

## Mauerwerk-Kalender 2019



Hrsg.: Wolfram Jäger  
**Mauerwerk-Kalender 2019**  
Bemessung, Bauwerks-  
erhaltung, Schallschutz  
April 2019. 802 Seiten.  
€ 149,-\*  
Fortsetzungspreis: € 129,-\*  
ISBN 978-3-433-03251-0  
Auch als ebook erhältlich.



Mehrere Beiträge vermitteln anhand von Praxisbeispielen Methoden zur Bauwerksertüchtigung und energetischen Sanierung. Außerdem enthält das Buch Hintergrundwissen und Erläuterungen zur Berechnung von ausfachenden Wänden, Injektionsdübeln und zur Druckfestigkeit von Mauerwerk.

- Eigenschaftswerte von Mauersteinen, Mauermörtel, Mauerwerk und Putzen
- Neuentwicklungen beim Mauerwerksbau mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung
- Drucktragverhalten von Mauerwerk
- Bewertung der Tragfähigkeit von Injektionsdübeln
- Tragfähigkeit ausfachender Mauerwerkswände
- Aussteifungssysteme mit Mauerwerksscheiben
- Schallschutz im Mauerwerksbau u.v.m.

## Bestellschein

Bitte senden Sie mir:

___ St.	978-3-433-03251-0	Mauerwerk-Kalender 2019 print	€ 149,-*
___ St.	978-3-433-60977-4	Mauerwerk-Kalender 2019 ebook (PDF)	€ 133,99*
___ St.	978-3-433-03251-0	Mauerwerk-Kalender 2019 im Fortsetzungsbezug*	€ 129,-*
___ St.	909046	Ernst & Sohn Gesamtverzeichnis	€ 0

Liefer und Rechnungsanschrift    privat    geschäftlich

\_\_\_\_\_  
Firma / Name

\_\_\_\_\_  
Kundennummer

\_\_\_\_\_  
Ust.-ID Nr.

\_\_\_\_\_  
Straße / Hausnummer

\_\_\_\_\_  
Telefon

\_\_\_\_\_  
PLZ / Ort / Land

\_\_\_\_\_  
Fax

\_\_\_\_\_  
E-Mail-Adresse für Online-Registrierung

\_\_\_\_\_  
Ansprechpartner

\_\_\_\_\_  
Datum / Unterschrift

**Senden Sie Ihren ausgefüllten  
Bestellschein als E-Mail-Anhang  
[marketing@ernst-und-sohn.de](mailto:marketing@ernst-und-sohn.de)  
oder Fax +49 (0) 30 47031-240**

**[www.ernst-und-sohn.de/](http://www.ernst-und-sohn.de/)**

\* Der €-Preis gilt ausschließlich für Deutschland. Inkl. MwSt. Die Versandkosten für Deutschland, Österreich, Schweiz, Liechtenstein und Luxemburg entfallen. Für alle anderen Länder gilt der Preis zzgl. Versandkosten.

Fortsetzungsbezug ist die Belieferung im Abonnement. Sie erhalten zukünftig erscheinende Kalender automatisch zum günstigen Fortsetzungspreis zugeschickt. Eine Kündigung des Abonnements kann bis zu drei Monate vor Erscheinen des neuen Kalenders erfolgen.

Widerruf: Dieser Auftrag kann innerhalb zwei Wochen beim Verlag Ernst & Sohn, Wiley-VCH, Boschstr. 12, D-69469 Weinheim, schriftlich widerrufen werden.

Wiley-VCH GmbH & Co.KG&A  
Kundenservice  
Boschstraße 12  
69469 Weinheim  
Deutschland

Bei Fragen wenden Sie sich an:  
■ +49(0)30 47031-236

Irrtum und Änderungen vorbehalten  
Stand: 4/2019

2019

# MAUERWERK KALENDER

---

Bemessung  
Bauwerkserhaltung  
Schallschutz

---

Herausgegeben von  
Wolfram Jäger, Dresden

44. Jahrgang

## Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser,

der Mauerwerk-Kalender 2019 beinhaltet neben weiteren Themen die Schwerpunkte Bemessung, Bauwerkserhaltung sowie Schallschutz. Insbesondere bei Änderungen in den technischen Regelungen ist es wichtig, verlässliche Quellen zu haben, die aktuell informieren und Hilfestellung bei der täglichen praktischen Anwendung geben. In der vor Ihnen liegenden Ausgabe betrifft das insbesondere den Schallschutz. Die Neuveröffentlichung der Norm erstreckte sich über einen längeren Zeitraum, deshalb freuen wir uns besonders, dass wir Ihnen diesen Beitrag nunmehr zur Verfügung stellen können.

Abwechslung und interessante Lektüre – auch über den reinen Mauerwerk-Fachteil hinaus – bieten immer wieder die Abhandlungen zu historischen Bauwerken, da dies doch nicht alltägliche Projekte sind, über die es sich zu berichten lohnt.

Der Mauerwerk-Kalender als jährlich erscheinendes Standardwerk hält sicher wieder für jede Interessenslage passende Informationen bereit:

– Im Bereich *Baustoffe* • *Bauprodukte* finden Sie den Beitrag über die Eigenschaftswerte von Mauersteinen, Mauermörtel, Mauerwerk und Putzen mit Angabe der zugrunde liegenden Quellen. Der Beitrag über den Mauerwerksbau mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung bzw. mit allgemeiner Bauartgenehmigung umfasst in dieser Ausgabe wieder die erteilten Zulassungen/Bauartgenehmigungen des Fachgebietes als vollständige aktuelle Übersicht. Der daran anschließende Aufsatz beschäftigt sich insbesondere mit experimentellen und numerischen Untersuchungen zum Drucktragverhalten von Mauerwerk. Ziel der umfangreichen Forschungen war, das Drucktragverhalten von Mauerwerk mithilfe numerischer Berechnungsmethoden zutreffend vorherbestimmen zu können.

– Die Abteilung *Konstruktion* • *Bauausführung* • *Bauwerkserhaltung* beginnt mit einem Bericht zu den statisch-konstruktiven Sicherungsarbeiten am westlichen Iwan der UNESCO-Welterbestätte Takht-e Soleyman im Iran. Schwerpunktmäßig wird bei der Schilderung der Sicherungsarbeiten auf die Herstellung von Hochbrandgips vor Ort im Feldofen und dessen Verwendung, die Entwicklung eines Injektionsmörtels auf der Grundlage des lokal hergestellten Gipses, Versuche an Testmauern und die eigentlichen Ertüchtigungsmaßnahmen eingegangen. Ein weiterer Beitrag zum Thema Bauwerkserhaltung und Sanierung schließt sich mit einem Bericht zum derzeitigen Stand der Bauerhaltung des Doms St. Marien in Zwickau an. Als Fortsetzung des Aufsatzes im Mauerwerk-Kalender 2017 zu diesem Thema steht nun die Ertüchtigung der Chorpfeiler M1 und M2 in den Jahren 2016 bis 2018 im Vordergrund. Tragverhalten und Tragfähigkeit von In-

jektionsdübeln werden in einem Beitrag für den speziellen Fall von Lochsteinen unter Berücksichtigung der Steingeometrie behandelt und ein Berechnungsmodell für Dübel unter Zug- und Querkraftbelastung in Lochsteinen vorgestellt, mit dessen Hilfe die Bruchlasten anhand der Steingeometrie abgeschätzt werden können.

– Der Bereich *Bemessung* berichtet von einem aktuellen Forschungsvorhaben zur Bewertung der Tragfähigkeit von Injektionsdübeln in Mauerwerk im Rahmen von Baustellenversuchen, in welchem der Einfluss einer Vorbelastung sowie der Einfluss eines geringen Abstützdurchmessers auf das Tragverhalten von Dübeln in Mauerwerk näher untersucht worden ist. Die Ergebnisse sind in einer Technischen Regel „Durchführung und Auswertung von Versuchen am Bau“ des DIBT ergänzt und die Durchführung von Versuchen am Bau besser beschrieben worden. Ein weiterer Beitrag beschäftigt sich mit der Tragfähigkeit ausfachender Mauerwerkswände unter Berücksichtigung der verformungsbasierten Membranwirkung und stellt ein nichtlineares Berechnungsmodell zur wirklichkeitsnahen Ermittlung der aufnehmbaren Horizontallast unbewehrter ausfachender einachsig gespannter Mauerwerkswände, in welchen durch definierte Lagerungsbedingungen vertikale Normalkräfte – sogenannte Membrandruckkräfte – entstehen, vor. Diese Membranwirkung wird in den bestehenden Normen und Veröffentlichungen sowie gegenwärtigen Untersuchungen lediglich rudimentär betrachtet. Der im Aufsatz über Aussteifungssysteme mit Mauerwerksscheiben vorgestellte Vergleich von zwei unterschiedlichen Berechnungsmethoden zeigt, dass bei geeigneter Modellbildung und Lastverteilung eine günstige Wechselwirkung zwischen den einzelnen Scheiben einer Aussteifungskonstruktion aus Mauerwerkswänden nachgewiesen werden kann.

– Die Abteilung *Bauphysik* • *Brandschutz* geht in einem umfangreichen Beitrag auf den Schallschutz im Mauerwerksbau ein. Sowohl die Grundlagen werden erläutert als auch die Regelungen bzw. Neuerungen der neuen DIN 4109 sowie andere Regelwerke für den baulichen Schallschutz vorgestellt. Es schließt sich ein Aufsatz über den vereinfachten Nachweis des Tauwasserschutzes an, ergänzt durch vollständig durchgerechnete Beispiele einer massiven Flachdach- und einer hölzernen Außenwandkonstruktion. Der Vergleich von konventionellen und aerogelhaltigen Dämmstoffen für die Innendämmung von historischem Mauerwerk ergänzt das Kapitel.

– Im Bereich *Normen* • *Zulassungen* • *Regelwerk* steht wie gewohnt ein Überblick über die aktuell geltenden Technischen Regeln für den Mauerwerksbau sowie der Zugriff auf sämtliche zulassungsbedürftige Neuentwicklungen des Fachgebietes in tabellarischen Über-

sichten, gegliedert nach dem Einsatzgebiet der jeweiligen Produkte, zur Verfügung. Dem Verzeichnis folgt eine Liste, geordnet nach Zulassungsnummern und mit Verweisen auf die entsprechenden Seiten dieses Beitrags sowie auf diejenigen des Beitrags A II „Mauerwerksbau mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung bzw. mit allgemeiner Bauartgenehmigung“ aus dem Bereich *Baustoffe • Bauprodukte*.

