

2017

MAUERWERK KALENDER



Befestigungen
Lehmmauerwerk

Ernst & Sohn

A Wiley Brand

Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser,

bei dem vor Ihnen liegenden Mauerwerk-Kalender 2017 haben wir uns für zwei Schwerpunktthemen entschieden: Breiter Raum wurde der Problematik Befestigungen eingeräumt. Es gilt einiges zu beachten, um die Bemessung für die verschiedenen Mauerwerksbaustoffe sicher durchführen zu können. Insbesondere für neu entwickelte Produkte wie dämmstoffgefüllte Hohllochsteine muss der Planer genau Bescheid wissen und sich stets auf dem aktuellen Stand der Technik und des Wissens halten. Lehm als leistungs- und zukunftsfähigen umweltschonenden Baustoff aus der alternativen Nische herauszuholen, wo er längst nicht mehr hingehört, auch dazu will der Mauerwerk-Kalender 2017 einen Beitrag leisten. Viele weitere interessante Themen lohnen das Lesen der aktuellen Ausgabe des Jahrbuchs.

– Im Bereich *Baustoffe · Bauprodukte* finden Sie komprimiert die Eigenschaftswerte von Mauersteinen, Mauermörtel, Mauerwerk und Putzen mit Angabe der zugrunde liegenden Quellen, sodass bei Bedarf auch tiefer in die Materie eingestiegen werden kann, indem die Ermittlung anhand der originalen Versuche und Literatur nachvollzogen wird. Der Beitrag über den Mauerwerksbau mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung stellt die im letzten Jahr neu erteilten Zulassungen des Fachgebietes vor.

– Die Abteilung *Konstruktion · Bauausführung · Bauwerkserhaltung* beginnt mit einer ausführlichen Schilderung der bauphysikalischen und befestigungstechnischen Anforderungen bei der Montage von Fenstern und Türen. Dieser Beitrag wurde im Verlauf der letzten Jahre von den Autoren in Abständen immer wieder für den Mauerwerk-Kalender aktualisiert und erweitert, sodass nun eine tatsächlich umfassende Darstellung des Themas entstanden ist. Den Part Bauwerkserhaltung und Sanierung bedient ein Aufsatz über den Dom St. Marien in Zwickau. Der Dombaumeister berichtet über frühere und aktuelle Schäden, deren Ursachen und den Stand der Bauerhaltung, der Sanierungspläne und -maßnahmen. In einer der kommenden Ausgaben des Mauerwerk-Kalenders wird über den weiteren Fortgang der Sanierung berichtet werden. Die Leistungsfähigkeit von Lehmmauerwerk wird in drei weiteren Beiträgen gezeigt und berücksichtigt dabei sowohl die Bemessung nach neuesten Erkenntnissen, wobei hier der künftige Forschungsbedarf spezifiziert wird, als auch die zu beachtenden Besonderheiten bei Konstruktion und Ausführung.

– Das Kapitel *Bemessung* zeigt das Verhalten von Mauerwerk unter hochdynamischen Einwirkungen.

Die theoretischen Materialmodellierungen werden am Ende mit einem Anwendungsbeispiel unterlegt. Aktuelle Forschungsergebnisse mit Berechnungshinweisen für Befestigungen in Hohllochmauerwerk ergänzen den Beitrag B I. Der Nachweis von gemauerten Gewölbebrücken im Bestand stellt Planer immer wieder vor Herausforderungen – wie damit umgehen, wenn Unterlagen und Kennwerte fehlen? Es müssen dann durch intelligente Schlussfolgerungen unter Berücksichtigung einer ausreichenden Sicherheit Annahmen für den Nachweis getroffen und notwendige Bauwerksuntersuchungen angeordnet werden. Die „Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand“ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung soll dem Planer Hilfestellung für die nötigen Nachweise geben. Im Rahmen der laufenden Überarbeitung der Nachrechnungsrichtlinie haben sich die Autoren mit dem Thema beschäftigt und informieren darüber. Aktuelle Forschungsergebnisse aus der deutschen und europäischen Normungsarbeit werden aus dem Bereich Knicken und Nachweis der Mindestauflast vorgestellt.

– Die Rubrik *Bauphysik · Brandschutz* widmet sich dem Schallschutz im Mauerwerksbau von der praktischen Seite her und geht auf zweckmäßige Festlegungen der Schallschutzanforderungen und die Konsequenzen für den Planer ein.

– Auch der 42. Jahrgang des Mauerwerk-Kalenders bietet im Bereich *Normen · Zulassungen · Regelwerk* wie gewohnt einen Überblick über die aktuell geltenden Technischen Regeln für den Mauerwerksbau sowie Zugriff auf sämtliche zulassungsbedürftige Neuentwicklungen des Fachgebietes in den bekannten tabellarischen Übersichten, gegliedert nach dem Einsatzgebiet der jeweiligen Produkte. Dem Verzeichnis folgt eine Liste, geordnet nach Zulassungsnummern und mit Verweisen auf die entsprechenden Seiten dieses Beitrags sowie auf die des Beitrags A II „Neuentwicklungen beim Mauerwerksbau mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung“ aus dem Kapitel *Baustoffe · Bauprodukte*. Die Informationen zum Eurocode 6 werden im Abschluss dieser Rubrik mit Darlegungen zur Ausführung nach Teil 2 des EC6 ergänzt.

– Der Bereich *Forschung* bietet wie immer den jährlichen Überblick über die aktuelle Forschungssituation im Mauerwerksbau.

Allen Beteiligten sei für die Mitwirkung an der aktuellen Ausgabe des Mauerwerk-Kalenders gedankt. Ich wünsche den Leserinnen und Lesern gute Lektüre und freue mich wie immer über Ihre Anregungen, die wir gern aufgreifen wollen.

