)</b> .....	<b>31</b>			
	Wolfram Jäger, Dresden und Roland Hirsch, Berlin				
0	Allgemeines .....	34	2.2.2	Kalksand-Planelemente .....	151
0.1	Nachweis der Mindestauflast .....	34	2.2.3	Porenbeton-Planelemente .....	158
0.1.1	Mauerwerk nach DIN 1053-1 .....	34	2.2.4	Beton-Planelemente .....	158
0.1.2	Nachweis der Mindestauflast – Mauerwerk nach DIN EN 1996 (Eurocode 6) .....	34	2.3	Wandbauart aus Planelementen in drittel- oder halbgeschosshoher Ausführung .....	161
0.1.2.1	Vereinfachte Berechnungsmethoden nach DIN EN 1996-3 .....	34	2.4	Weitere Dünnbettmörtel .....	163
0.1.2.2	Weiter vereinfachte Berechnungsmethoden nach DIN EN 1996-3, Anhang A .....	34	3	Mauerwerk mit Mittelbettmörtel .....	166
0.2	Wände mit teilweise aufliegender Decke	34	4	Vorgefertigte Wandtafeln .....	167
0.2.1	Mauerwerk nach DIN 1053-1 .....	34	4.1	Geschosshohe Mauertafeln .....	167
0.2.2	Mauerwerk nach DIN EN 1996 (Eurocode 6) .....	34	4.2	Drittel- oder halbgeschosshohe Mauertafeln .....	186
0.3	Sonderregelungen zur Knicklänge .....	34	4.3	Verguss- und Verbundtafeln .....	187
0.4	Gesonderte Regelungen zu Schlitzen .....	35	5	Geschosshohe Wandtafeln .....	187
0.4.1	Vertikalschlitze .....	35	6	Schalungsstein-Bauarten .....	187
0.4.2	Horizontalschlitze .....	35	6.1	Konstruktion und Baustoffe .....	187
1	Mauerwerk mit Normal- oder Leichtmauermörtel .....	35	6.1.1	Konstruktion .....	187
1.1	Mauerziegel .....	35	6.1.2	Steine .....	188
1.2	Verfüllziegel .....	51	6.1.3	Mörtel .....	189
1.3	Kalksandsteine .....	52	6.1.4	Füllbeton .....	189
1.4	Betonsteine .....	54	6.2	Herstellung des Mauerwerks auf der Baustelle, Konstruktion .....	189
1.4.1	Vollsteine und Vollblöcke .....	54	6.3	Entwurf und Berechnung .....	190
1.4.2	Hohlblocksteine .....	57	6.4	Wärmeschutz .....	191
1.4.3	Hohlblocksteine mit integrierter Wärmedämmung .....	57	6.5	Brandschutz .....	191
1.5	Sonstige Mauersteine .....	57	7	Trockenmauerwerk .....	191
2	Mauerwerk mit Dünnbettmörtel .....	58	8	Mauerwerk mit PU-Kleber .....	198
2.1	Plansteine üblichen Formates und dafür zugelassene Dünnbettmörtel .....	58	8.1	Planziegel .....	198
2.1.1	Planziegel .....	58	8.2	Planverfüllziegel .....	204
2.1.2	Planziegel mit integrierter Wärmedämmung .....	90	8.3	Porenbeton-Plansteine .....	208
2.1.3	Planverfüllziegel .....	116	9	Bewehrtes Mauerwerk .....	211
2.1.4	Kalksand-Plansteine .....	118	9.1	Bewehrung für bewehrtes Mauerwerk ..	211
2.1.5	Porenbeton-Plansteine .....	121	9.2	Hochlochziegel für bewehrtes Mauerwerk .....	211
2.1.6	Beton-Plansteine .....	126	9.3	Stürze .....	211
2.1.6.1	Planvollsteine und Planvollblöcke .....	126	10	Ergänzungsbauteile .....	234
2.1.6.2	Planhohlblocksteine .....	132	10.1	Mauerfuß-Dämmelemente .....	234
2.1.6.3	Plansteine aus Leichtbeton mit integrierter Wärmedämmung .....	136	10.2	Anker zur Verbindung der Mauerwerksschalen von zweischaligen Außenwänden .....	239
2.2	Planelemente und dafür zugelassene Dünnbettmörtel .....	149	10.3	Sonstige Ergänzungselemente .....	257
2.2.1	Planziegel-Elemente .....	149	11	Literatur .....	262
			12	Bildnachweis .....	264