– Die Abteilung *Forschung* schließt mit dem jährlichen Überblick über die aktuelle Forschungssituation im Mauerwerksbau den Kalender ab.

Ich danke allen Mitwirkenden für ihre tatkräftige Unterstützung bei der aktuellen Ausgabe des Mauerwerk-Kalenders und wünsche unseren verehrten Leserinnen und Lesern eine aufschlussreiche Lektüre zu spannenden Themen. Mögen die Erkenntnisse des vorliegenden 44. Jahrgangs Verwendung finden und Sie in der täglichen Arbeit mit Mauerwerk in Theorie und Praxis motivieren.

Dresden,  
im Januar 2019

Wolfram Jäger  
[ji@jaeger-ingenieure.de](mailto:ji@jaeger-ingenieure.de)

**Inhaltsverzeichnis**

**Vorwort** ..... III

**Autoren** ..... XVII

**A Baustoffe - Bauprodukte**

**I Eigenschaften von Mauersteinen, Mauermörtel, Mauerwerk und Putzen** ..... 3  
 Wolfgang Brameshuber<sup>†</sup>, 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

8.3 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

<b>II</b>	<b>Mauerwerksbau mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ)</b>				
	<b>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 halbgewölbhoher 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 Berechnungs- methoden 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	Gewölbhohe Mauertafeln .....	167
0.2.2	Mauerwerk nach DIN EN 1996 (Eurocode 6) .....	34	4.2	Drittel- oder halbgewölbhohe Mauertafeln .....	186
0.3	Sonderregelungen zur Knicklänge .....	34	4.3	Verguss- und Verbundtafeln .....	187
0.4	Gesonderte Regelungen zu Schlitzen .....	35	5	Gewölbhohe 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 Mauer- werksschalen 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 Mauerwerkpfelern . 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 Mauermorteln ohne Kontakt zum Stein . . . . .	270	3.2	Eingangsparameter . . . . . 282
2.4.1	Allgemeines . . . . .	270	3.3	Simulation der Druckversuche an Mauerwerkpfelern . . . . . 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	Trockenrohdichte 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		

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



<b>C</b>	<b>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	Lastezugsflächen	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 Lochstein-Mauerwerk .....	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 Stumpfstoßabriss .....	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
II	<b>Vereinfachter Nachweis des Tauwasserschutzes nach DIN 4108-3:2018</b> .....	547	7	Literatur .....	542
	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	Wasserdampfsättigung 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

3.5	Bauteile nach DIN 4108-3 ohne rechnerischen Nachweis . . . . .	569	3.6.2	Beispiel 2: Außenwand in Holztafel-/Holzrahmenbauart mit Mauerwerk-Vorsatzschale . . . . .	577
3.5.1	Einführung . . . . .	569	3.7	Weitergehende Untersuchungen mit aufwendigen EDV-Programmen . . . . .	584
3.5.2	Außenwände ohne rechnerischen Nachweis . . . . .	569	3.7.1	Fehler bei Nachweisen mit dem Periodenbilanzverfahren . . . . .	584
3.5.3	Erdberührte Außenwände und Boden- platten ohne rechnerischen Nachweis . . . . .	572	3.7.2	EDV-Verfahren mit gekoppeltem Wärme- und Feuchtetransport . . . . .	585
3.5.4	Dächer ohne rechnerischen Nachweis . . . . .	572	3.7.3	EDV-Verfahren mit gekoppeltem Wärme-, Feuchte- und Lufttransport . . . . .	587
3.5.5	Fenster und Fenstertüren . . . . .	575	4	Zusammenfassung . . . . .	587
3.6	Beispiele zum vereinfachten Perioden- bilanzverfahren nach DIN 4108-3 . . . . .	575	5	Literatur . . . . .	588
3.6.1	Beispiel 1: Massives Flachdach ohne Dampfsperre . . . . .	576			

### III Innendämmung eines historischen Mauerwerks mit konventionellen und aerogelhaltigen Dämmstoffen – Eine hygrothermische Analyse . . . . . 591

Karim Ghazi Wakili und Thomas Stahl, Winterthur, Schweiz

1	Einleitung . . . . .	591	4.3	Wassergehalt im 1. cm der Innendämmung . . . . .	598
2	Bauphysikalische Eigenschaften von historischem Bruchsteinmauerwerk . . . . .	591	4.4	Begrenzung der Wasseraufnahme von außen . . . . .	602
3	Eindimensionale hygrothermische Simulationen . . . . .	593	5	Zweidimensionale hygrothermische Simulationen . . . . .	604
3.1	Ist-Zustand: Wandaufbau, Materialzuordnung und klimatische Randbedingungen . . . . .	593	6	Resultate der 2-D-Simulationen . . . . .	604
3.2	Für die Simulation verwendete Dämmstoffe . . . . .	594	6.1	Momentaufnahmen der Temperatur- verteilung am 31. Januar . . . . .	604
4	Resultate der 1-D-Simulationen . . . . .	596	6.2	Wassergehalt am Holzbalkenkopf . . . . .	605
4.1	Innere Oberflächentemperaturen . . . . .	596	7	Zusammenfassung . . . . .	607
4.2	Temperatur- und Feuchtezustand hinter den Dämmschichten . . . . .	598	8	Literatur . . . . .	607

### 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

1	Vorbemerkung . . . . .	611	3	Regelwerk . . . . .	613
2	EuGH-Urteil vom 16. Oktober 2014 (Rs. C-100/13) . . . . .	612			

#### II Verzeichnis der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen/allgemeinen Bauartgenehmigungen für den Mauerwerksbau (Stand 31.05.2018) . . . . . 631

Wolfram Jäger, Dresden und Roland Hirsch, Berlin

1	Mauerwerk mit Normal- oder Leichtmörtel . . . . .	633	1.4.3	Hohlblocksteine mit integrierter Wärmedämmung . . . . .	652
1.1	Mauerziegel . . . . .	633	1.5	Sonstige Mauersteine . . . . .	652
1.2	Verfüllziegel . . . . .	646	2	Mauerwerk mit Dünnbettmörtel . . . . .	652
1.3	Kalksandsteine . . . . .	647	2.1	Plansteine üblichen Formates und dafür zugelassene Dünnbettmörtel . . . . .	652
1.4	Betonsteine . . . . .	649	2.1.1	Planziegel . . . . .	652
1.4.1	Vollsteine und Vollblöcke . . . . .	649			
1.4.2	Hohlblocksteine . . . . .	651			

2.1.2	Planziegel mit integrierter Wärmedämmung	5	678	5	Geschosshohe Wandtafeln	736
2.1.3	Planverfüllziegel	6	689	6	Schalungsstein-Bauarten	736
2.1.4	Kalksand-Plansteine	7	693	7	Trockenmauerwerk	738
2.1.5	Porenbeton-Plansteine	8	696	8	Mauerwerk mit PU-Kleber	739
2.1.6	Beton-Plansteine	8.1	699	8.1	Planziegel	739
2.1.6.1	Planvollsteine und Planvollblöcke	8.2	699	8.2	Planverfüllziegel	741
2.1.6.2	Planhohlblocksteine	8.3	707	8.3	Porenbeton-Plansteine	743
2.1.6.3	Plansteine aus Leichtbeton mit integrierter Wärmedämmung	8.4	712	8.4	Vorgefertigte Wandtafeln	744
2.2	Planelemente und dafür zugelassene Dünnettputze	9	719	9	Bewehrtes Mauerwerk	745
2.2.1	Planziegel-Elemente	9.1	719	9.1	Bewehrung für bewehrtes Mauerwerk	745
2.2.2	Kalksand-Planelemente	9.2	720	9.2	Hochlochziegel für bewehrtes Mauerwerk	745
2.2.3	Porenbeton-Planelemente	9.3	725	9.3	Stürze	745
2.2.4	Beton-Planelemente	10	726	10	Ergänzungsbauteile	747
2.3	Wandbauart aus Planelementen in drittel- oder halbgeschosshoher Ausführung	10.1	728	10.1	Mauerfuß-Dämmelemente	747
2.4	Weitere Dünnettputze	10.2	729	10.2	Anker zur Verbindung der Mauerwerksschalen von zweischaligen Außenwänden	747
3	Mauerwerk mit Mittelbettmörtel	10.3	730	10.3	Sonstige Ergänzungselemente	749
4	Vorgefertigte Wandtafeln	11	731	11	Anhang	750
4.1	Geschosshohe Mauertafeln	11.1	731	11.1	Zulassungsübersicht	750
4.2	Drittel- oder halbgeschosshohe Mauertafeln		735			

**III Die Anpassung des nationalen Bauproduktenrechts nach dem Urteil des EuGH vom 16. Oktober 2014** 765  
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 Bewertungsdokumente/ 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

**F      Forschung**

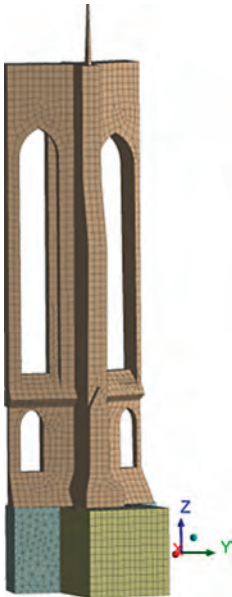
**I      Übersicht über abgeschlossene und laufende Forschungsvorhaben im Mauerwerksbau . . . . . 783**  
Anke Eis, Dresden