Dresden,
im Februar 2017

Wolfram Jäger
ji@jaeger-ingenieure.de

Inhaltsverzeichnis

Vorwort		III	
Autoren		XVII	
A Baustoffe • Bauprodukte			
I Eigenschaften von Mauersteinen, Mauermörtel, Mauerwerk und Putzen	3		
Wolfgang Brameshuber, Aachen			
1 Allgemeines	3	5.5 Biegezugfestigkeit und -tragfähigkeit	16
2 Eigenschaftskennwerte von Mauersteinen	3	5.6 Verformungseigenschaften	20
2.1 Festigkeitseigenschaften	3	5.6.1 Allgemeines	20
2.1.1 Längsdruckfestigkeit	3	5.6.2 Druckbeanspruchung senkrecht zu den Lagerfugen	20
2.1.2 Zugfestigkeiten	4	5.6.2.1 Druck-E-Modul E_D	20
2.2 Verformungseigenschaften	6	5.6.2.2 Querdehnungszahl μ_D und Dehnung bei Höchstspannung $\varepsilon_{u,D}$	21
2.2.1 Elastizitätsmodul senkrecht zur Lagerfuge unter Druckbeanspruchung	6	5.6.2.3 Völligkeitsgrad α_0	21
2.2.2 Elastizitätsmodul in Steinlängsrichtung unter Zugbeanspruchung	6	5.6.3 Druckbeanspruchung parallel zu den Lagerfugen	21
2.2.3 Spannungs-Dehnungslinie	7	5.6.3.1 Druck-E-Modul $E_{D,p}$	21
2.2.4 Querdehnungsmodul	7	5.6.3.2 Dehnung bei Höchstspannung $\varepsilon_{u,D,p}$	21
2.3 Dehnung aus Schwinden und Quellen, thermische Ausdehnungskoeffizienten	7	5.6.4 Zug-E-Modul E_Z (Zugbeanspruchung parallel zu den Lagerfugen)	21
3 Eigenschaftswerte von Mauermörteln	7	5.6.5 Feuchtedehnung ε_f , (Schwinden ε_s , irreversibles Quellen ε_q), Kriechen (Kriechzahl ϕ), Wärmedehnungskoeffizient α_T	21
3.1 Allgemeines	7		
3.2 Festigkeitseigenschaften	7		
3.2.1 Zugfestigkeit β_Z	7	6 Feuchtigkeitstechnische Kennwerte von Mauersteinen, Mauermörtel und Mauerwerk	23
3.2.2 Scherfestigkeit β_S	7		
3.3 Verformungseigenschaften	9		
3.3.1 E-Modul (Längsdehnungsmodul) E	9	6.1 Kapillare Wasseraufnahme	23
3.3.2 Querdehnungsmodul E_q	9	6.2 Wasserdampfdurchlässigkeit	23
3.3.3 Feuchtedehnung (Schwinden ε_s)	9		
3.3.4 Kriechen (Kriechzahl ϕ)	9	7 Natursteine, Natursteinmauerwerk	24
4 Verbundeneigenschaften zwischen Stein und Mörtel	8		
4.1 Allgemeines	9	Eigenschaftswerte von Putzen (Außenputz)	24
4.2 Haftscherfestigkeit	9	8.1 Allgemeines	24
4.3 Haftzugfestigkeit	10	8.2 Festigkeitseigenschaften	24
5 Eigenschaftswerte von Mauerwerk	13	8.2.1 Druckfestigkeit β_D	24
5.1 Allgemeines	13	8.2.2 Zugfestigkeit β_Z	24
5.2 Druckfestigkeit senkrecht zu den Lagerfugen	13	8.3 Verformungseigenschaften	24
5.2.1 Experimentelle Bestimmung	13	8.3.1 Zug-E-Modul E_Z , dynamischer E-Modul $dynE$	24
5.2.2 Rechnerische Bestimmung	13	8.3.2 Zugbruchdehnung $\varepsilon_{Z,u}$	24
5.3 Druckfestigkeit parallel zu den Lagerfugen	15	8.3.3 Zugrelaxation ψ	24
5.4 Zugfestigkeit und -tragfähigkeit	15	8.3.4 Schwinden ε_s , Quellen ε_q	26
		8.4 Eigenschaftszusammenhänge	26
		9 Literatur	26

II	Neuentwicklungen beim Mauerwerksbau mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ)	31		
	Wolfram Jäger, Dresden und Roland Hirsch, Berlin			
Vorbemerkungen	31	4	Vorgefertigte Wandtafeln	51
0 Allgemeines	33	5	Geschosshohe Wandtafeln	56
0.1 Nachweis der Mindestauflast – Mauerwerk nach DIN 1053-1	33	6	Schalungsstein-Bauarten	56
0.2 Wände mit teilweise aufliegender Decke – Mauerwerk nach DIN 1053-1	33	7	Trockenmauerwerk	57
0.3 Sonderregelungen zur Knicklänge	33	8	Mauerwerk mit PU-Kleber	57
0.4 Gesonderte Regelungen zu Schlitzen	34	9	Bewehrtes Mauerwerk	57
1 Mauerwerk mit Normal- oder Leichtmörtel	34	10	Ergänzungsbauenteile	57
2 Mauerwerk mit Dünnbettmörtel	38	11	Literatur	61
3 Mauerwerk mit Mittelbettmörtel	51		Bildnachweis	62
B Konstruktion • Bauausführung • Bauwerkserhaltung				
I Bauphysikalische und befestigungstechnische Anforderungen an die Montage von Fenstern und Türen		65		
	Jürgen Künzlen, Künzelsau; Marc Klatecki, Kassel; Eckehard Scheller, Künzelsau und Rainer Becker, Dortmund			
1 Einleitung	65	5.2.2	Abdichtung von Schwellenkonstruktionen	78
2 Bauphysikalische Anforderungen – Einführung	66	5.2.3	Ausführung des Fensterbankanschlusses und der Fensterbank	80
2.1 Grundsätzliches	66	6	Praktische Umsetzung	81
2.2 Einwirkungen auf Fenster und Fenstertüren	66	6.1	Energetisch optimierter Fenstereinbau im Neubau	81
2.3 Grundlagen der Anschlussausbildung	67	6.2	Sicherstellung des Mindestwärmeschutzes im Altbau	81
3 Bauphysikalische Anforderungen an Fenster und Fenstertüren	67	6.3	Leitdetails für die Anschlussausbildung im Neubau	84
3.1 Anforderungen an den Wärmeschutz	67	6.4	Leitdetails für die Anschlussausbildung im Altbau	84
3.2 Anforderungen an den Mindestwärmeschutz	69	7	Anforderungen an die mechanische Befestigung: Einführung – Definition „Fenster“	86
3.3 Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz	70	8	Regelwerke	86
3.4 Anforderungen an die Luftdichtheit	71	8.1	Allgemeine Anforderungen an die Dübeltechnik	86
3.5 Anforderungen an den Schlagregenschutz	71	8.2	Leitfaden zur Planung und Ausführung der Montage von Fenstern und Haustüren	87
3.6 Anforderungen an den Schallschutz	73	8.2.1	Standardfall	87
3.7 Anforderungen im Altbau	75	8.2.2	Sonderfall 1	87
4 Berechnung wärmeschutztechnischer Kennwerte	76	8.2.3	Sonderfall 2	87
5 Fugenausbildung	76	8.2.4	Korrosionsschutz	88
5.1 Allgemeines	76			
5.2 Neubau	77			
5.2.1 Kopplungsfugen	78			