<b>III</b>	<b>Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Drucktragverhalten von Mauerwerk</b> . . . . .	265			
	Markus Graubohm, Aachen				
1	Einleitung . . . . .	265	2.5.4	Zusammenfassung . . . . .	275
2	Experimentelle Untersuchungen zum Drucktragverhalten . . . . .	266	2.6	Untersuchungen an Verbundprüfkörpern . . . . .	275
2.1	Allgemeines . . . . .	266	2.6.1	Herstellung und Lagerung . . . . .	275
2.2	Versuchsprogramm und verwendete Materialien . . . . .	266	2.6.2	Haftscherfestigkeit . . . . .	275
2.3	Untersuchungen an den Mauersteinen . . . . .	266	2.7	Untersuchungen an Mauerwerkpfeilern . . . . .	276
2.3.1	Allgemeines . . . . .	266	2.7.1	Herstellung und Lagerung . . . . .	276
2.3.2	Druckfestigkeit, Elastizitätsmodul und Querdehnzahl . . . . .	266	2.7.2	Druckfestigkeit und Verformungsverhalten . . . . .	276
2.3.3	Zugfestigkeit . . . . .	268	2.7.3	Vergleich der Versuchsergebnisse mit analytischen Ansätzen . . . . .	280
2.3.4	Biegezugfestigkeit . . . . .	270	3	Numerische Untersuchungen zum Drucktragverhalten . . . . .	282
2.3.5	Zusammenfassung . . . . .	270	3.1	Vorgehensweise . . . . .	282
2.4	Untersuchungen an Mauermörteln ohne Kontakt zum Stein . . . . .	270	3.2	Eingangsparameter . . . . .	282
2.4.1	Allgemeines . . . . .	270	3.3	Simulation der Druckversuche an Mauerwerkpfeilern . . . . .	282
2.4.2	Frisch- und Festmörteleigenschaften . . . . .	271	3.3.1	Berechnungsvarianten und numerisches Modell . . . . .	282
2.4.3	Statischer Elastizitätsmodul und Querdehnzahl . . . . .	272	3.3.2	Vergleich der numerischen Berechnungen mit Versuchsergebnissen . . . . .	282
2.4.4	Zusammenfassung . . . . .	274	3.3.3	Rissbildung . . . . .	284
2.5	Untersuchungen an Mörtelproben aus der Fuge . . . . .	274	3.3.4	Exemplarische Analyse der Spannungsverteilung im Mauerwerkpfeiler . . . . .	285
2.5.1	Allgemeines/Herstellung . . . . .	274	4	Zusammenfassung . . . . .	290
2.5.2	Trockenrohichte und Fugendruckfestigkeit . . . . .	274	5	Literatur . . . . .	291
2.5.3	Dynamischer Elastizitätsmodul . . . . .	275			
<b>B</b>	<b>Konstruktion • Bauausführung • Bauwerkserhaltung</b>				
<b>I</b>	<b>Statisch-konstruktive Sicherungsarbeiten am westlichen Iwan der UNESCO-Welterbestätte Takht-e Soleyman, Iran</b> . . . . .	295			
	Toralf Burkert, Weimar, Christian Fuchs, Berlin und Robert Sobott, Naumburg				
1	Einleitung . . . . .	295	4.1.1	Herstellung von Hochbrandgips vor Ort im Feldofen . . . . .	304
2	Der Takht-e Soleyman . . . . .	295	4.1.2	Begleitende naturwissenschaftliche Untersuchungen zur Herstellung und Verwendung von Hochbrandgipsmörtel . . . . .	308
2.1	Geschichtlicher Überblick . . . . .	296	4.1.3	Entwicklung eines Injektionsmörtels auf der Grundlage des lokal hergestellten Gipses . . . . .	310
2.2	Anmerkungen zur Forschungsgeschichte . . . . .	298	4.1.4	Versuche an Testmauern auf dem Takht in den Jahren 2016 und 2017 . . . . .	312
3	Der westliche Iwan . . . . .	298	4.1.5	Begleitende Festigkeitsprüfungen . . . . .	314
3.1	Dokumentation und Untersuchungen Teil 1: Aufmaß und Kartierungen . . . . .	298	4.2	Ertüchtigung des ilkhanidischen Strebpfeilers auf der Nordseite der Nordwand . . . . .	316
3.2	Dokumentation und Untersuchungen Teil 2: Bauhistorische Befunddokumentation . . . . .	299	4.3	Ertüchtigung des gesamten Ostteils der Nordwand des westlichen Iwans im Jahr 2018 . . . . .	318
3.3	Dokumentation und Untersuchungen Teil 3: Erkundung des Bauzustands unter dem anstehenden Terrain . . . . .	303	5	Förderung . . . . .	329
3.4	Kurze Restaurierungshistorie des Westiwans . . . . .	303	6	Danksagung . . . . .	329
4	Sicherung der noch verbliebenen Mauerwerksbereiche der Nordwand . . . . .	303	7	Literatur . . . . .	330
4.1	Vorbereitende praktische Untersuchungen und Maßnahmen . . . . .	303			