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

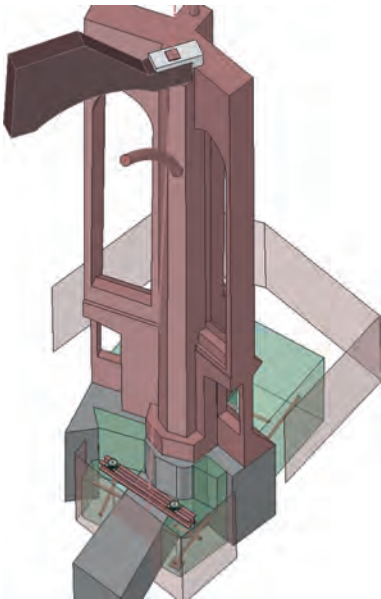
**Stichwortverzeichnis . . . . . 789**

**Anbieterverzeichnis . . . . . 805**



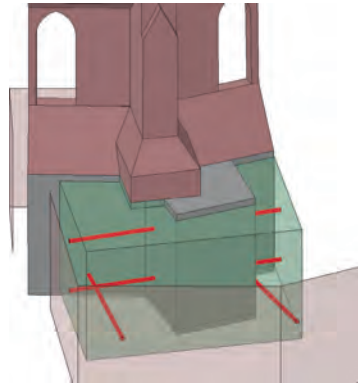


**Bild 8.** Teilmodell mit FEM-Netz (Grafik: Peter Schöps)



**Bild 9.** Gesamtansicht Pfeiler M2 mit vertikalem Zugglied (Grafik: Peter Schöps)

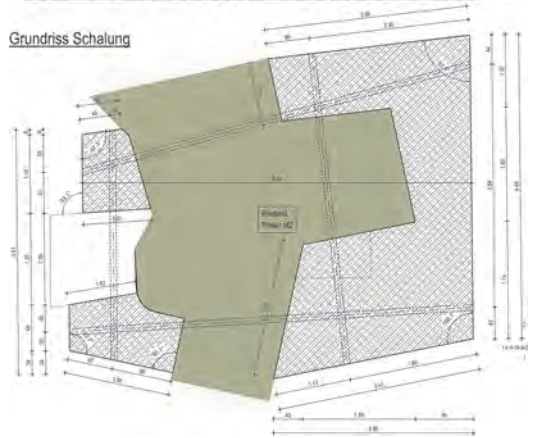
besseren Ermittlung der Schnittgrößen sowie für die Nachweise der Spannungen und Bodenpressungen. Somit können Tragreserven besser aufgezeigt und genutzt werden. Ergänzend zu den im Abschnitt 5 erläuterten Berechnungsmodellen sind Teilmodelle der beiden Pfeiler erstellt worden (s. Bild 8 als Beispiel für M1). Hierfür konnten als Grundlage die Laserscandaten verwendet werden. Die entsprechenden Teile der Punktwolke wurden eingelesen und mit Volumenkör-



**Bild 10.** Detailansicht des äußeren Fußpunkts mit Spanngliedern und halbdurchsichtigem Stahlbetonkragen (Grafik: Peter Schöps)

**Schal- und Bewehrungsplan Ertüchtigung Pfeiler M2 M 1:25**

Grundriss Schalung



**Bild 11.** Pfeilerfundament mit geplanter Vergrößerung (Grafik: Peter Schöps)

pern manuell nachgebildet. Statisch nicht relevante Bereiche können so zur Erstellung einer sauberen Vernetzung vernachlässigt werden. Die beiden Modelle behalten somit auch die Schiefstellungen.

Im Rahmen des Standsicherheitsnachweises sind die einzelnen Lastschritte der Sanierung inkl. der temporären Stützmaßnahmen abgebildet worden.

Nach der Herstellung der Baugruben für die Fundamentertüchtigung der Pfeiler M1 und M2 erfolgte durch das Vermessungsbüro Tröger ein Aufmaß der Fundamentgeometrien. Hierbei wurden auch bisher unbekannte Innenfundamente erfasst. Zusammen mit einem aus der Punktwolke erzeugten Grundriss gelingt eine schnelle Lagebestimmung. Die archäologische Zuordnung zu einer Zeitepoche und einem Baukörper steht noch aus.

Die Ertüchtigung besitzt mehrere Komponenten (Bilder 9 bis 11). Neben einer Vergrößerung der Grün-



**Bild 12.** Bestandsfundament nach oberflächiger Reinigung  
(Foto: Michael Kühn)

ungsfläche sollen das Bestandsfundament verfestigt und die Lage der Resultierenden im Pfeiler mithilfe von vorgespannten Zuggliedern etwas nach innen verschoben werden.

Um Arbeiten an den Fundamenten durchführen zu können (Bild 12), mussten diese zuerst entlastet werden. Hierfür wurde eine Stützkonstruktion an beiden Pfeilern angebracht und vorgespannt (Bild 13). Anschließend wurden der innere und der äußere Stahlbetonkragen zur Vergrößerung der Gründungsfläche hergestellt und darauffolgend erhielten die Bestandsfundamente eine Gefügeverbesserung durch Mauerwerksinjektion.

Neben der Vergrößerung der Fundamente ist auch ein Verspannen der Bestandsfundamente oder besser des alten Fundamentmauerwerks vorgesehen. Durch den so erzeugten hydrostatischen Spannungszustand erhöht sich die für die vertikale Belastung ansetzbare Festigkeit erheblich. Zusammen mit der Spannungsreduktion ist so sichergestellt, dass der Gebrauchszustand im linear-elastischen Bereich ver-

bleibt. Weitere Schiefstellungen infolge einer Materialüberlastung sind somit ausgeschlossen.

Anschließend wird durch das Spannen des innenliegenden vertikalen Spannglieds die Lage der Resultierenden im Pfeiler nach innen verlagert und die bisher leicht gerissene Zugzone dauerhaft überdrückt. Hierbei ist zu beachten, dass die temporär vorgespannte Stützkonstruktion zeitgleich entspannt wird.

Im Bild 11 – Auszug aus dem Schalplan des Pfeilers M2 – ist die geplante Vergrößerung der Fundamentfläche zu erkennen. Gestrichelt ist die Lage der Spannglieder für die Generierung eines hydrostatischen Spannungszustands im Bestandsfundament dargestellt. Dieser Spannungszustand ist eine weitere Komponente bei der Erhöhung der Tragfähigkeit.

## 5 Maßnahmen am Beispiel des Pfeilers M1

Die wesentliche Vorgehensweise soll am Beispiel des Pfeilers M1 erläutert werden.

Der Pfeiler M1 des Zwickauer St. Marien Doms neigt sich jedes Jahr weiter in Richtung Südosten. Vorangegangene Untersuchungen haben als Ursache hierfür eine unzureichende Gründung identifiziert. Ziel ist es, die Gründung und den Pfeiler so zu ertüchtigen, dass zum einen geringere Spannungen und Sohlpressungen auftreten und zum anderen die Festigkeit erhöht wird.

Zu diesem Zweck wird das Bestandsfundament injiziert und durch einen Stahlbetonkragen eingefasst. Der innere Teil des Pfeilers M1 erhält durch externe Zugglieder eine Vorspannung, die auf der Arkadenwand eingeleitet wird. Durch diese exzentrische Vorspannung wird die Kraftresultierende am Pfeilerfuß in Richtung Kirchenschiff verschoben und damit werden die Randspannungen reduziert. Die untere Verankerung der Zugglieder erfolgt an der Sohle des neu-



**Bild 13.** Temporäre Abstützung der Pfeiler M1 und M2 im Juni 2016



en Stahlbetonfundaments, was eine Kraftweiterleitung in den Bestand über die gesamte Fundamenthöhe ermöglicht. Hierzu und zur Erhöhung der Festigkeit im Bestandsfundament werden die beiden Stahlbetonabschnitte innen und außen gegeneinander verspannt. Dies ermöglicht einen mehraxialen Spannungszustand im alten Fundament und damit eine höhere Tragfähigkeit in vertikaler Richtung.

Um die geplanten Ertüchtigungsmaßnahmen durchführen zu können, wurde eine temporäre Abstützung installiert. Diese kompensiert den Gewölbeschub und entlastet den äußeren Fundamentabschnitt.

Durch die temporäre Abstützung und die geplante Vorspannung kommt es zu Lastumlagerungen im Pfeiler und im Fundament. Hierdurch kann es zu Rissbildungen oder Stauchungen kommen. Die jeweiligen Arbeitsschritte, wie Spannen der Zugglieder, Entfernen der temporären Abstützung, bereichsweiser Austausch von Material im Pfeiler und Fundament, wurden vom Tragwerksplaner baubegleitend überwacht.

Bei der Herstellung der Baugruben sind auf der Innenseite bisher unbekannte Fundamente entdeckt worden. Hierdurch wird der innere Stahlbetonkragen beider Pfeiler M1 und M2 geteilt. Auf Wunsch des Bauherrn sollten die Zugglieder zwischen Gewölbe und Fundament nicht vor den Fenstern verlaufen. Es wurde angestrebt, dass kein Element vom Kirchenraum aus sichtbar ist bzw. nur ein Zugglied vor dem Innenpfeiler angeordnet wird.

### 5.1 Baugrund

Für die Ertüchtigung der vorhandenen Fundamente und das Anbinden der neuen Stahlbetonfundamente wurde die Fundamentsohle freigelegt. Dafür waren Sicherungsmaßnahmen in Form eines Verbaus erforderlich. Alle Verbaumaßnahmen wurden mit dem Baugrundgutachter Dr. *Hallbauer* abgestimmt.

Aufgrund dessen, dass die äußeren Pfeilerbereiche zum Teil auf alten Fundamenten gegründet wurden (z. B. Pechstein), erfolgten im Rahmen der Ausführungsarbeiten in Abstimmung mit der Jäger Ingenieure GmbH die Überprüfung der geometrischen Abgrenzung und im Weiteren die erforderlichen Festlegungen für die Mauerwerksinjektion des Bestandsfundaments.

### 5.2 Arbeitsschritte

Folgende Arbeitsschritte wurden geplant und am Bauwerk umgesetzt:

1. Schonendes Entfernen der Sockelverkleidung,
2. Abbruch des randnahen Füllmauerwerks im Pilgerschrittverfahren und Sicherung des dahinter befindlichen Bestandsmauerwerks durch Spritzbeton; Injektion des restlichen Füllmauerwerks,
3. Ertüchtigung des Fundaments durch Injektion und schrittweises Ausheben der Baugrube bis zur Sohle; eine Fundamentunterfangung war nicht geplant,

4. Herstellen der Bohrungen für die Vorspannung im Bestandsfundament; Herstellen der Bohrungen im Chorgewölbe für die vertikalen Zugglieder,
5. Schalung, Bewehrung, Einbau der Ankerplatten und Hüllrohre für die Stahlbetonfundamente,
6. Betonieren des inneren und äußeren Fundamentkragens, Aufbau des Betonbanketts auf der Arkadenwand,
7. Aufbringen der Vorspannung nach Erhärten des Fundamentbetons,
8. Überprüfung der Vorspannung nach einem gewissen Zeitraum,
9. Verfüllen der Hüllrohre,
10. Einbau der Abspannkonstruktion auf der Arkadenwand,
11. Einbau und Spannen der vertikalen inneren Zugglieder mit Verformungskontrolle,
12. Schließen der Baugrube,
13. Restarbeiten.