8.3	Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen	88	12.2	Statisches Modell	117
8.4	Normenreihe DIN 18008 „Glas im Bauwesen“	88	12.2.1	Lastweiterleitung aus dem Blendrahmen in den Fensterbefestiger	117
8.4.1	Allgemeines	88	12.2.2	Lastweiterleitung aus dem Fensterbefestiger in den Verankerungsgrund	118
8.4.2	DIN 18008, Teil 1 und Teil 2: Linienförmig gelagerte Verglasungen	88	12.2.3	Betrachtung der unterschiedlichen Versagensstellen	120
8.4.3	DIN 18008, Teil 4 – Regelungen für absturzsichernde Verglasungen	89	12.2.4	Verifizierung des statischen Modells der Quertragfähigkeit der Schraube im Verankerungsgrund anhand von Versuchen	121
8.5	Produktnorm DIN EN 14351-1:2010-08	89	13	Bemessung am Beispiel der AMO-Combi-Schraube	124
8.6	DIN 18055: Anforderungen und Empfehlungen an Fenster und Außentüren	90	13.1	Allgemeines	124
8.6.1	Allgemeines	90	13.2	Windlast	124
8.6.2	Merkmale, die ein Fenster erfüllen muss	91	13.3	Überlagerung horizontale Nutzlast plus Last aus 90° geöffnetem Fenster	124
8.7	ift-Richtlinie MO-02/1	94	13.3.1	Lösungsmöglichkeit 1	124
8.7.1	Allgemeines	94	13.3.2	Lösungsmöglichkeit 2	124
8.7.2	Anwendungsbereich	95	13.3.3	Lösungsmöglichkeit 3	126
8.7.3	Weitere Regelungen	95	13.3.4	Lösungsmöglichkeit 4	126
9	Einwirkungen auf ein Fenster	95	14	Befestigung von absturzsichernden Fensterelementen	126
10	Prüfung von Befestigern für Fenster am Gesamtsystem	96	14.1	Einführung	126
10.1	Widerstandsfähigkeit bei Windlast	99	14.2	Aus TRAV wurde DIN 18008, Teil 4 – Regelungen für absturzsichernde Verglasungen	127
10.1.1	Auswirkung der Windbelastungen bei einflügeligen Elementen	100	14.2.1	Allgemeines	127
10.1.2	Auswirkung der Windbelastungen bei einem zweiflügeligen Element	103	14.2.2	Kategorien nach DIN 18008-4	127
10.1.3	Auswirkung der Windbelastungen bei einem zweiflügeligen Element mit Profilverbreiterungen	105	14.2.3	Erforderliche Holmhöhe	128
10.2	Bedienkräfte nach DIN EN 13115	106	14.2.4	Nachweis der Tragfähigkeit von absturzsichernden Verglasungen	128
10.3	Mechanische Festigkeit nach DIN EN 13115	106	14.2.5	Nachweis der Tragfähigkeit für die unmittelbaren Glasbefestigungen	128
10.4	Dauerfunktion nach DIN EN 12400	108	14.2.6	„Nachweiskette“ von absturzsichernden Fensterelementen	129
10.4.1	Prüfung von Fenstern und Fenstertüren	109	14.3	ETB-Richtlinie – Bauteile, die gegen Absturz sichern	129
10.4.2	Prüfung von Haustüren	109	14.3.1	Allgemeines	129
10.5	Differenzklimaverhalten nach DIN EN 13420	109	14.3.2	Horizontale, statische Lasten	130
10.6	Stoßfestigkeit nach DIN EN 13049	111	14.3.3	Stoßartige Belastung	130
11	Abschätzung der Einwirkungen auf die Fensterbefestiger	111	14.4	Befestigung am Bauwerk	130
11.1	Rechenbeispiel – Allgemeines	111	14.5	Nachweisführung für die Befestigung	131
11.2	Lastermittlung	112	14.5.1	Allgemeines	131
11.3	Trag- und Distanzklötze	113	14.5.2	Nachweis der horizontalen, statischen Belastung	132
11.4	Einwirkung aus Windlast	114	14.5.3	Nachweis der stoßartigen Belastung	135
11.4.1	Allgemeines	114	14.6	Bemessungsbeispiel	136
11.4.2	Fortsetzung Beispiel	114	14.6.1	Allgemeine Hinweise	136
11.4.3	Einfluss der Achsabstände bei umlaufender oder rein seitlicher Befestigung	115	14.6.2	Ausgangsdaten	136
12	Konzept zur Ermittlung der Tragfähigkeit eines Fensterbefestigers	117	14.6.3	Nachweis Brüstungsverglasung	136
12.1	Allgemeines	117	14.6.4	Nachweis der unmittelbaren Glasbefestigung	137

14.6.5	Nachweis des Brüstungsriegels	137	16	Montage von Fenstern mit Anforderungen an die Einbruchhemmung	141
14.6.6	Nachweis Verbindung Brüstungsriegel an Fensterrahmen	137	16.1	Allgemeines	141
14.6.7	Nachweis Fensterrahmen	137	16.2	Prüfungen und Verankerungsgründe	142
14.6.8	Nachweis der Befestigung zwischen absturzsichernder Fensterelementbefestigung W-ABZ und Mauerwerk	138	16.3	Durchgeführte Versuche	143
14.6.9	Nachweis der Fensterelementbefestigung	139	16.3.1	Versuche nach DIN V ENV 1627 bis 1630:1999-04	143
14.7	Mauerwerk mit geringer Tragfähigkeit ..	139	16.3.2	Versuche nach DIN EN 1627 bis 1630 ..	148
15	Montage in der Dämmebene	139	16.4	Montagebescheinigung nach erfolgtem Einbau einbruchhemmender Elemente ..	155
15.1	Allgemeines	139	17	Fazit	156
15.2	Bauphysikalische Betrachtung	141	18	Literatur	157
15.3	Dübelauswahl	141			