X	Inhaltsverzeichnis	
<hr/>		
<b>II</b>	<b>Ev.-Luth. Hauptpfarrkirche Zwickaus – seit 1935 Dom St. Marien Zwickau</b> . . . . .	333
	Toralf Burkert, Weimar und Peter Schöps, Radebeul	
1	Einführung . . . . .	333
2	Messungen und Überwachungen . . . . .	333
2.1	Langzeitmessungen . . . . .	333
2.2	Laserscan . . . . .	333
3	Statische Voruntersuchungen . . . . .	334
4	Maßnahmen zur Ertüchtigung . . . . .	335
4.1	Historische Maßnahmen . . . . .	335
4.2	Aktuelle Vorhaben . . . . .	335
5	Maßnahmen am Beispiel des Pfeilers M1	337
5.1	Baugrund . . . . .	338
5.2	Arbeitsschritte . . . . .	338
5.3	Bauzustände . . . . .	338
5.4	Materialfestigkeiten . . . . .	338
5.5	Ständige und veränderliche Einwirkungen . . . . .	340
5.6	Außergewöhnliche Einwirkungen . . . . .	340
5.7	Bautechnischer Brandschutz . . . . .	341
5.8	Allgemeines zu den Statischen Nachweisen . . . . .	341
5.9	Analytische Nachweise des Pfeilers . . . . .	341
5.9.1	Bestand . . . . .	342
5.9.2	Mit Vorspannung . . . . .	342
5.10	Fundamentertüchtigung . . . . .	349
5.11	Stabwerksmodell . . . . .	351
5.12	Räumliches FE-Modell . . . . .	355
6	Ergänzende Betrachtungen für Pfeiler M1 und M2 . . . . .	357
6.1	Fundamentertüchtigung . . . . .	357
6.2	Lasteinleitung Zugglieder . . . . .	359
6.3	Lasteinleitung in die Arkadenwand . . . . .	363
6.4	Berücksichtigung der Temperatur- einflüsse bei der Vorspannkraft . . . . .	363
7	Ausführung der Sicherungsmaßnahmen am Bauwerk . . . . .	368
7.1	Fundamentertüchtigung . . . . .	368
7.2	Herstellen der Betonpolster auf den Arkadenwänden und der Ankerkanäle im Chorgewölbe . . . . .	372
7.3	Einbau der Zugankersysteme . . . . .	374
8	Ausblick . . . . .	376
9	Zusammenfassung . . . . .	376
10	Literatur . . . . .	377
<b>III</b>	<b>Tragverhalten und Tragfähigkeit von Injektionsdübeln in Lochsteinen unter Berücksichtigung der Steingeometrie</b> . . . . .	379
	Marina Stipetic und Jan Hofmann, Stuttgart	
1	Einleitung . . . . .	379
2	Mauersteine (Steinformate, Lochgeometrien) . . . . .	379
3	Verankerungen im Mauerwerk . . . . .	380
3.1	Befestigungsverfahren . . . . .	380
3.2	Injektionsdübel für Mauerwerk . . . . .	383
3.3	Injektionsdübel unter Zugbelastung . . . . .	385
3.3.1	Tragverhalten von Injektionsdübeln unter Zugbelastung . . . . .	385
3.3.2	Stand der Untersuchungen für Steinversagen bei zugbelasteten Injektionsdübeln in Lochsteinen . . . . .	386
3.4	Injektionsdübel unter Querkzugbelastung	388
3.4.1	Tragverhalten von Injektionsdübeln unter Querkzugbelastung . . . . .	388
3.4.2	Stand der Untersuchungen für Steinversagen bei querbelasteten Injektionsdübeln in Lochsteinen . . . . .	388
4	Eigenes Berechnungsmodell für Injektionsdübel in Lochsteinen unter Zugbelastung – Versagen durch Steinausbruch . . . . .	390
4.1	Herangehensweise . . . . .	390
4.2	Tragverhalten und Tragfähigkeit bei Verankerung nur im Außensteg . . . . .	391
4.3	Tragverhalten bei Verankerung in mehreren Stegen . . . . .	397
4.4	Berechnungsbeispiele für die Verankerung unter Zugbelastung . . . . .	400
4.4.1	Verankerung nur im Außensteg . . . . .	400
4.4.2	Verankerung in mehreren Stegen . . . . .	401
5	Berechnungsmodell für Injektionsdübel in Lochsteinen unter Querkzug- belastung – Versagen durch Kantenbruch . . . . .	403
5.1	Herangehensweise . . . . .	403
5.2	Tragverhalten und Tragfähigkeit bei Verankerung unter Querkzugbelastung . . . . .	403
5.3	Berechnungsbeispiel für Verankerung unter Querkzugbelastung . . . . .	407
6	Zusammenfassung . . . . .	409
7	Literatur . . . . .	409