### 5.3 Bauzustände

In Vorbereitung der Sanierungsmaßnahmen erfolgte eine temporäre Abstützung des Pfeilers M1. Diese Abstützung erhielt bereits eine Vorspannung von ca. 80 kN. Mit dieser Last sind die aus dem Gewölbe und dem Dach in den Pfeiler eingetragenen Horizontallasten teilweise kompensiert. Die entsprechenden Lastzustände waren Bestandteil der durchgeführten statischen Berechnungen. Infolge der Stützlast wurde dann das Fundament nahezu zentrisch belastet, war aber **nicht lastfrei**.

### 5.4 Materialfestigkeiten

#### Druckfestigkeit Pfeilermaterial

Nach DIN EN 1996-1-1/NA [46] lässt sich das Sandsteinmauerwerk in die Güteklasse N4 mit der kleinsten Steindruckfestigkeit ( $20 \text{ N/mm}^2$ ) einordnen. Zusammen mit einer Mörtelgruppe MG I ergibt sich die charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit zu:

$$f_k = 3,3 \text{ N/mm}^2$$

Der Bemessungswert der Mauerwerksdruckfestigkeit ergibt sich dann zu.

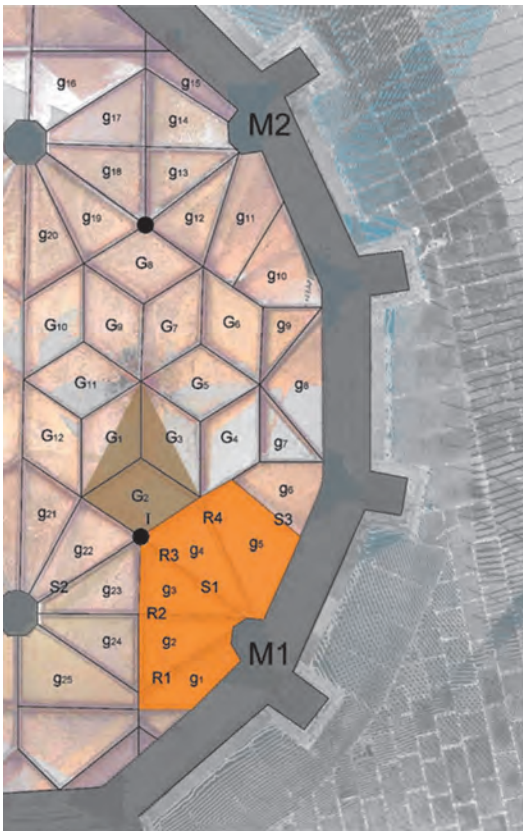
$$\begin{aligned} \text{GZT: } f_d &= 3,3 \text{ N/mm}^2 / 1,5 \cdot 0,85 \cdot 0,8 \\ &= 1,5 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Neben dem Teilsicherheitsfaktor  $\gamma_M = 1,5$  und dem Dauerstandsfaktor 0,85 wurde auch der Einfluss des Verbandsmauerwerks mit 0,8 berücksichtigt.

Für den unteren Randbereich (Granitverblendung) kann von einem Einsteinsmauerwerk ausgegangen werden. Die Druckfestigkeit steigt hierbei auf

$$f_d = 1,87 \text{ N/mm}^2$$

ohne die Berücksichtigung einer höheren Steifigkeit.



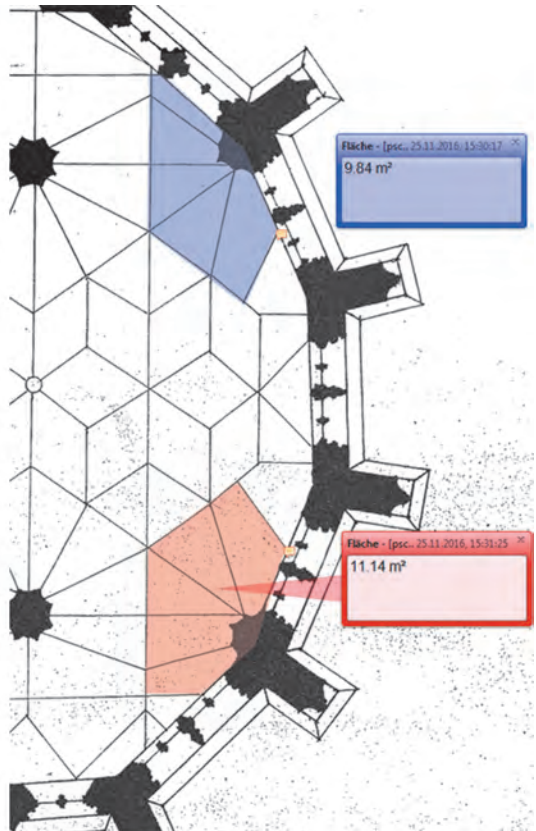
R1...R4 Rippen

S1...S3 Streberippe

I Luftauflager

g<sub>1</sub> ... g<sub>5</sub> Gewölbeeigengewicht direkt auf M1

G<sub>1</sub> ... G<sub>3</sub> Gewölbeeigengewicht über Streberippe I und II



Fläche - [psc...25.11.2016, 15:30:17]  
9.84 m²

Fläche - [psc...25.11.2016, 15:31:25]  
11.14 m²

**Bild 14.** Lasteingangsflächen des Chorgewölbes nach [27]

Für den Nachweis der außergewöhnlichen Belastung kann der Dauerstandsfaktor entfallen und der Teilsicherheitsfaktor beträgt dann  $\gamma_M = 1,3$ .

$$\begin{aligned} \text{GZA: } f_d &= 3,3 \text{ N/mm}^2 / 1,3 \cdot 0,8 \\ &= 2,03 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Die geringere Festigkeit im Inneren des Sockel- und Fundamentmauerwerks ließen sich nicht eindeutig klassifizieren.

#### *Druckfestigkeit Arkadenwand*

Für die Lasteinleitung der geplanten Vorspannung wird die Druckfestigkeit der Arkadenwand benötigt. Auf der sicheren Seite erfolgte die Einordnung der Voll-

ziegel in die Steinfestigkeitsklasse 12 und des Mörtels in die Gruppe NM II.

$$f_k = 5,4 \text{ N/mm}^2$$

Der Bemessungswert der Mauerwerksdruckfestigkeit ergibt sich dann zu.

$$\begin{aligned} \text{GZT: } f_d &= 5,4 \text{ N/mm}^2 / 1,5 \cdot 0,85 \cdot 0,8 \\ &= 2,45 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

#### *Beton*

C25/30, XC 3, XA1, WA

$$f_{ck} = 25,0 \text{ N/mm}^2$$

**5.5 Ständige und veränderliche Einwirkungen**

Durch die komplexe Geometrie weichen die in den bisherigen Untersuchungen ermittelten Lasten voneinander ab. Die vertikale Last ist hauptsächlich durch das Eigengewicht bestimmt. Bei der folgenden Zusammenstellung sind daher auch die aus der Nutzlast resultierenden Anteile mit enthalten.

Zusammenstellung maßgebenden Belastungen aus den jüngsten Untersuchungen:

- $V_k = 1706 \text{ kN} \dots 2020 \text{ kN}$  (Graf/Hoffmann nach [11]),
- $V_k = 1657 \text{ kN} \dots 1687 \text{ kN}$  (Jäger/Bakeer/Schöps nach [12]),
- $V_k = 1325 \text{ kN}$  (Werner nach [27]) und

für die horizontalen Einwirkungen sind in den Berechnungen die folgenden Werte angegeben:

- $H_k = 118 \text{ kN}$  (Graf/Hoffmann nach [11]),
- $H_k = 94 \text{ kN}$  (Jäger/Bakeer/Schöps nach [12]),
- $H_k = 145 \text{ kN}$  (Werner nach [27]).

Für die folgenden Nachweise wird der jeweils ungünstigste Wert verwendet. Da die Biegetragfähigkeit und die Lage der Resultierenden von den vertikalen Lasten im Wesentlichen günstig beeinflusst werden, ist hier der kleinste Wert zu verwenden. Bei den horizontalen Lasten ist der größte Wert maßgebend.

Es gelten die Annahmen gemäß [48]. Allerdings ist die Lastenzugsfläche ca. 10% kleiner als beim Pfeiler M1. Hiervon betroffen sind die Dachlasten, die Gewölbe und Rippenlasten (jeweils H und V).

- $V_k = 1310 \text{ kN}$
- $H_k = 134 \text{ kN}$

Bei einer Auswertung des in [8] verwendeten Modells des ganzen Kirchenschiffs bezüglich der Schnittkräfte am Pfeiler M2 haben sich die folgenden Werte für den maßgebenden Lastfall 4 ergeben:

- $F_x = -120,7 \text{ kN}$
- $F_y = -1524,6 \text{ kN}$
- $F_z = -60,8 \text{ kN}$
- $M_x = 11,6 \text{ kNm}$

- $M_y = -63,4 \text{ kNm}$
- $M_z = 144,7 \text{ kNm}$

Die resultierende Horizontalkraft ergibt sich zu:

$$H_k = \sqrt{(120,7 \text{ kN})^2 + (60,8 \text{ kN})^2} = 135,1 \text{ kN} > 134 \text{ kN}$$

Auf der sicheren Seite wurde mit den ungünstigsten Lasten gerechnet.

**5.6 Außergewöhnliche Einwirkungen**

*Anpralllasten*

Anpralllasten werden rechnerisch nicht weiter verfolgt. Der Pfeiler befindet sich im Fußgängerbereich. Die hier anzusetzenden Anpralllasten sind gering und kleiner als die entgegengesetzt wirkende Querkraft aus dem Gewölbeschub.

*Erdbebenlasten*

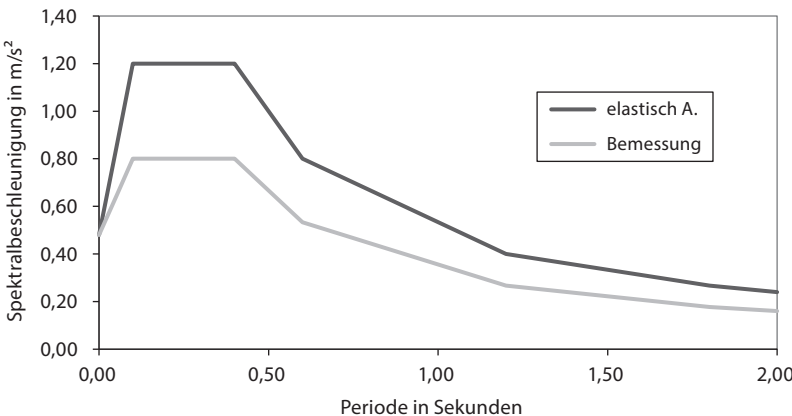
Der Zwickauer Dom befindet sich in der Erdbebenzone 1.