II Ev.-Luth. Hauptpfarrkirche Zwickaus – seit 1935 Dom St. Marien Zwickau – Stand der Bauerhaltung von Kirchenschiff und Chorraum 161
Michael Kühn, Zwickau

1	Allgemeines	161	6	Hydrologische und hydro-geologische Beeinflussung	173
2	Bauwerks- und Bauschadensgeschichte der Kirche	161	7	Geotechnischer Bericht	175
3	Einfluss des untertägigen Steinkohleabbaus	164	8	Statisch-konstruktive Belange	175
4	Hauptbaustoff Kohlesandstein	169	9	Sanierungsplanung für die Pfeiler 16/M1 und 26/M2	176
5	Markscheiderische Messungen und geologisches Modell	171	10	Literatur	178

III Versuchsgestützte Kalibrierung von Teilsicherheitsbeiwerten im Lehmmauerwerksbau – Empfehlungen für die Erarbeitung eines Bemessungskonzepts 181
Philipp Müller, Singapur; Patrick Fontana, Lorenzo Miccoli und Christof Ziegert, Berlin

1	Einführung	181	2.3.1	Steine und Mörtel	186
2	Druckversuche an Komponenten und Mauerwerk	183	2.3.2	Mauerwerk	187
2.1	Material und Prüfkörperherstellung	183	3	Diskussion und Empfehlungen	189
2.1.1	Steine und Mörtel	183	3.1	Teilsicherheitsbeiwert auf Materialseite ..	189
2.1.2	Mauerwerk	184	3.2	Rechnerische Bestimmung der Mauerwerksdruckfestigkeit	190
2.2	Versuchsaufbau und -durchführung	185	3.3	Prüfverfahren und Normung	191
2.2.1	Steine und Mörtel	185	4	Zusammenfassung und Ausblick	192
2.2.2	Mauerwerk	185	5	Literatur	193
2.3	Ergebnisse und Auswertung	186			

IV	Modellierung des mechanischen Verhaltens von Lehmsteinmauerwerk unter statischer Druck- und Schubbeanspruchung	195
	Lorenzo Miccoli, Berlin; Angelo Garofano, Lausanne, Schweiz; Patrick Fontana, Berlin	
	und Urs Müller, Borås, Schweden	
1	Einleitung	195
2	Versuchsprogramm	196
2.1	Ausgangsstoffe und Herstellung der Prüfkörper	196
2.2	Anfangsscherfestigkeit	197
2.3	Druckversuche am Lehmsteinmauerwerk	197
2.4	Schubversuche am Lehmsteinmauerwerk	198
3	Numerische Modellierung	199
3.1	Modellierungsansatz und Ziele	199
3.2	Makro-Modellierungsansatz	200
3.2.1	Allgemeine Annahmen	200
3.2.2	Einaxialer Druckversuch	200
3.2.3	Schubversuch	202
3.3	Mikro-Modellierungsansatz	203
3.3.1	Allgemeine Annahmen	203
3.3.2	Einaxialer Druckversuch	205
3.3.3	Schubversuch	206
	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	206
	Danksagung	207
	Literatur	207
V	Lehmmauerwerk – Entwurfs- und Konstruktionsprinzipien für den Wohnbau	209
	Dipl.-Ing. Raik Hartmann	
1	Einleitung	209
1.1	Chancen des modernen Lehmhauses im Wohnungsbau	209
1.2	Stand der Technik und Forschung/ Vorhandene Voruntersuchungen	210
1.3	Themenspektrum und Schwerpunkt des Forschungsprojekts EGsL	210
2	Vorbetrachtungen – Ausgangsbasis	210
2.1	Lehm als Baustoff	211
2.1.1	Eigenschaften von Lehm	211
2.1.2	Lebensdauer	211
2.1.3	Lehm unter Feuchtigkeitseinwirkung	211
2.1.4	Lebenszyklus und Rezyklierbarkeit	212
2.1.5	Lehmsteine	212
2.1.6	Moderne Lehmsteine	212
2.1.7	Energieaufwand zur Herstellung von modernen HL-Lehmsteinen	214
2.2	Beanspruchung der Bauteilkonstruktionen durch Feuchteeinwirkung	215
2.2.1	Kondenswasser am und im Bauteil	215
2.2.2	Feuchtigkeitsbeanspruchung in Nasszellen	215
2.2.3	Vorschläge für konstruktiv schützende Maßnahmen	215
3	Vorschläge von Entwurfsprinzipien	215
3.1	Prinzipien für den Grundrissentwurf nach Gebäudetypen	215
3.2	Prinzipien für den Grundrissentwurf nach Funktionsbereichen	216
3.2.1	Erschließung	216
3.2.2	Leitungsführung und Nassbereiche	216
3.2.3	Zeichnerische Darstellung der Prinzipien zur Optimierung der Lage von Installationen im Grundriss und Schnitt	217
3.2.4	Optimierter Nassbereich, optimierte Nasszelle	218
3.2.4.1	Schematische Grundrissdarstellung – Nasszelle	219
3.2.4.2	Schnittdarstellungen Schacht/Vorwandinstallation	219
4	Vorschläge von Konstruktionsprinzipien anhand ausgewählter Details eines Wohnhauses	220
4.1	Erörterung von Konstruktionsprinzipien anhand von Details	220
4.2	Allgemeine Bauteilanforderungen	220
4.2.1	Wandaufbau	220
4.2.1.1	Aufbau Lehmmauerwerk	220
4.2.1.2	Einsatz und Vorteile von ökologischen Dämmstoffen	220
4.2.1.3	Vorgehängte Fassade – Diskussion einer spezielle Variante mit Holzverschalung und Hanfdämmung	221
4.2.1.4	Zu untersuchende Befestigungen an Lehmsteinmauerwänden	221