<b>C Bemessung</b>			
<b>I</b>	<b>Forschungsvorhaben zur Bewertung der Tragfähigkeit von Injektionsdübeln in Mauerwerk im Rahmen von Baustellenversuchen</b> .....	413	
	Rainer Becker, Dortmund, Jan Hofmann, Stuttgart, Catherina Thiele und Florian Wendel, Kaiserslautern		
1	Einleitung .....	413	3.1 Ziele des Forschungsvorhabens .....
2	Technische Regel „Durchführung und Auswertung von Versuchen am Bau“ .....	413	3.2 Ermittlung der Schädigung von Befestigungen durch Probelastung ...
2.1	Einleitung .....	413	3.3 Ermittlung des Einflusses des Abstützdurchmessers auf die Tragfähigkeit .....
2.2	Auszugversuche .....	417	3.4 Modifikation des Teilsicherheitsbeiwerts
2.3	Probelastungen .....	417	4 Fazit .....
2.4	Abnahmeversuche .....	418	5 Literatur .....
3	Forschungsvorhaben „Versuche am Bau“	419	
<b>II</b>	<b>Tragfähigkeit ausfachender Mauerwerkswände unter Berücksichtigung der verformungsbasierten Membranwirkung</b> .....	431	
	Michael Schmitt, Lauterbach und Carl-Alexander Graubner, Darmstadt		
1	Einleitung .....	431	4.2 Beschreibung des Modells .....
2	Grundlagen .....	431	4.3 Analyse der Versagensarten .....
2.1	Einführung .....	431	4.4 Iterative Berechnung der Systemtragfähigkeit .....
2.2	Systemmodelle für vorwiegend biegebeanspruchte Mauerwerkswände ..	433	4.5 Verifizierung des Berechnungsverfahrens .....
2.3	Historische Entwicklung der Theorie der Membrandruckkräfte .....	435	4.6 Last-Verformungs-Verhalten der angrenzenden Stahlbetonbauteile .....
3	Allgemeine Formulierungen zur Ermittlung der verformungsbasierten Membrandruckkraft .....	436	5 Bemessungsmodell .....
3.1	Beschreibung der Lagerungsbedingungen	436	5.1 Ermittlung der aufnehmbaren Horizontallast .....
3.2	Erläuterung der Systemzustände .....	437	5.2 Auswertung der Tragfähigkeit ausfachender Mauerwerkswände .....
3.3	Ermittlung der Membrandruckkraft ..	438	5.3 Sicherstellung der Mindestauflast bei tragenden Mauerwerkswänden .....
3.4	Abtrag der Membrandruckkräfte in den angrenzenden Bauteilen .....	439	6 Zusammenfassung .....
4	Berechnung der Systemtragfähigkeit ..	440	7 Literatur .....
4.1	Einleitung .....	440	
<b>III</b>	<b>Aussteifungssysteme mit Mauerwerksscheiben</b> .....	461	
	Werner Seim, Kassel und Kai Sommerlade, Lohfelden		
1	Einführung .....	461	4 Modellbildung mit finiten Elementen ...
2	Grundlagen der Berechnungsmethode ..	462	4.1 Geometriedefinition und Diskretisierung
2.1	Spannungsfelder .....	462	4.2 Modellierung von Wandscheiben ohne Zugfestigkeit .....
2.2	Lasteinzugsflächen .....	463	4.2.1 Kontaktelemente ohne Zugfestigkeit ...
2.3	Deckenaufleger .....	464	4.2.2 Zugfreie Schalenelemente .....
2.4	Zentrierung .....	465	5 Vergleich der Modellierungsvarianten ..
2.5	Gleichgewichtsbetrachtung .....	465	5.1 Rechenverfahren .....
2.6	Nachweise nach EC 6 .....	467	5.2 Auswertung der Ergebnisse .....
3	Rechenbeispiel .....	468	6 Vergleich der Berechnungsmethoden ...
3.1	Baubeschreibung .....	468	6.1 Strukturmodell .....
3.2	Werkstoffe und Einwirkungen .....	468	6.2 Vertikale Einwirkungen .....
3.3	Nachweise .....	469	6.3 Vertikale und horizontale Einwirkungen
3.3.1	Position 113 .....	469	7 Zusammenfassung und Ausblick .....
3.3.2	Position 108 .....	470	8 Literatur .....
3.4	Bewertung der Ergebnisse .....	470	