Es ergeben sich die folgenden Antwortspektren (s. Bilder 15 und 16)

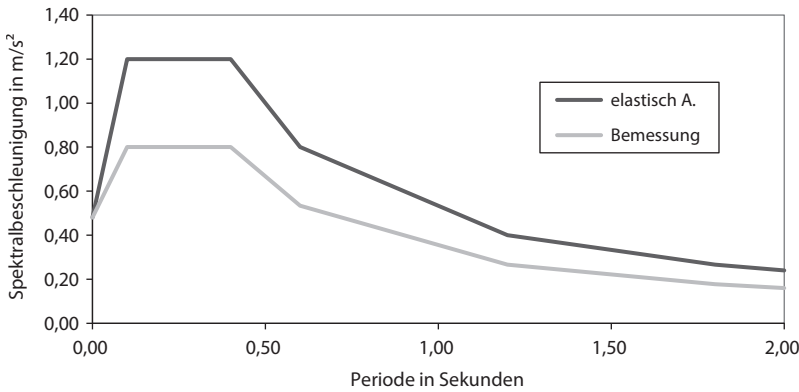
*Antwortspektrum*

- $a_g = 0,4 \text{ m/s}^2$  Bemessungswert der Bodenbeschleunigung
- $\gamma_1 = 1,2$  Bedeutungsbeiwert
- $S = 1$  Untergrundparameter
- $\xi = 5,0\%$  Wert der viskosen Dämpfung
- $\eta = 1,00$  Dämpfungskorrekturbeiwert
- $\beta_0 = 2,5$  Verstärkungsbeiwert der Spektralbeschleunigung
- $q = 1,5$  Verhaltensfaktor

Die maximale Spektralbeschleunigung horizontal wie auch vertikal beträgt  $0,8 \text{ m/s}^2$ . In Relation zum Eigengewicht entspricht dies einem Erhöhungsfaktor von  $0,8/9,81 = 0,081$ . Für die weiteren Nachweise wurde dieser Faktor verwendet. Bei einer genaueren Bestimmung der Eigenfrequenz kann eine wesentlich geringere horizontale Last angesetzt werden.



**Bild 15.** Antwortspektren für horizontale Anregung



**Bild 16.** Antwortspektren für vertikale Anregung

**5.7 Bautechnischer Brandschutz**

Der Zwickauer Dom besteht aus Kohlesandstein, welcher im Nachweissinne brennbar ist. Brandschutztechnische Anforderungen sind somit nicht gegeben. Sämtliche für die Ertüchtigung verwendeten Materialien sind nichtbrennbar. Die Zugglieder erhalten konstruktiv eine Brandschutzbeschichtung. Da sich die Spannanker im öffentlich zugänglichen Bereich befinden, sind sie regelmäßig auf Schadstellen zu untersuchen.

**5.8 Allgemeines zu den Statischen Nachweisen**

Die Nachweisführung erfolgt mittels dreier Berechnungsvarianten.

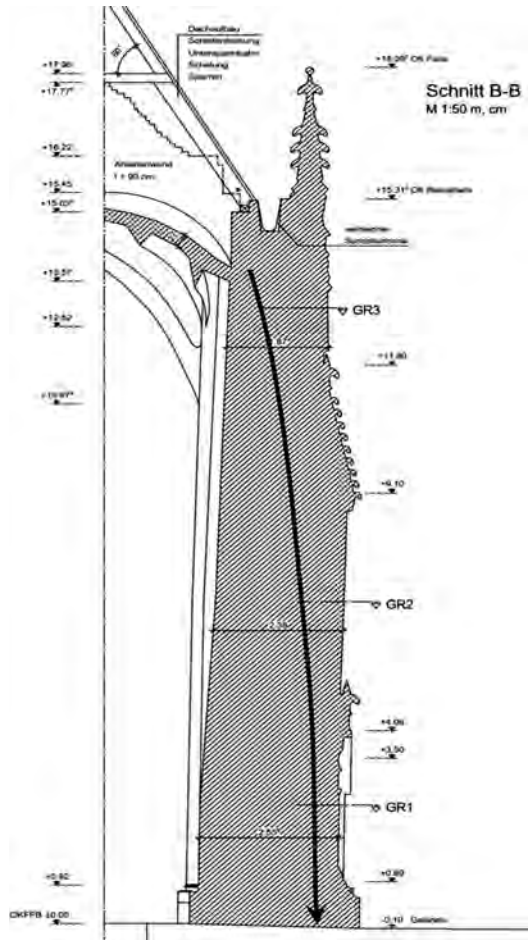
1. Die eigentliche Bemessung und Nachweisführung wird **analytisch** durchgeführt.
2. Für die Betrachtung der Bauzustände erfolgt eine Erweiterung um eine Schnittkraftermittlung an einem einfachen Stabwerksmodell.
3. Zur Kontrolle und genaueren Identifizierung der für die Spannungen maßgebenden Stellen ist ein räumliches FE-Modell mit Berücksichtigung der Lastgeschichten verwendet worden.

**5.9 Analytische Nachweise des Pfeilers**

Die im Folgenden geführten analytischen Nachweise beziehen sich auf den Querschnitt am Stützenfuß und anschließend auf die Fundamentsohle, da dies die maßgebenden Querschnitte sind (Bild 17).

Die Schiefstellung wird hierbei berücksichtigt. Sowohl die Annahme eines Kragarms als auch eines Rechteckquerschnitts mit einer Dicke  $t = 2,30$  m und einer Breite von 86 cm liegen deutlich auf der sicheren Seite. Auf die Berücksichtigung einer Einspannfeder für das Fundament kann daher verzichtet werden. Dies erfolgte in der anschließenden 3-D-Berechnung. Mit den hier gewählten Parametern ergibt sich eine Schlankheit von:

$$\lambda = \frac{2 \cdot 13,6 \text{ m}}{2,3 \text{ m}} = 11,8 < 20$$



**Bild 17.** Prinzipielle Darstellung des Stützlinienverlaufs im Pfeiler



die Eigenschaften des einzelnen Bauteils, sondern auch die akustischen Eigenschaften von Bauteilverbindungen (Stoßstellen) einbezogen. Auf dem Hintergrund der bisherigen DIN 4109 ist das für den deutschen Anwender eine neue Vorgehensweise. Gezielt wird nun die flankierende Übertragung in die Berechnung aufgenommen, sodass die Eigenschaften der Flankenwege für die Berechnung bekannt sein müssen. Wie dies in der Berechnung umzusetzen ist, wird in Abschnitt 2.3.1 erläutert.

Die Rechenverfahren verwenden als Eingangsdaten diejenigen Kenngrößen, die auch in den Bauteilprüfungen nach harmonisierten Prüfverfahren ermittelt werden. Damit ist die Verwendung eines  $R'_{w}$  zur Kennzeichnung der Schalldämmung von Bauteilen des Massivbaus nicht mehr möglich, wie es in DIN 4109:1989 noch der Fall war. In sogenannten „Detaillierten Modellen“ wird die Rechnung frequenzabhängig durchgeführt. Benötigt werden deshalb auch frequenzabhängige Eingangsdaten. Zusätzlich zu diesen frequenzabhängigen Berechnungen gibt es alternativ sogenannte „Vereinfachte Modelle“, in denen die Berechnung auf Einzahlangaben basiert. Bei der Umsetzung auf deutscher Ebene hat man sich dafür entschieden, die Schallschutznachweise der neuen DIN 4109 mit den vereinfachten Verfahren durchzuführen. Bauteilsammlungen, die wie in Beiblatt 1 zu DIN 4109 [2] eine umfangreiche Zusammenstellung von Ausführungsbeispielen beinhalten, sind in den Dokumenten der EN 12354 nicht vorgesehen. Jedoch enthalten sogenannte „informativ Anhänge“ eine Anzahl von Beispielen, die aber nicht den Anspruch auf repräsentative Darstellung erheben wollen und können. Ein „Europäischer Bauteilkatalog“ ist somit nicht verfügbar. Für die Anwendung der europäischen Rechenverfahren im Rahmen der neuen DIN 4109 wurde deshalb ein neuer Bauteilkatalog erarbeitet, der sich in den Teilen DIN 4109-31 bis DIN 4109-36 [7–13] befindet (s. Abschnitt 2.2).

Mit den neuen europäischen Verfahren für die Prognose des Schallschutzes wurden in umfangreichen Forschungsvorhaben Erfahrungen gesammelt und die Voraussetzungen für die Umsetzung im Rahmen der neuen DIN 4109 geschaffen. Insbesondere für den Mauerwerksbau konnten die für die Berechnung erforderlichen Schalldämm- und Stoßstellendämm-Maße abgesichert und die Anwendung des Berechnungsmodells für den Luftschallschutz verifiziert werden [53–59]. Auch das für die Ermittlung des Stoßstellendämm-Maßes anzuwendende Prüfverfahren [37] konnte für die Bedingungen des Mauerwerksbaus überprüft und erprobt werden [60–62]. Damit kann der Massivbau auf der Basis einer sorgfältigen Validierung in der neuen DIN 4109 behandelt werden.

## 2.2 Aufbau und Inhalte der neuen DIN 4109

DIN 4109 kennt für ihren Anwendungsbereich folgende Themenbereiche: Anforderungen an den baulichen Schallschutz, rechnerische Nachweise der Erfül-

lung der Anforderungen, Daten für die Berechnungen („Ausführungsbeispiele“) und Nachweise durch bauakustische Prüfungen. Diese Bereiche wurden in der neuen DIN 4109 inhaltlich getrennt und in separaten Dokumenten dargestellt. Daraus ergibt sich die folgende Gliederung:

- DIN 4109-1: Mindestanforderungen [5],
  - DIN 4109-2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen [6],
  - DIN 4109-3: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog),
  - DIN 4109-4: Bauakustische Prüfungen [14].
- Der Bauteilkatalog des Teils 3 wiederum gliedert sich in 6 einzelne Teile. Angesichts neuer, bislang nicht erforderlicher Daten (z. B. für die Direktämmung im Massivbau oder die Stoßstellendämmung) und der Aktualisierung der Daten (insbesondere für den Holz-, Leicht- und Trockenbau) erreichte der neue Bauteilkatalog einen solchen Umfang, dass eine thematische Aufteilung in die folgenden 6 Teile vorgenommen wurde:
- DIN 4109-31: Rahmendokument [7],
  - DIN 4109-32: Massivbau [8],
  - DIN 4109-33: Holz-, Leicht- und Trockenbau [9],
  - DIN 4109-34: Vorsatzkonstruktionen vor massiven Bauteilen [10],
  - DIN 4109-35: Elemente [12],
  - DIN 4109-36: Gebäudetechnische Anlagen [13].