4.2.1.5	Beispielzeichnungen Wandaufbau	221	4.2.5.2	Beispielzeichnungen	230
4.2.1.6	Erkenntnisse und Schlussfolgerungen	224	4.2.5.3	Erkenntnisse und Schlussfolgerungen	230
4.2.2	Deckenanschlüsse	224	4.2.6	Fenster- und Türanschlüsse	232
4.2.2.1	Deckentypen	224	4.2.6.1	Verwendete Konstruktionstypen für Fenster und Türen	232
4.2.2.2	Beispielzeichnungen	224	4.2.6.2	Beispielzeichnungen	232
4.2.2.3	Erkenntnisse und Schlussfolgerungen	227	4.2.6.3	Holzrahmen-Fenster und Türen	232
4.2.3	Treppenanschlüsse	227	4.2.7	Entwässerungsanschlüsse	232
4.2.3.1	Treppentypen nach Wohntypologie	227	4.2.7.1	Terrassen und Loggien	232
4.2.3.2	Beispielzeichnungen	227	4.2.7.2	Nassbereiche und -zellen	235
4.2.3.3	Erkenntnisse und Schlussfolgerungen	227	5	Zusammenfassung	237
4.2.4	Fußpunktanschlüsse	227	5.1	Ergebnisse	237
4.2.4.1	Typen	227	5.2	Ausblick	238
4.2.4.2	Beispielzeichnungen	227	6	Literatur	240
4.2.4.3	Erkenntnisse und Schlussfolgerungen	227			
4.2.5	Dachanschlüsse	230			
4.2.5.1	Verwendete Dachtypen	230			

C Bemessung

I	Mauerwerk unter (hoch-)dynamischen Einwirkungen Theoretische, numerische und experimentelle Untersuchungen	245
	Tobias Linse und Norbert Gebbeken, München	

1	Einleitung	245	3	Eigenschaften von Mauerwerks- materialien	253
1.1	Eigenschaften von Mauerwerk	247	3.1	Materialeigenschaften von Mauerwerks- steinen	253
1.1.1	Mauerwerkstypen	247	3.1.1	Ziegelsteine	253
1.1.2	Versagensmechanismen von Mauerwerk	247	3.1.2	Lehmsteine	254
1.1.2.1	Schubversagen	247	3.1.3	Kalksandsteine	255
1.1.2.2	Biegeversagen	247	3.1.4	Querverformungszahlen für Mauerwerks- steine	255
1.1.2.3	Querzugversagen	247	3.1.5	Verzerrungsratenabhängigkeit	255
1.1.2.4	Besondere Versagenszustände bei Beanspruchung in Scheibenebene	248	3.1.6	Eigene Versuche an Mauerwerkssteinen	257
1.1.2.5	Weitere Versagensmechanismen bei Belastungen senkrecht zur Wandebene	249	3.1.6.1	Zugversuche	257
1.1.3	Herausforderungen an die Modellierung	249	3.1.6.2	Druckversuche	258
1.2	Stand der Forschung	249	3.1.6.3	Versuche zur Ermittlung der Elastizitäts- moduln	259
1.2.1	Numerische Modellierung von Mauer- werksstrukturen	249	3.1.6.4	Dynamische Materialversuche	259
1.2.2	Makromodell	249	3.2	Materialeigenschaften von Mörtel	261
1.2.3	Vereinfachtes Mikromodell	250	3.2.1	Zusammenstellung von Versuchsdaten von Mörtel	261
1.2.4	Detailliertes Mikromodell	250	3.2.1.1	Druckfestigkeit	261
1.2.5	Ein neuer Ansatz zur Simulation des Verhaltens von Mauerwerk	250	3.2.1.2	Zugfestigkeit	262
2	Grundlagen	250	3.2.1.3	Druck-E-Modul	262
2.1	Grundlagen der Materialmodellierung	250	3.2.1.4	Zug-E-Modul	262
2.1.1	Dynamische Prozesse	250	3.2.1.5	Querverformungszahl	262
2.1.2	Verzerrungsraten	250	3.2.1.6	Bruchenergie	262
2.1.3	Dynamischer Steigerungsfaktor	251	3.2.1.7	Versuche von Bierwirth	264
2.2	Bestimmung von Materialdaten	251	3.2.1.8	Abhängigkeit des Mörtels von Verzerrungsraten	266
2.2.1	Statische Materialtests	251	3.2.1.9	Restfestigkeit	268
2.2.2	Dynamische Materialtests	252	3.3	Verbundverhalten zwischen Stein und Mörtel	269

3.3.1	Haftzugfestigkeit	269	4.2.5.3	Anpassung der Materialfestigkeiten durch das Schädigungsmodell	283
3.3.2	Scherfestigkeit und Haftscherfestigkeit	270	4.2.5.4	Beschreibung des hydrostatischen Materialverhaltens	284
4	Eigene Materialmodelle für Mörtel und Mauerwerkssteine	272	4.3	Eigenes Materialmodell für Mauerwerkssteine – LG-Modell für Mauerwerkssteine	284
4.1	Bekannte Materialmodelle für Mauerwerk, Ziegel, Keramik und Beton	272	4.3.1	Festigkeitsmodell	284
4.1.1	Materialmodell für Mauerwerk von <i>Lourenço</i>	272	4.3.2	Berücksichtigung der Verzerrungsraten-abhängigkeit	287
4.1.2	Materialmodell für Keramik von <i>Johnson</i> und <i>Holmquist</i>	274	4.3.2.1	Zugfestigkeitssteigerung	287
4.1.3	Materialmodell für Beton von <i>Hartmann</i> , <i>Pietzsch</i> und <i>Gebbeken</i>	275	4.3.2.2	Druckfestigkeitssteigerung	287
4.2	Eigenes Materialmodell für Mörtel – LG-Modell für Mörtel	276	4.3.3	Zustandsgleichung	287
4.2.1	Festigkeitsmodell	276	4.3.4	Schädigungsmodell, Anpassung des Festigkeitsmodells nach Materialschädigung	287
4.2.2	Abgrenzung elastisches und elastisch-plastisches Materialverhalten	279	4.3.5	Anpassung der Materialsteifigkeiten	288
4.2.3	Abgrenzung elastisch-plastisches und elastisch-plastisch-schädigendes Materialverhalten	280	4.4	Zusammenfassung der eigenen Modelle	289
4.2.4	Berücksichtigung der Verzerrungsraten-abhängigkeit	280	5	Berechnungen einer Mauerwerkswand unter Explosionsbelastung	289
4.2.4.1	Zugfestigkeitssteigerung	280	5.1	Versuchsbeschreibung	289
4.2.4.2	Druckfestigkeitssteigerung	280	5.2	Beschreibung der numerischen Modellierung	290
4.2.5	Schädigungsmodell	281	5.3	Ergebnisvergleich Simulation und Experiment	292
4.2.5.1	Bruchverzerrungen auf dem Druckmeridian	281	5.4	Diskussion – Ausblick	292
4.2.5.2	Bruchverzerrungen auf dem Schubmeridian	283	6	Zusammenfassung und Ausblick	292
			7	Literatur	294