**D Bauphysik • Brandschutz**

<b>I Schallschutz im Mauerwerksbau</b> .....	481		
Heinz-Martin Fischer und Martin Schneider, Stuttgart			
1 Grundbegriffe im Schallschutz .....	481	2.3.4	Nachweis für Geräusche gebäudetechnischer Anlagen .....
1.1 Schall, Luftschall, Körperschall, Trittschall .....	481	2.4	Neues Sicherheitskonzept der DIN 4109 .....
1.2 Frequenz, Spektrum .....	481	2.5	Neuer Bauteilkatalog in DIN 4109 .....
1.3 Schallpegel .....	481		
1.4 Die A-Bewertung .....	482	3	DIN 4109-1 und andere Regelwerke für den baulichen Schallschutz .....
1.5 Kenngrößen zur Beschreibung der schalltechnischen Eigenschaften .....	482	3.1	Regelwerke und deren Anwendungsbereich .....
1.5.1 Unterscheidung zwischen Bauteil- und Gebäudeeigenschaften .....	482	3.2	Anforderungen der DIN 4109-1 .....
1.5.2 Kenngrößen zur Beschreibung von Bauteileigenschaften .....	483	3.2.1	Luft- und Trittschallschutz .....
1.5.2.1 Schalldämmung von Bauteilen: Schalldämm-Maß .....	483	3.2.2	Außenlärm .....
1.5.2.2 Bewertetes Schalldämm-Maß .....	483	3.2.3	Geräusche aus haustechnischen Anlagen und Betrieben .....
1.5.2.3 (Bewertete) Verbesserung der Luftschalldämmung .....	484	3.2.3.1	Übertragung aus fremden Bereichen .....
1.5.2.4 Trittschalldämmung von Decken: Norm-Trittschallpegel .....	484	3.2.3.2	Anlagen im eigenen Bereich .....
1.5.2.5 Bewerteter Norm-Trittschallpegel .....	484	3.3	Besondere Regelungen .....
1.5.2.6 (Bewertete) Trittschallminderung .....	484	3.3.1	Anforderungen nach dem Fluglärm-Gesetz .....
1.5.2.7 Äquivalenter bewerteter Norm-Trittschallpegel .....	485	3.3.2	Anforderungen nach der TA-Lärm .....
1.5.3 Kenngrößen zur Beschreibung von Gebäudeeigenschaften: Schallschutz zwischen Räumen .....	485	4	Schalldämmung von Wänden .....
1.5.3.1 Schallschutz und Schalldämmung .....	485	4.1	Übersicht/Einführung .....
1.5.3.2 (Bewertetes) Bau-Schalldämm-Maß .....	485	4.2	Einschalige Wände .....
1.5.3.3 (Bewertete) Standard-Schallpegel-differenz .....	486	4.2.1	Schalldämmung einschaliger Bauteile: Grundlagen .....
1.5.3.4 (Bewerteter) Norm-Trittschallpegel im Bau .....	486	4.2.1.1	Massengesetz und Koinzidenz .....
1.5.4 Spektrumanpassungswerte .....	486	4.2.1.2	Einfluss der Randanbindung des Mauerwerks auf die Schalldämmung .....
1.5.4.1 Spektrumanpassungswerte für den Luftschall .....	486	4.2.1.3	Randverluste und Verlustfaktor-Korrektur .....
1.5.4.2 Spektrumanpassungswerte für den Trittschall .....	487	4.2.1.4	Unerwünschte Schwingungsformen .....
2 Von der europäischen Normung zur neuen DIN 4109 .....	487	4.2.2	Mauerwerkswände in DIN 4109-2 und DIN 4109-32 .....
2.1 Ausgangspunkt europäische Normung .....	487	4.2.3	Praktisches Verhalten einschaliger Wände .....
2.1.1 Änderungen bei Prüf- und Beurteilungsverfahren .....	487	4.2.3.1	Einschalige Wände mit Schalungssteinen .....
2.1.2 Neue Berechnungsverfahren für den baulichen Schallschutz .....	487	4.2.3.2	Offenporige Wände .....
2.1.3 Neuer Planungsansatz durch die europäische Normung .....	487	4.2.3.3	Übertragung durch Löcher, Schlitze und poröse Stoffe .....
2.2 Aufbau und Inhalte der neuen DIN 4109 .....	488	4.2.3.4	Trockenputze auf einschaligem Mauerwerk .....
2.3 Neue Nachweisverfahren der DIN 4109-2 .....	489	4.2.3.5	Einflüsse von Fugen, Schlitzen und Zählerkästen .....
2.3.1 Luftschalldämmung .....	489	4.3	Mauerwerk aus Lochsteinen .....
2.3.2 Trittschalldämmung .....	491	4.3.1	Grundlagen und Einführung .....
2.3.3 Außenlärm .....	491	4.3.2	Wärmeschutztechnische Entwicklung von Hochlochziegeln .....
		4.3.3	Ursache für die verminderte Direktdämmung .....
		4.3.4	Lochsteinmauerwerk mit und ohne verminderte Direktdämmung .....
		4.3.5	Verlustfaktorkorrektur bei Lochsteinen .....