In dieser Form wurden die insgesamt neun Normteile im Juli 2016 als Normenpaket unter dem alten Gesamttitel „Schallschutz im Hochbau“ veröffentlicht.

Mit der neuen DIN 4109:2016 sind die Nachweis- und Planungsmöglichkeiten weiter gefasst, als es mit der alten DIN 4109 der Fall war. Dennoch konnten nicht alle ins Auge gefassten Anwendungsbereiche bis zur Veröffentlichung des Normentwurfs 2013 bearbeitet werden. In DIN 4109-2 und im Bauteilkatalog DIN 4109-31 bis 36 finden sich deshalb an einigen Stellen „Platzhalter“, die im weiteren Verlauf der Normungsarbeit mit Inhalt gefüllt werden sollen. Darüber hinaus sollen in diesen beiden Normteilen Aktualisierungen möglich sein, wenn sich das aus der Weiterentwicklung der Berechnungsverfahren in DIN EN 12354 oder aus der Anpassung an aktuelle Bauweisen ergibt. Beide Normteile verstehen sich deshalb als „dynamische Dokumente“, deren Weiterentwicklung im zuständigen Normenausschuss verfolgt wird. Als erste Ergänzungen sind mit der Behandlung von Wärmedämmverbundsystemen für DIN 4109-34 [11] und mit der Behandlung von Vorhangfassaden für DIN 4109-35 [12] im Oktober 2018 entsprechende Normentwürfe veröffentlicht worden.

Ein Pedant zum Beiblatt 2 der DIN 4109 [3] mit Vorschlägen für einen erhöhten Schallschutz und Empfehlungen für den eigenen Wohn- und Arbeitsbereich gibt es in der neuen DIN 4109 nicht mehr. Nachdem ein Normentwurf [4] zum erhöhten Schallschutz im zuständigen Normungsgremium nicht konsensfähig war, wurde der erhöhte Schallschutz aus dem Aufgabenbereich der DIN 4109 gestrichen. Die neue DIN 4109

enthält deshalb keine Angaben zum erhöhten Schallschutz mehr. Allerdings beschloss das Lenkungs-gremium zu DIN 4109 im Oktober 2016, dass unter Würdigung von DIN 4109 Beiblatt 2:1989-11 und DIN SPEC 91314 [17] höhere Anforderungen an den Schallschutz erarbeitet werden, bei denen „der Schallschutz wahrnehmbar besser sein soll, als in DIN 4109-1 festgelegt“. Unter dem voraussichtlichen Titel „Schallschutz im Hochbau – Erhöhte Anforderungen“ soll sich ein neuer Teil 5 der DIN 4109 mit dieser Thematik beschäftigen.

Schon relativ kurz nach Erscheinen des Normenpakets vom Juli 2016 wurden für DIN 4109-1:2016 und DIN 4109-2:2016 Änderungen in die Wege geleitet. Dabei ging es um einige inhaltliche Änderungen zu den Anforderungen, die aufgrund von Vorgaben aus Schlichtungsverhandlungen erforderlich wurden, um Änderungen zur Behandlung des Außenlärms von Schienenverkehr, um Korrekturen und redaktionelle Überarbeitungen. Beim Deutschen Institut für Normung entschloss man sich, keine zusätzlichen Änderungsblätter, sondern sogenannte konsolidierte Fassungen herauszugeben, die die gesamten Normteile mit den vorgenommenen Änderungen enthalten. Die geänderten Fassungen beider Normteile erschienen im Januar 2018 als DIN 4109-1:2018 und DIN 4109-2:2018.

## 2.3 Neue Nachweisverfahren der DIN 4109-2

### 2.3.1 Luftschalldämmung

#### Grundprinzip

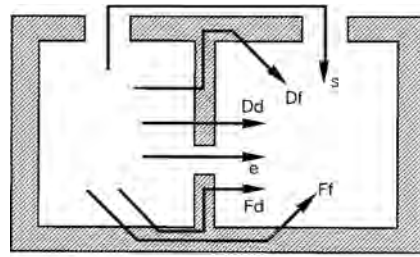
Ausgangspunkt für das Nachweisverfahren in DIN 4109-2 ist das vereinfachte Berechnungsmodell für die Luftschalldämmung in DIN EN 12354-1. Bei den eingehenden Untersuchungen zur Anwendbarkeit des Verfahrens auf die deutsche Bausituation wurden einige Modifikationen vorgenommen, allerdings ohne die Grundsätze des Verfahrens zu ändern.

Wenn Schall in Gebäuden von einem Raum in einen anderen übertragen wird (s. Bild 5), geschieht dies nicht nur als Luftschall durch das gemeinsame Trennbauteil (Weg Dd), sondern auch

- als Luftschall über weitere schallübertragende Elemente im Trennbauteil (Undichtigkeiten, Schlitzte, eingebaute Elemente wie z. B. Lüfter): Weg „e“
- als Luftschall über Nebenwege (Flure, Kanäle, durchlaufende abgehängte Unterdecken): Weg „s“ und
- als Körperschall über die flankierenden Bauteile: Wege Ff, Df und Fd.

Unter Flankenübertragung oder auch Schall-Längsleitung wird die letztgenannte Übertragungsart verstanden. Sie spielt für den Mauerwerksbau eine wichtige Rolle. An jeder Kante eines Trennbauteils gibt es dabei drei unterschiedliche Flankenwege:

- vom Flankenbauteil im Senderaum in das flankierende Bauteil im Empfangsraum (der sogenannte Weg Ff),



Dd durch das Trennbauteil  
Df, Fd, Ff über Flankenbauteile  
e durch Öffnungen in der Trennwand  
s über Nebenwege

**Bild 5.** Schallübertragung zwischen Räumen in Gebäuden

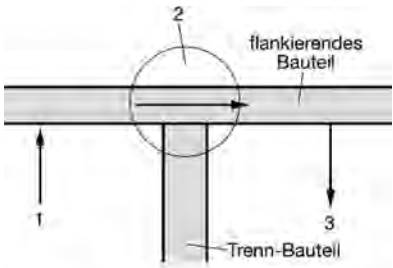
- vom Flankenbauteil im Senderaum in das Trennbauteil (Weg Fd) und
- vom Trennbauteil in das flankierende Bauteil im Empfangsraum (Weg Df).

Für die Kurzbezeichnungen der Wege – meist als Indizes für die entsprechenden Schalldämmanteile benutzt – gilt: f = flankierendes Bauteil, d = direkt übertragendes Bauteil (= Trennbauteil), Großbuchstabe für Senderaum, Kleinbuchstabe für Empfangsraum.

#### Besondere Rolle der Flankenübertragung

Insgesamt gibt es bei einer Trennwand die direkte Übertragung durch die Wand und zwölf „primäre“ Flankenwege. Insbesondere im Massivbau kann keiner dieser Flankenwege von vornherein vernachlässigt werden. Häufig wird über die Flankenwege zusammen etwa so viel Schall übertragen wie über das trennende Bauteil selbst. Neben den primären Flankenwegen gibt es noch solche über mehr als eine Stoßstelle hinweg, die wegen ihrer großen Anzahl trotz der geringen Einzelbeiträge insgesamt bedeutsam sein können. Allerdings müssen diese unter üblichen Massivbaubedingungen nicht gesondert berücksichtigt werden, da sie sie auf empirische Weise bei den rechnerischen Ansätzen zur Flankenübertragung bereits miterfasst werden.

Während bei einer Berechnung des Schallschutzes zwischen zwei Räumen die Wege „e“ und „s“ nur bei Bedarf einzubeziehen sind, müssen die Wege über die flankierenden Bauteile im Massivbau grundsätzlich immer berücksichtigt werden, und zwar jeder Weg für sich. In diesem Punkt unterscheidet sich das neue Berechnungsverfahren grundsätzlich von der bisherigen Vorgehensweise nach Beiblatt 1 zu DIN 4109:1989 [2]. Dort enthielt das Schalldämm-Maß des trennenden Bauteils ( $R'_{w,R}$ ) schon eine (hineingemessene) flankierende Übertragung, die lediglich noch korrigiert werden musste, wenn die mittlere flächenbezogene Masse der Flankenbauteile von  $300 \text{ kg/m}^2$  abwich oder wenn Vorsatzschalen bei der Übertragung beteiligt waren. Eine detaillierte Betrachtung der einzelnen Flankenwege war nicht vorgesehen. Im neuen Berechnungsverfahren ist bei der Berechnung des Schallschutzes zwi-



- 1 Luftschallanregung flankierendes Bauteil (Sendeseite)
- 2 Körperschallübertragung über die Stoßstelle Bauteilkombination
- 3 Luftschallabstrahlung flankierendes Bauteil (Empfangsseite)

1 und 3 kann durch das Schalldämm-Maß  $R_{i,w}$  bzw.  $R_{j,w}$  des flankierenden Bauteils beschrieben werden

2 wird durch das Stoßstellendämm-Maß  $K_{ij}$  beschrieben; dieses ist eine Eigenschaft der Bauteilkombination

**Bild 6.** Flankierende Schallübertragung nach DIN EN 12354-1 am Beispiel eines T-Stoßes (Weg Ff)

schen zwei Räumen die Bestimmung der Flankenübertragung dagegen eine zentrale Aufgabe.

Bild 6 zeigt dazu, wie im Rahmen des Berechnungsmodells die flankierende Übertragung durch das Schalldämm-Maß des flankierenden Bauteils und das sog. Stoßstellendämm-Maß  $K_{ij}$  beschrieben werden kann. Für die Körperschallübertragung am Knotenpunkt (Stoßstelle) wird als neue Größe das Stoßstellendämm-Maß  $K_{ij}$  definiert. Dieses beschreibt die Verminderung des Körperschalls bei seinem Weg über die Stoßstelle hinweg, die durch die Energieverzweigung auf mehrere Bauteile und die Reflexion an der Stoßstelle zustande kommt. Sie hängt ab von der individuellen Beschaffenheit der aufeinanderstoßenden Bauteile und der Art ihrer Verbindung.