II Tragverhalten und Bemessung von Injektionsdübeln in Mauerwerk 297

Jan Hofmann, Stuttgart und Georg Welz, Renningen

1	Einleitung	297	5	Tragverhalten unter Querbelastung	309
2	Ankergrund Mauerwerk	298	5.1	Versagensarten	309
3	Injektionsdübel für Mauerwerk	298	5.1.1	Stahlversagen	309
3.1	Injektionsmörtel, Gebinde und Statikmischer	298	5.1.2	Rückwärtiger Steinausbruch und Herausziehen	311
3.2	Ankerstange und Siebhülse	299	5.1.3	Lokales Steinversagen	313
3.3	Dübelmontage	300	5.1.4	Steinspalten	314
4	Tragverhalten unter Zugbelastung	301	5.1.5	Steinauszug am Rand	315
4.1	Versagensarten	301	5.2	Einfluss von Fugen und Rändern	315
4.1.1	Herausziehen des Dübels	302	6	Versuche am Bauwerk	318
4.1.2	Stahlversagen	302	6.1	Allgemeines	318
4.1.3	Steinausbruch	303	6.2	Einfluss der Abstützung	318
4.1.4	Steinspalten	304	7	Bemessung von Verankerungen in Anlehnung an ETAG 029	320
4.1.5	Steinauszug	305	7.1	Allgemeines	320
4.2	Einfluss von Fugen und Rändern	306	7.2	Stahlversagen	321
4.3	Einfluss von Gruppenanordnung	307	7.2.1	Zugbelastung	321
			7.2.2	Querbelastung	321

7.3	Herausziehen	321	7.6	Torsionsbelastung	323
7.3.1	Zugbelastung	321	7.7	Berücksichtigung von Fugen	323
7.3.2	Querbelastung	321	7.8	Interaktion bei kombinierter Zug- und Querbelastung	323
7.4	Steinversagen	321	8	Zusammenfassung	323
7.4.1	Zugbelastung	321	9	Literatur	324
7.4.2	Querbelastung	322			
7.5	Herausziehen des Steins	322			
III	Nachrechnung gemauerter Bogenbrücken				327
	Gero Marzahn, Bonn; Eckard Bothe, Chemnitz und Wolfram Jäger, Dresden				
1	Einleitung	327	3.1.2	Mechanische Modelle	333
2	Bedeutung im Verkehrsnetz	327	3.1.3	Materialkennwerte	334
2.1	Baujahr, Anzahl der Felder, Einzelstützweiten	327	3.1.4	Nachweise	335
2.2	Bestandsdokumentation	330	3.2	Bogenbrücke Gleisberg	339
2.3	Baustoffkennwerte	331	3.2.1	Geometrische und stoffliche Grundlagen	339
2.4	Lasten	332	3.2.2	Mechanisches Modell	340
3	Beispiel einer Nachweisführung auf der Grundlage der Nachrechnungsrichtlinie	333	3.2.3	Materialkennwerte	340
3.1	Autobahnbrücke im Zuge der A 3 über die Sieg bei Siegburg	333	3.2.4	Nachweise	340
3.1.1	Geometrische und stoffliche Grundlagen	333	4	Zusammenfassung	342
			5	Literatur	342
IV	Knicken von Mauerwerk – Kritische Anmerkungen zum empirischen Verfahren und neuer Vorschlag für den EC 6				343
	Tammam Baeer, Dresden und Poul Dupont Christiansen, Aarhus (Dänemark)				
1	Einleitung	343	5.5	Formel von <i>Kirtschig</i>	355
2	Formelzeichen	344	5.6	Ansatz von <i>Graubner/Glock</i>	355
3	Numerische Referenzlösungen	344	5.7	Ansatz von <i>Sandoval/Roca</i>	355
4	Materialmodelle	345	5.8	Ansatz von <i>Graubner/Förster</i>	356
4.1	Normalisierte Spannungs-Dehnungs-Beziehung	345	6	Bewertung der empirischen Methoden	356
4.2	Grundlegende Materialparameter für das Stabilitätsproblem	347	7	Mögliche Lösungen für einen empirischen Ansatz	357
4.3	Annäherung des Materialmodells	349	7.1	Lösung auf der Basis von Regressionsmodellen	357
5	Empirische Methoden	350	7.2	Lösung unter Berücksichtigung der Nichtlinearität des Materials	359
5.1	Johnsons Parabel	351	8	Vorschlag für den Eurocode 6	362
5.2	Rankine-Methode	352	9	Schlussbemerkungen	364
5.3	Momenten-Vergrößerungs-Verfahren	353	10	Literatur	365
5.4	Formel von <i>Mann</i>	354			