4.3.6	Rechnerische Ermittlung der Schalldämmung von Lochsteinen aus Material- und Geometrie-Parametern . . .	518	4.6.4	Zweischalige Außenwände aus Mauerwerk . . . . .	531
4.3.7	Messtechnische Ermittlung der Schalldämmung von Hochlochziegelmauerwerk außerhalb des Wandprüfstands . . .	518	4.6.5	Außenwände mit Wärmedämmverbundsystem . . . . .	531
4.4	Verkleidungen an Massivwänden . . . . .	519	4.6.6	Außenwände mit innenseitiger Verkleidung . . . . .	532
4.4.1	Das physikalische Verhalten . . . . .	519	4.7	Installationswände . . . . .	532
4.4.2	Praktische Ausführungen . . . . .	520	5	Flankierende Übertragung von Wänden . . . . .	534
4.4.3	Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) . . . . .	521	5.1	Grundsätzliche Aspekte . . . . .	534
4.4.3.1	Aufbau und Einflussgrößen . . . . .	521	5.1.1	Schallschutz und Flankenübertragung . . . . .	534
4.4.3.2	Berechnungsmodell nach E DIN 4109-34/A1 . . . . .	522	5.1.2	Flankendämmung und Stoßstellendämm-Maß . . . . .	534
4.4.3.3	Berechnungsmodell unter Berücksichtigung der tiefen Frequenzen nach E DIN 4109-34/A1 . . . . .	523	5.1.2.1	Methodischer Ansatz für die Flankendämmung . . . . .	534
4.5	Zweischalige Wände im Massivbau . . . . .	523	5.1.2.2	Das Stoßstellendämm-Maß . . . . .	534
4.5.1	Grundlagen . . . . .	523	5.2	Die Bedeutung der Wände für die Flankendämmung . . . . .	534
4.5.1.1	Wirkungsprinzip zweischaliger Wände . . . . .	523	5.2.1	Einfluss der Wände . . . . .	534
4.5.1.2	Schallbrücken, Randeinspannung . . . . .	524	5.2.2	Einfluss leichter, massiver Innenwände . . . . .	535
4.5.1.3	Mehr als zwei Schalen . . . . .	525	5.2.3	Einfluss von Wandverkleidungen . . . . .	535
4.5.2	Zweischalige gemauerte Haustrennwände . . . . .	525	5.3	Flankendämmung bei Lochsteinmauerwerk . . . . .	536
4.5.2.1	Anwendungsbereich . . . . .	525	5.3.1	Einfluss der Stoßstellengestaltung . . . . .	536
4.5.2.2	Konstruktive Auslegung . . . . .	526	5.3.2	Stoßstellendämm-Maße bei Lochsteinmauerwerk . . . . .	537
4.5.2.3	Behandlung in der DIN 4109-2 und DIN 4109-32 . . . . .	526	5.4	Besonderheiten von Stoßstellen . . . . .	539
4.5.2.4	Fehlervermeidung . . . . .	528	5.4.1	Stumpfstoß und Stumpfstoßabbriss . . . . .	539
4.5.3	Zweischalige massive Wände mit durchlaufenden Decken und Wänden . . . . .	529	5.4.2	Stöße außerhalb des Bauteilkatalogs . . . . .	539
4.6	Außenwände . . . . .	529	5.4.3	Versetzte Stöße . . . . .	540
4.6.1	Allgemeine Aspekte . . . . .	529	5.4.4	Stöße mit unterschiedlichen flächenbezogenen Massen . . . . .	540
4.6.2	Schalldämm-Maß zusammengesetzter Bauteile . . . . .	530	5.4.5	Winkelstöße . . . . .	541
4.6.3	Behandlung von Außenlärm in DIN 4109-2 und im Bauteilkatalog der DIN 4109 . . . . .	530	6	Trittschalldämmung . . . . .	541
			7	Literatur . . . . .	542
<b>II</b>	<b>Vereinfachter Nachweis des Tauwasserschutzes nach DIN 4108-3:2018</b> . . . . .	<b>547</b>			
	Helmut Marquardt, Buxtehude				
1	Notwendigkeit des Feuchte- und Tauwasserschutzes . . . . .	547	3.1	Notwendigkeit des Nachweises . . . . .	556
2	Grundlagen des Tauwasserschutzes . . . . .	547	3.2	DIN EN ISO 13788 und DIN 4108-3 . . . . .	557
2.1	Feuchtetransport in porösen Baustoffen . . . . .	547	3.3	Glaser-Verfahren . . . . .	557
2.2	Diffusion und Teildruck . . . . .	548	3.3.1	Grundgedanken . . . . .	557
2.3	Allgemeines Gasgesetz und Zustandsgleichung der Gase . . . . .	549	3.3.2	Tauwasserausfall in einem Bauteilbereich . . . . .	559
2.4	Wasserdampf sättigung und relative Luftfeuchte . . . . .	550	3.3.3	Tauwasserausfall in einer oder zwei Bauteilebenen . . . . .	561
2.4.1	Definitionen . . . . .	550	3.3.4	Ausfallende Tauwassermasse . . . . .	561
2.4.2	Beispiel: Tauwasserausfall bei Abkühlung eines Luftvolumens . . . . .	552	3.3.5	Mögliche Verdunstungswassermasse . . . . .	563
2.5	Diffusion von Wasserdampf in Luft . . . . .	552	3.4	Vereinfachter Nachweis des Tauwasserschutzes . . . . .	565
2.6	Diffusion von Wasserdampf durch poröse Stoffe . . . . .	552	3.4.1	Mögliche Nachweisverfahren . . . . .	565
2.7	Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl . . . . .	554	3.4.2	Anforderungen nach DIN 4108-3 . . . . .	565
3	Tauwasserausfall im Bauteilinnern . . . . .	556	3.4.3	Anforderungen nach DIN 68800-2 . . . . .	566
			3.4.4	Randbedingungen nach DIN 4108-3 . . . . .	566
			3.4.5	Nachweis mit dem vereinfachten Periodenbilanzverfahren nach DIN 4108-3 . . . . .	566