Jeder flankierende Übertragungsweg wird durch ein eigenes Schalldämm-Maß, das sogenannte Flankenschalldämm-Maß  $R_{ij,w}$ , definiert. Dieses beschreibt die Dämmung auf dem Übertragungsweg  $ij$ , wobei  $i$  das angeregte Bauteil im Senderaum und  $j$  das abstrahlende Bauteil im Empfangsraum bezeichnet. Dafür gilt dann

$$R_{ij,w} = (R_{i,w} + R_{j,w})/2 + \Delta R_{ij,w} + K_{ij} + 10 \cdot \lg(S_s / l_0 l_f) \quad [\text{dB}]$$

Es bedeuten:

$R_{i,w}, R_{j,w}$  die bewerteten Schalldämm-Maße der Bauteile  $i$  und  $j$ , im direkten Schalldurchgang

$\Delta R_{ij,w}$  die gesamte bewertete Verbesserung der Luftschalldämmung durch Vorsatzschalen auf den Bauteilen  $i$  oder  $j$

- $K_{ij}$  der Einzahlwert des Stoßstellendämm-Maßes für den Schallübergang vom Bauteil  $i$  zum Bauteil  $j$
- $S_s$  die Fläche des trennenden („separating“) Bauteils
- $l_f$  die gemeinsame Kopplungslänge der Verbindungsstelle zwischen dem trennenden Bauteil und den flankierenden Bauteilen
- $l_0$  die Bezugs-Kopplungslänge,  $l_0 = 1 \text{ m}$

Die Formel besagt, dass sich die Schalldämmung für den Weg  $ij$  zusammensetzt aus dem Mittelwert der Schalldämm-Maße der beiden „schallführenden“ Bauteile, erhöht um die Verbesserung etwa vorhandener Vorsatzschalen und die Dämmung der Stoßstelle selbst. Der letzte Term in der obigen Formel berichtigt lediglich die Tatsache, dass die vorangegangenen Ausdrücke auf unterschiedliche Flächen bezogen sind. Der Ansatz macht deutlich, dass die Schallausbreitung entlang der beteiligten Bauteile und die Vorgänge an den Verbindungsstellen verschiedene Dinge sind. Ein ungünstiges Längsleitungsverhalten eines Bauteils kann beispielsweise durch eine geeignete Stoßstellenausbildung (z. B. mit Fuge) ausgeglichen werden. Andererseits kann das Abreißen der Trennwand von den Außenwänden die Schalllängsleitung auf dem Weg  $Ff$  durch Verringerung der Stoßstellendämmung beträchtlich erhöhen (s. dazu Abschnitt 5.4.1). Die genannte Gleichung enthält alles, was zur Behandlung der flankierenden Übertragung bekannt sein muss und liefert zu deren Dimensionierung quasi eine Handlungsanleitung.

### Berechnung der Schalldämmung

Die resultierende Schalldämmung zwischen zwei Räumen (Bau-Schalldämm-Maß) ergibt sich durch die Summe der auf den einzelnen Wegen übertragenen Schallleistungen, was in Schalldämm-Maßen ausgedrückt folgende Form annimmt:

$$R'_w = -10 \cdot \lg \left[ 10^{-R_{Dd,w}/10} + \sum_{ij} 10^{-R_{ij,w}/10} \right] \quad [\text{dB}]$$

$R_{Dd,w}$  ist hierbei das bewertete Direkt-Schalldämm-Maß des Trennbauteils einschließlich der Wirkung etwaiger Vorsatzschalen im Sende- oder Empfangsraum. Für die Summation der Flankenwege werden bei nebeneinanderliegenden quaderförmigen Räumen üblicherweise 12 Wege berücksichtigt. Naheliegenderweise wird man diesen Berechnungsgang mit geeigneten Berechnungsprogrammen durchführen, von denen mehrere kommerzielle und nicht kommerzielle Versionen auf dem Markt verfügbar sind.

### Berücksichtigung von Vorsatzschalen

Sowohl bei der Direktdämmung als auch bei der Flankendämmung können Vorsatzschalen auf den Bauteilen berücksichtigt werden. Dies geschieht dadurch, dass die bewertete Verbesserung der Luftschalldämmung  $\Delta R_w$  (s. Abschnitt 1.5.2.3) einer Vorsatzschale

zum bewerteten Schalldämm-Maß des Grundbauteils addiert wird.

Ist eine Massivwand beidseitig mit Vorsatzschalen verkleidet, werden deren bewertete Verbesserungen nicht addiert, sondern zur bewerteten Verbesserung der „besseren“ Vorsatzschale nur die halbe bewertete Verbesserung der „schlechteren“ Schale hinzugezählt:

$$\Delta R_{w,ges} = \Delta R_{w,größer\ von\ beiden} + \Delta R_{w,kleiner\ von\ beiden} / 2 \quad [\text{dB}]$$

In DIN 4109-2 [6] und DIN 4109-34 [10] wird weiterhin angenommen, dass die Verbesserungen der Schalldämmung einer Trennwand  $\Delta R_w$  und einer flankierenden Wand  $i$  durch dieselbe Vorsatzschale gleich groß sind:

$$\Delta R_{i,w} = \Delta R_w \quad [\text{dB}]$$

Befinden sich Vorsatzschalen auf einer flankierenden Wand sowohl im Sende- als auch im Empfangsraum, wird wiederum zur bewerteten Verbesserung der besseren Vorsatzschale nur die Hälfte der bewerteten Verbesserung der schlechteren Wand addiert, um die resultierende Verbesserung beider Schalen zu erhalten:

$$\Delta R_{ij,w} = \Delta R_{i,w} + \Delta R_{j,w} / 2 \quad [\text{dB}]$$

Hierbei wird angenommen, dass die Vorsatzschale vor der Wand  $i$  die bessere von beiden ist.

**Nachweis für zweischalige massive Haustrennwände**  
DIN 4109-2 enthält auch ein Berechnungsverfahren für die Schalldämmung zweischaliger massiver Haustrennwände. Dieses weicht jedoch von den Prinzipien des zuvor beschriebenen neuen Verfahrens ab. Es wird in Abschnitt 4.5.2 erläutert.

### 2.3.2 Trittschalldämmung

In Abschnitt 1.5.2.6 wird beschrieben, wie der bewertete Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w}$  einer „gebrauchsfertigen“ Decke aus dem äquivalenten bewerteten Norm-Trittschallpegel  $L_{n,eq,0,w}$  der Rohdecke und der bewerteten Trittschallminderung  $\Delta L_w$  einer Deckenaufgabe ermittelt werden kann. Für die Berechnung der Trittschallübertragung im Gebäude (vertikale Übertragung in den darunterliegenden Raum) muss dann noch die flankierende Trittschallübertragung berücksichtigt werden. Im Gegensatz zur Berechnung der Luftschalldämmung (s. Abschnitt 2.3.1) wird jedoch keine detaillierte Berechnung der einzelnen Flankenwege durchgeführt. Vielmehr wird aus der mittleren flächenbezogenen Masse der Flankenbauteile ein pauschaler Korrekturwert  $K$  ermittelt, der sich in Abhängigkeit von den flächenbezogenen Massen des Trennbauteils und der (gemittelten) Flankenbauteile ergibt. Daraus folgt für den bewerteten Norm-Trittschallpegel im Bau  $L'_{n,w}$

$$L'_{n,w} = L_{n,eq,0,w} - \Delta L_w + K \quad [\text{dB}]$$

Dieses in DIN 4109-2 als Nachweisverfahren für den Trittschall vorgesehene Verfahren entspricht dem vereinfachten Verfahren der DIN EN 12354-2:2000.

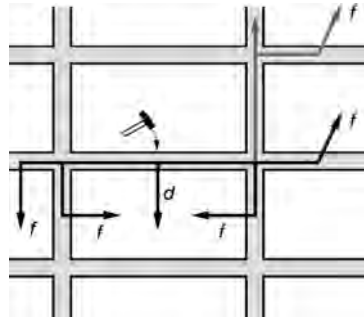


Bild 7. Trittschallausbreitung in Gebäuden (nach [63])

Trittschall macht sich in einem Gebäude nicht nur unmittelbar unterhalb der angeregten Decke bemerkbar, sondern auch in horizontaler, diagonaler oder vertikal aufsteigender Richtung (s. Bild 7).

Eine wirkliche Berechnung dieser Übertragungssituationen ist mit dem Ansatz aus DIN 4109-2 nicht möglich. Durch eine Korrektur mit dem Korrekturwert  $K_T$ , der die Ausbreitungsverhältnisse zwischen der Anregestelle und dem schutzbedürftigen Raum berücksichtigt, kann jedoch der für die vertikale Übertragung definierte  $L_{n,w}$  (ohne Flankenübertragung) auf die anderen Situationen umgerechnet werden. Dafür berechnet sich der bewertete Norm-Trittschallpegel zu

$$L'_{n,w} = L_{n,eq,0,w} - \Delta L_w - K_T \quad [\text{dB}]$$

Tabelle 2 nennt für die infrage kommenden Übertragungssituationen die entsprechenden Korrekturwerte  $K_T$ .

### 2.3.3 Außenlärm

Die gegenüber Außenlärm erforderliche Schalldämmung des Außenbauteils ergibt sich nach DIN 4109-1 [5] aus dem maßgeblichen Außenlärmpegel  $L_a$ . Dieser muss entsprechend der örtlichen Lärmbelastung des Gebäudes (Verkehrslärm, Industrielärm etc.) nach den Vorgaben in DIN 4109-2 (falls  $L_a$  berechnet wird, was der übliche Fall ist) oder nach den Vorgaben der DIN 4109-4 [14] (falls in Sonderfällen  $L_a$  durch Messung bestimmt wird) ermittelt werden. Für das gesamte bewertete Bau-Schalldämm-Maß  $R'_{w,ges}$  der Außenbauteile schutzbedürftiger Räume gilt dann nach DIN 4109-1:

$$R'_{w,ges} = L_a - K_{Raumart} \quad [\text{dB}]$$

Dabei ist

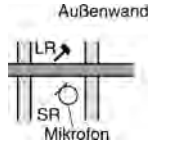
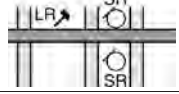
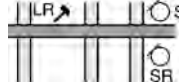
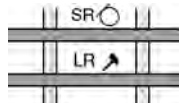
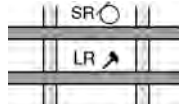
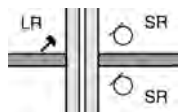
$K_{Raumart} = 25 \text{ dB}$  für Bettenräume in Krankenanstalten und Sanatorien

$K_{Raumart} = 30 \text{ dB}$  für Aufenthaltsräume in Wohnungen, Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten, Unterrichtsräume u. Ä.