V	Zum Nachweis der Mindestauflast nach DIN EN 1996-3/NA	369
	Wolfram Jäger, Dresden	
1	Einführung	369
2	Derzeitige Normungssituation	370
3	Hintergrund der Formeln in EN 1996-3 von <i>Beuker</i>	371
4	Ausarbeitungen von <i>Reeh/Schlundt</i> sowie <i>Jäger/Baier</i>	373
5	<i>Jäger/Baier</i>	373
6	Abminderungsfaktoren für das vereinfachte Verfahren nach <i>Mann</i> in DIN 1053-1	374
7	Ansatz des DIBt für die Mindestauflast	375
8	Genauere Hintergründe zum Tragverhalten und dessen Beschreibung	376
8.1	Allgemeiner Ansatz eines Abminderungsfaktors	376
8.2	Der Wand-Decken-Knoten und die Bestimmung der inneren Momente	377
8.3	Rücksetzregel	377
8.4	Am Kopf und Fuß der Wand	378
8.5	In der Mitte der Wand mit der Knickabminderung nach DIN EN 1996-1-1/NA Anhang NA.G (bilineare Kurvenschar)	378
8.6	In Wandmitte mit der Knickabminderung nach DIN EN 1996-1-1, Anhang G (Glockenkurve)	380
8.7	Zusammenfassung	380
9	Bogenmodell nach DIN EN 1996-1-1	382
9.1	Nach gültiger Normenfassung	382
9.2	Gegenwärtige Kritik am Bogenmodell	383
9.3	Unterschied zwischen Bogen- und Stabmodell	383
9.3.1	Allgemeines	383
9.3.2	Ausmitten infolge der Deckenverdrehung und Einstellung des Bogenmodells	384
9.3.3	Schlussfolgerung	387
10	Ergebnisse	387
10.1	Bei Vorhandensein von Stahlbetondecken unter Ansatz des Bogenmodells	387
10.1.1	Tatsächliche Ausbildung	387
10.1.2	Verformbarkeit der Widerlager	388
10.1.3	Mögliche Stabilitätsfälle	389
10.1.4	Lage der Resultierenden in Wandmitte	391
10.1.5	Zusammenfassung	393
10.2	Beim Fehlen einer Massivdecke	393
10.3	Anwendung auf Beispiele	393
10.3.1	Voll aufliegende Deckenplatte und Winddruck	393
10.3.2	Teilweise aufliegende Deckenplatte unter Windsog	395
10.4	Parameterstudie	396
10.5	Auswertung der Ergebnisse der Parameterstudie	396
10.5.1	Voll aufliegende Deckenplatte	397
10.5.2	Teilweise aufliegende Deckenplatte	399
11	Zusammenfassung der Ergebnisse	401
11.1	Thesen	401
11.2	Kernaussage	402
11.3	Bei Vorhandensein von Stahlbetondecken	402
11.4	Wenn keine Stahlbetondecke vorhanden	402
11.5	Notwendige Anpassungen in der Norm	402
12	Literatur	403
12.1	Normen und Regelwerke	403
12.2	Monografien, Artikel, Berichte	404

D Bauphysik - Brandschutz

I	Praktischer Schallschutz mit Mauerwerk	409
	Elmar Sälzer, Wiesbaden	
1	Einleitung	409
1.1	Allgemeines	409
1.2	Ingenieurmäßige Schallschutzplanung	410
2	Anforderungen	410
2.1	Geschichtliche Entwicklung	410
2.2	DIN 4109:1989-11 „Schallschutz im Hochbau“	411
2.3	DIN 4109:2016 „Schallschutz im Hochbau“	415
2.4	VDI 4100 „Schallschutz im Hochbau – Wohnungen“	421
2.5	DEGA-Schallschutzausweis	423
3	Die wichtigsten theoretischen Zusammenhänge	423
3.1	Direktschalldämmung (Transmissionschalldämmung)	423
3.2	Schallängsdämmung	427

3.3	Schalldämmung im tieffrequenten Bereich	428	5	Schalldämmung mit einschaligem Mauerwerk	435
4	Mauerwerksarten	428	5.1	Transmissionsschalldämmung (Direkt-dämmung)	435
4.1	Grundsätzliches	428	5.2	Schallängsdämmung	436
4.2	Ziegel	429	5.3	Kimmsteine	436
4.2.1	Vollziegel, Lochziegel	429	5.3.1	Anwendung	436
4.2.2	Porosierte Hochlochziegel	429	5.3.2	Einschaliges Mauerwerk mit Kimmsteinen	436
4.2.2.1	Porosierte Hochlochziegel ohne zusätzliche Dämmung	429	5.3.3	Kimmsteine bei zweischaligem Mauerwerk	436
4.2.2.2	Porosierte Hochlochziegel mit Wärmedämmleinlage	429	6	Schallschutz mit zwei- und mehrschaligen Mauerwerkskonstruktionen	437
4.2.3	Verfüllziegel	430	6.1	Konstruktionen mit zwei Massivschalen	437
4.3	Kalksandsteine	430	6.1.1	Reihenhaus- und Gebäudetrennwände ..	437
4.3.1	Konventionelle Mauerwerksformate	430	6.1.1.1	Optimal entkoppelte Schalen	437
4.3.2	Planblockelemente	430	6.1.1.2	Schallschutz bei unvollständiger Trennung	439
4.4	Betonsteinmauerwerk	431	6.2	Mauerwerkswände mit Vorsatzschalen ..	439
4.4.1	Leichtbetonhohlblock- und -vollsteine ..	431	6.2.1	Mit biegeweichen Vorsatzschalen	439
4.4.2	Schwerbetonsteine	431	6.2.2	Mit biegesteifen Vorsatzschalen	439
4.4.3	Porenbetonmauerwerk	432	6.3	Dreischalige Konstruktionen	439
4.4.4	Weitere Betonstein-Systeme	432	7	Erhöhter Schallschutz	440
4.4.4.1	Gisoton	432	8	Literatur	441
4.4.4.2	Holzbeton-Verfüllsteine	432			
4.5	Natursteinmauerwerk	433			
4.6	Historisches Mauerwerk	433			
4.6.1	Ausgemauertes Fachwerk	433			
4.6.2	Mauerwerk mit Trümmerschuttsteinen ..	433			
4.7	Wände aus verfüllten Hartschaum-elementen	435			

E Normen · Zulassungen · Regelwerk

I	Geltende Technische Regeln für den Mauerwerksbau (Deutsche, Europäische und Internationale Normen) (Stand 31.10.2016)	445
	Peter Rauh, Berlin und Carola Hauschild, Radebeul	
1	Vorbemerkung	445
2	EuGH-Urteil vom 16. Oktober 2014 (Rs. C-100/13)	446
3	Regelwerk	447
II	Verzeichnis der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für den Mauerwerksbau (Stand 31.7.2016)	463
	Wolfram Jäger, Dresden und Roland Hirsch, Berlin	
1	Mauerwerk mit Normal- oder Leicht-mörtel	465
1.1	Mauersteine üblichen Formates	465
1.1.1	Mauerziegel	465
1.1.2	Verfüllziegel	477
1.1.3	Kalksandsteine	478
1.1.4	Betonsteine	480
1.1.4.1	Vollsteine und Vollblöcke	480
1.1.4.2	Hohlblocksteine	483
1.1.4.3	Hohlblocksteine mit integrierter Wärmedämmung	484
1.1.5	Sonstige Mauersteine	484
2	Mauerwerk mit Dünnbettmörtel	485
2.1	Plansteine üblichen Formates und dafür zugelassene Dünnbettmörtel	485
2.1.1	Planziegel	485