<b>XIV Inhaltsverzeichnis</b>	
3.5	Bauteile nach DIN 4108-3 ohne rechnerischen Nachweis . . . . . 569
3.5.1	Einführung . . . . . 569
3.5.2	Außenwände ohne rechnerischen Nachweis . . . . . 569
3.5.3	Erdberührte Außenwände und Boden- platten ohne rechnerischen Nachweis . . . 572
3.5.4	Dächer ohne rechnerischen Nachweis . . 572
3.5.5	Fenster und Fenstertüren . . . . . 575
3.6	Beispiele zum vereinfachten Perioden- bilanzverfahren nach DIN 4108-3 . . . . . 575
3.6.1	Beispiel 1: Massives Flachdach ohne Dampfsperre . . . . . 576
3.6.2	Beispiel 2: Außenwand in Holztafel-/Holzrahmenbauart mit Mauerwerk-Vorsatzschale . . . . . 577
3.7	Weitergehende Untersuchungen mit aufwendigen EDV-Programmen . . . . 584
3.7.1	Fehler bei Nachweisen mit dem Periodenbilanzverfahren . . . . . 584
3.7.2	EDV-Verfahren mit gekoppeltem Wärme- und Feuchtetransport . . . . . 585
3.7.3	EDV-Verfahren mit gekoppeltem Wärme-, Feuchte- und Lufttransport . . . 587
4	Zusammenfassung . . . . . 587
5	Literatur . . . . . 588
<b>III</b>	<b>Innendämmung eines historischen Mauerwerks mit konventionellen und aerogelhaltigen Dämmstoffen – Eine hygrothermische Analyse . . . . . 591</b> Karim Ghazi Wakili und Thomas Stahl, Winterthur, Schweiz
1	Einleitung . . . . . 591
2	Bauphysikalische Eigenschaften von historischem Bruchsteinmauerwerk . . . . 591
3	Eindimensionale hygrothermische Simulationen . . . . . 593
3.1	Ist-Zustand: Wandaufbau, Materialzuordnung und klimatische Randbedingungen . . . . . 593
3.2	Für die Simulation verwendete Dämmstoffe . . . . . 594
4	Resultate der 1-D-Simulationen . . . . . 596
4.1	Innere Oberflächentemperaturen . . . . . 596
4.2	Temperatur- und Feuchtezustand hinter den Dämmschichten . . . . . 598
4.3	Wassergehalt im 1. cm der Innendämmung . . . . . 598
4.4	Begrenzung der Wasseraufnahme von außen . . . . . 602
5	Zweidimensionale hygrothermische Simulationen . . . . . 604
6	Resultate der 2-D-Simulationen . . . . . 604
6.1	Momentaufnahmen der Temperatur- verteilung am 31. Januar . . . . . 604
6.2	Wassergehalt am Holzbalkenkopf . . . . . 605
7	Zusammenfassung . . . . . 607
8	Literatur . . . . . 607
<b>E</b>	<b>Normen • Zulassungen • Regelwerk</b>
<b>I</b>	<b>Geltende Technische Regeln für den Mauerwerksbau (Deutsche, Europäische und Internationale Normen) (Stand 31.05.2018) . . . . . 611</b> Peter Rauh, Berlin und Carola Hauschild, Radebeul
1	Vorbemerkung . . . . . 611
2	EuGH-Urteil vom 16. Oktober 2014 (Rs. C-100/13) . . . . . 612
3	Regelwerk . . . . . 613
<b>II</b>	<b>Verzeichnis der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen/allgemeinen Bauartgenehmigungen für den Mauerwerksbau (Stand 31.05.2018) . . . . . 631</b> Wolfram Jäger, Dresden und Roland Hirsch, Berlin
1	Mauerwerk mit Normal- oder Leichtmörtel . . . . . 633
1.1	Mauerziegel . . . . . 633
1.2	Verfüllziegel . . . . . 646
1.3	Kalksandsteine . . . . . 647
1.4	Betonsteine . . . . . 649
1.4.1	Vollsteine und Vollblöcke . . . . . 649
1.4.2	Hohlblocksteine . . . . . 651
1.4.3	Hohlblocksteine mit integrierter Wärmedämmung . . . . . 652
1.5	Sonstige Mauersteine . . . . . 652
2	Mauerwerk mit Dünnbettmörtel . . . . . 652
2.1	Plansteine üblichen Formates und dafür zugelassene Dünnbettmörtel . . . . . 652
2.1.1	Planziegel . . . . . 652