$K_{Raumart} = 35 \text{ dB}$  für Büroräume u. Ä.



**Tabelle 2.** Korrekturwert  $K_T$  zur Ermittlung des bewerteten Norm-Trittschallpegels  $L'_{n,w}$  für verschiedene räumliche Zuordnungen von Anregeraum (lauter Raum, LR) zum Empfangsraum („schutzbedürftiger Raum“, SR) nach DIN 4109-2 [6]

Zeile	Lage der schutzbedürftigen Räume (SR)		$K_T$ [dB]
1	unmittelbar unter dem lauten Raum (LR)		0
2	neben oder schräg unter dem lauten Raum (LR)		+5
3	wie Zeile 2, jedoch ein Raum dazwischenliegend		+10
4	über dem lauten Raum (LR) (Gebäude mit tragenden Wänden)		+10
5	über dem lauten Raum (LR) (Skelettbau)		+20
6	neben oder schräg unter dem lauten Raum (LR), jedoch durch Haustrennfuge ( $d \geq 50$ mm) getrennt		+15

Auf diese Weise kann entsprechend der Nutzung der schutzbedürftigen Räume der entsprechende Anforderungswert für die Schalldämmung bestimmt werden. Diese Vorgehensweise ermittelt die erforderliche Schalldämmung „dB-genau“, während bei der früheren Vorgehensweise nach DIN 4109:1989 [1] die in 5-dB-Stufen unterteilten Lärmpegelbereiche maßgebend waren.

Zu beachten ist, dass  $R'_{w,ges}$  die resultierende Schalldämmung der Fassade ist, die sich nach den Angaben in Abschnitt 4.6.2 aus den Schalldämm-Maßen der einzelnen Fassadenteile (Wand, Fenster, Rollladenkästen usw.) ermitteln lässt. Zu beachten ist weiterhin, dass entsprechend den Erläuterungen in Abschnitt 4.6.3 der so bestimmte Wert  $R'_{w,ges}$  noch mit einer Korrektur  $K_{AL}$  versehen werden muss, die die geometrischen Verhältnisse des jeweiligen schutzbedürftigen Raums berücksichtigt.

**2.3.4 Nachweis für Geräusche gebäudetechnischer Anlagen**

Für Geräusche gebäudetechnischer Anlagen werden zwar in DIN 4109-1 Anforderungen gestellt, jedoch findet sich in DIN 4109-2 (Rechnerische Nachweise) kein Verfahren, mit dem ein rechnerischer Nach-

weis geführt werden könnte. Stattdessen wird in DIN 4109-36 [13] auf sogenannte Musterinstallationswände verwiesen, die für einen Nachweis ohne bauakustische Messungen herangezogen werden können. Auch für den Massivbau wird eine entsprechende Musterinstallationswand definiert sowie die dafür geltenden Randbedingungen festgelegt. In Abschnitt 4.7 wird darauf eingegangen.

**2.4 Neues Sicherheitskonzept der DIN 4109**

In den Schallschutznachweisen der DIN 4109:1989 waren die Kennwerte der Ausführungsbeispiele in Beiblatt 1 zu DIN 4109:1989 als „Rechenwerte“ deklariert. Sie enthielten bereits ein Vorhaltemaß von 2 dB. Wenn Messwerte aus Prüfzeugnissen für die Nachweise herangezogen wurden, musste beim Prüfstandswert ebenfalls das Vorhaltemaß berücksichtigt werden. Das sollte beim Schallschutznachweis dazu führen, dass die Sicherheit zur Erfüllung der nachzuweisenden Anforderungen erhöht wurde.

Die neue DIN 4109 hat sich vom Vorhaltemaß, das den Werten der trennenden Bauteile zugeschlagen wurde, verabschiedet und stattdessen ein völlig neues Sicherheitskonzept eingeführt, das auf grundlegenden Untersuchungen in [64, 65] beruht. Grundsätzlich wer-

den zwei getrennte Schritte durchgeführt: die Prognoserechnung nach DIN 4109-2 und die dazugehörige Ermittlung der Sicherheitsbeiwerte nach den Vorgaben in DIN 4109-2, 5.3.3 oder Anhang C. Die ermittelte Unsicherheit wird dann dem Prognosewert zugeschlagen, sodass ein Abgleich mit den gestellten Anforderungen erfolgen kann. Für bauaufsichtliche Nachweise sind die Sicherheitsbeiwerte vereinfacht als pauschale Sicherheitsbeiwerte heranzuziehen. Es gilt dann für die Luftschalldämmung von trennenden Bauteilen im Gebäude:

$$R'_{w} - 2 \text{ dB} \geq \text{erf. } R'_{w} \quad [\text{dB}]$$

Für die Trittschalldämmung gilt:

$$L'_{n,w} + 3 \text{ dB} \leq \text{zul. } L'_{n,w} \quad [\text{dB}]$$

## 2.5 Neuer Bauteilkatalog in DIN 4109

Der Bauteilkatalog der neuen DIN 4109 stellt für die rechnerischen Nachweise (Schallschutznachweise) der DIN 4109-2 die benötigten Eingangsdaten zur Verfügung. In großen Teilen wurde der Bauteilkatalog neu erarbeitet. Grundlage dafür waren zahlreiche Forschungsarbeiten und Untersuchungen, die neue, bislang nicht verfügbare Daten (z. B. für den Massivbau Schalldämm-Maße  $R_w$  und Stoßstellendämm-Maße  $K_{ij}$ ) für den Bauteilkatalog zur Verfügung stellten und für eine Aktualisierung der Datensammlung sorgten. Alle Daten des Bauteilkatalogs können ohne jegliche Zu- oder Abschläge unmittelbar in den Berechnungsverfahren verwendet werden, da der Sicherheitsbeiwert erst beim Endergebnis der Prognoserechnung angesetzt wird. Die einzelnen Teile des Bauteilkatalogs sind nach Bauteilgruppen gegliedert, denen gemeinsame Konstruktionsmerkmale zugeordnet werden können. Für jede Bauteilgruppe finden sich neben den Daten für den rechnerischen Nachweis weitere Angaben: die Beschreibung der Bauteilgruppe, die Erläuterung der die Schalldämmung beeinflussenden Größen, Hinweise für Planung und Ausführung und Angaben zur Herkunft der Daten.

Von besonderer Bedeutung für den Mauerwerksbau sind die Teile DIN 4109-32 [8] und DIN 4109-34 [10]. In DIN 4109-32 finden sich alle Daten und Hinweise für die Luft- und Trittschalldämmung massiver Konstruktionen. Außerdem enthält er die Angaben für die Stoßstellendämm-Maße  $K_{ij}$ . Vorsatzkonstruktionen vor massiven Bauteilen (z. B. Vorsatzschalen oder schwimmende Estriche) werden als separate Bauteile behandelt, da sie (im Gegensatz zum Holz-, Leicht- und Trockenbau) mit ihren Verbesserungen  $\Delta R_w$  und  $\Delta L_w$  additiv mit den massiven Grundbauteilen (Wände, Decken) kombiniert werden können (s. Abschnitt 2.3.2). Die Angaben für die bewertete Verbesserung der Luftschalldämmung  $\Delta R_w$  und für die bewertete Trittschallminderung  $\Delta L_w$  finden sich in DIN 4109-34.

Die bauakustischen Verhältnisse im Massivbau führen dazu, dass die wesentlichen Zusammenhänge in DIN 4109-32 auf mathematisch einfache Art und Weise mit ausreichender Genauigkeit in Abhängigkeit von der flächenbezogenen Masse beschrieben werden können. Überall, wo solche analytischen Zusammenhänge vorhanden sind, nennt der Bauteilkatalog in DIN 4109-32 die entsprechenden Formeln. Das gilt für die „Massekurven“, die den Zusammenhang zwischen der flächenbezogenen Masse eines massiven Bauteils und dessen Schalldämm-Maß  $R_w$  herstellen (s. Abschnitt 4.2.2) und für die Stoßstellendämm-Maße  $K_{ij}$ , die im Massivbau aus dem Verhältnis der flächenbezogenen Massen der beteiligten Bauteile ermittelt werden können (s. Abschnitt 5). Auch der Norm-Trittschallpegel massiver Decken lässt sich rechnerisch aus der flächenbezogenen Masse ermitteln. Die flächenbezogene Masse ist deshalb für den Schallschutz im Massivbau die Leitgröße, für deren Ermittlung in DIN 4109-32 ausführliche Festlegungen getroffen werden.

## 3 DIN 4109-1 und andere Regelwerke für den baulichen Schallschutz

### 3.1 Regelwerke und deren Anwendungsbereich

Anforderungen an den baulichen Schallschutz sind in der DIN 4109-1 [5] festgelegt. Durch die baurechtliche Einführung der DIN 4109-1 in den einzelnen Bundesländern sind die dort enthaltenen Schallschutzanforderungen öffentlich-rechtlich geschuldete Eigenschaften, die in jedem Fall erbracht werden müssen. Sie haben damit den Charakter von Mindestanforderungen. Dem trägt DIN 4109-1 dadurch Rechnung, dass sie (gegenüber der Vorgängernorm von 1989) nun auch den Namen „Schallschutz im Hochbau – Mindestanforderungen“ führt. Diese Anforderungen gelten für den

- Schutz von Aufenthaltsräumen gegen Schallübertragung aus einem fremden Wohn- oder Arbeitsbereich (Luftschall- und Trittschalldämmung),
- Schutz gegen Geräusche aus haustechnischen Anlagen und Betrieben,
- Schutz gegen Außenlärm.

Ausdrücklich geht es bei den Anforderungen innerhalb eines Hauses nur um den Schutz gegen Schallübertragung aus einem fremden Wohn- oder Arbeitsbereich. Geräusche aus dem eigenen Wohn- oder Arbeitsbereich sind (mit einer Ausnahme, die noch angesprochen wird) nicht Gegenstand bauaufsichtlicher Anforderungen. DIN 4109-1 ist durch die bauaufsichtliche Einführung für die Festlegung der Anforderungen das einzige Regelwerk des baulichen Schallschutzes, das im bauordnungsrechtlichen Sinne anzuwenden ist. Darüber hinaus gibt es zur Bemessung des baulichen Schallschutzes eine Reihe anderer Regelwerke, deren Anwendung ausschließlich im zivilrechtlichen/vertragsrechtlichen Bereich liegt.