2.1.2	Planziegel mit integrierter Wärmedämmung	678	5	Geschosshohe Wandtafeln	736
2.1.3	Planverfüllziegel	689	6	Schalungsstein-Bauarten	736
2.1.4	Kalksand-Plansteine	693	7	Trockenmauerwerk	738
2.1.5	Porenbeton-Plansteine	696	8	Mauerwerk mit PU-Kleber	739
2.1.6	Beton-Plansteine	699	8.1	Planziegel	739
2.1.6.1	Planvollsteine und Planvollblöcke	699	8.2	Planverfüllziegel	741
2.1.6.2	Planhohlblocksteine	707	8.3	Porenbeton-Plansteine	743
2.1.6.3	Plansteine aus Leichtbeton mit integrierter Wärmedämmung	712	8.4	Vorgefertigte Wandtafeln	744
2.2	Planelemente und dafür zugelassene Dünnbettmörtel	719	9	Bewehrtes Mauerwerk	745
2.2.1	Planziegel-Elemente	719	9.1	Bewehrung für bewehrtes Mauerwerk	745
2.2.2	Kalksand-Planelemente	720	9.2	Hochlochziegel für bewehrtes Mauerwerk	745
2.2.3	Porenbeton-Planelemente	725	9.3	Stürze	745
2.2.4	Beton-Planelemente	726	10	Ergänzungsbauteile	747
2.3	Wandbauart aus Planelementen in drittel- oder halbgeschosshoher Ausführung	728	10.1	Mauerfuß-Dämmelemente	747
2.4	Weitere Dünnbettmörtel	729	10.2	Anker zur Verbindung der Mauerwerksschalen von zweischaligen Außenwänden	747
3	Mauerwerk mit Mittelbettmörtel	730	10.3	Sonstige Ergänzungselemente	749
4	Vorgefertigte Wandtafeln	731	11	Anhang	750
4.1	Geschosshohe Mauertafeln	731	11.1	Zulassungsübersicht	750
4.2	Drittel- oder halbgeschosshohe Mauertafeln	735			
<b>III</b>	<b>Die Anpassung des nationalen Bauproduktenrechts nach dem Urteil des EuGH vom 16. Oktober 2014</b>	<b>765</b>			
	Tina Gerschler, Berlin				
1	Vorbemerkungen	765	4.1	Nicht harmonisierte Bauprodukte	770
2	Bisheriges Zusammenspiel zwischen nationalem und europäischem Bauproduktenrecht	765	4.2	Lückenhaft harmonisierte Bauprodukte	770
2.1	Europäische Vorgaben mittels der Bauproduktenverordnung	765	4.3	Bauarten	770
2.1.1	Regelungsziele/Abgrenzung zur Bauproduktenrichtlinie	766	5	Ablauf und Maßnahmen des Anpassungsprozesses	770
2.1.2	Bewertung anhand Technischer Spezifikationen	766	6	Das neue System des nationalen Bauproduktenrechts	772
2.1.2.1	Harmonisierte Normen	766	6.1	Verwendbarkeitsnachweise für Bauprodukte	772
2.1.2.2	Europäische Technische Bewertungen	766	6.1.1	Erforderlichkeit	772
2.2	Bisheriges Regelungssystem der Landesbauordnungen und der Bauregellisten	767	6.1.1.1	Harmonisierte Bauprodukte	772
2.2.1	Struktur der Landesbauordnungen	767	6.1.1.2	Nicht harmonisierte Bauprodukte	772
2.2.1.1	Bauprodukte	767	6.1.2	Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung	774
2.2.1.2	Bauarten	767	6.1.3	Allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis	775
2.2.2	Struktur der Bauregellisten	767	6.1.4	Zustimmung im Einzelfall	775
2.3	Lückenhaft harmonisierte Bauprodukte und nationale Zusatzanforderungen	769	6.2	Anwendbarkeitsnachweise für Bauarten	776
3	Urteil des EuGH vom 16. Oktober 2014	769	6.2.1	Allgemeine und vorhabenbezogene Bauartgenehmigung	776
3.1	Inhalt	769	6.2.2	Allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis für Bauarten	777
3.2	Konsequenzen	770	6.3	Freiwillige Herstellererklärungen	777
4	Notwendige Anpassungen des nationalen Bauproduktenrechts aufgrund des EuGH-Urteils	770	6.4	Übersicht der Technischen Baubestimmungen nach alter und neuer Rechtslage	778
			6.5	Prioritätenliste	778
			7	Ausblick	778
			8	Literatur	779

XVI Inhaltsverzeichnis

---

**F    Forschung**

**I    Übersicht über abgeschlossene und laufende Forschungsvorhaben im Mauerwerksbau** ..... 783  
Anke Eis, Dresden

1    Abgeschlossene Forschungsvorhaben ... 787    2    Laufende Forschungsvorhaben ..... 787

**Stichwortverzeichnis** ..... 789

**Anbieterverzeichnis** ..... 805