2.1.2	Planziegel mit integrierter Wärmedämmung	509	4.3	Verguss- und Verbundtafeln	568
2.1.3	Planverfüllziegel	521	5	Geschosshohe Wandtafeln	569
2.1.4	Kalksand-Plansteine	525	6	Schalungsstein-Bauarten	569
2.1.5	Porenbeton-Plansteine	528	7	Trockenmauerwerk	571
2.1.6	Beton-Plansteine	530	8	Mauerwerk mit PU-Kleber	572
2.1.6.1	Planvollsteine und Planvollblöcke	530	8.1	Planziegel	572
2.1.6.2	Planhohlblocksteine	538	8.2	Planverfüllziegel	574
2.1.6.3	Plansteine aus Leichtbeton mit integrierter Wärmedämmung	543	8.3	Porenbeton-Plansteine	575
2.2	Planelemente und dafür zugelassene Dünnbettmörtel	550	8.4	Vorgefertigte Wandtafeln	576
2.2.1	Planziegel-Elemente	550	9	Bewehrtes Mauerwerk	577
2.2.2	Kalksand-Planelemente	551	9.1	Bewehrung für bewehrtes Mauerwerk	577
2.2.3	Porenbeton-Planelemente	557	9.2	Hochlochziegel für bewehrtes Mauerwerk	577
2.2.4	Beton-Planelemente	558	9.3	Stürze	577
2.3	Wandbauart aus Planelementen in dritteld- oder halbgeschosshoher Ausführung	561	10	Ergänzungsbauenteile	579
2.4	Weitere Dünnbettmörtel	562	10.1	Mauerfuß-Dämmelemente	579
3	Mauerwerk mit Mittelbettmörtel	563	10.2	Anker zur Verbindung der Mauerwerkschalen von zweischaligen Außenwänden	580
4	Vorgefertigte Wandtafeln	564	10.3	Sonstige Ergänzungselemente	581
4.1	Geschosshohe Mauertafeln	564			
4.2	dritteld- oder halbgeschosshohe Mauertafeln	568		Anhang	582
				Zulassungsübersicht	582

III Ausführung von Mauerwerk nach Eurocode 6 601

Dieter Figge, Warburg

1	Allgemeines	601	2.4.3	Bewährte Regeln/Normmaße	609
2	Grundsätzliche Planungs- und Konstruktionsregeln	603	2.4.4	Anschlüsse	610
2.1	Normen und Merkblätter	603	2.4.5	Dehnungsfugen	613
2.2	Einflüsse auf die Dauerhaftigkeit des Mauerwerks	603	2.5	Toleranzen	614
2.2.1	Mikroumweltbedingungen	603	3	Außenwände	614
2.2.2	Klimafaktoren (Makroumweltbedingungen)	603	3.1	Dämmung von Außenwänden	614
2.2.3	Aggressive chemische Umgebungen	604	3.2	Sichtmauerwerk/Verblendmauerwerk	615
2.3	Auswahl der Baustoffe	605	3.2.1	Tragende Außenwände mit Sichtmauerwerk	615
2.3.1	Allgemeines	605	3.2.1.1	Mauersteine	615
2.3.1.1	Mauersteine	606	3.2.1.2	Mörtel Vormauerschale	615
2.3.1.2	Mauermörtel	606	3.2.2	Verblend- oder Vormauerschale	616
2.4	Mauerwerk	606	3.2.3	Ausbildung	617
2.4.1	Verarbeitung von Mauersteinen und Mauermörtel	606	3.2.3.1	Fugenglattstrich	618
2.4.1.1	Mauerwerk mit Normal- und Leichtmauermörtel	606	3.2.3.2	Nachträgliches Verfugen	618
2.4.1.2	Mauerwerk mit Dünnbettmörtel	606	3.3	Anschlussdetails und Abdichtungen	618
2.4.1.3	Stoßfugenausbildung	607	3.3.1	Dachanschluss	618
2.4.2	Grundsätzliches zu Mauerwerksverbänden	607	3.3.2	Deckenauflager	618
			3.3.3	Stürze	620
			3.3.4	Fenster- und Türanschlüsse	622
			3.3.5	Gesimse, Sohlbänke, Abdeckungen	623
			3.3.6	Fußpunkte im Erd- und im Keller- geschoß	624

4	Innenwände	626	6.1	Mischkonstruktionen	633
4.1	Tragende Innenwände	626	6.2	Schutz vor mechanischer Beschädigung	633
4.1.1	Anforderungen	626	6.3	Bauhöhe des Mauerwerks	633
4.1.2	Anschlüsse	627	6.4	Zulässige Abweichungen	633
4.2	Nichttragende Innenwände	627	6.5	Aussteifung während der Herstellung	633
4.2.1	Anwendungsbereich und Anforderungen	627	6.6	Nachbehandlung und Schutz des Mauerwerks während der Bauausführung	634
4.2.2	Befestigungen an angrenzenden Bauteilen	630	6.6.1	Allgemeines	634
4.2.3	Regeln für die schadensfreie Ausführung	631	6.6.2	Schutz gegen Regen	634
5	Erddruck auf Kelleraußenwände	631	6.6.3	Schutz gegen Frost-Tau-Wechsel	635
6	Ausführung von Mauerwerk und Tipps für die Baustelle	633	6.6.4	Schutz gegen Austrocknung	635
7	Literatur	635			

Forschung

I	Übersicht über abgeschlossene und laufende Forschungsvorhaben im Mauerwerksbau	639			
	Anke Eis, Dresden				
Vorbemerkung	639	2.2.1	EU-Projekt INSYSME: Innovative Techniken für erdbebensichere Ausfachungswände aus Ziegelmauerwerk in Stahlbetonrahmentragwerken	654	
Forschungsstellen (F)	639	2.2.2	Entwicklung einer zementfreien Injektionstechnologie auf Kalkbasis für historisch wertvolles, gipshaltiges Mauerwerk – IngIMa	654	
1	Abgeschlossene Forschungsvorhaben	643	2.2.3	Umsetzung einer optimierten Prüfung der Haftscherfestigkeit im Mauerwerksbau in Anlehnung an das bisherige europäische Verfahren nach DIN EN 1052-3	657
1.1	Übersicht Forschungsprojekte und Forschungsstellen	643	2.2.4	Einsatz von Ankern und Nadeln aus Faserwerkstoffen bei der Sanierung historischer Bauwerke – FaAnNa	659
1.2	Kurzberichte	643	2.2.5	Textile Bewehrung in der Lagerfuge von gemauerten Kellerwänden zur Erhöhung der Tragfähigkeit gegen Erddruck (Faserbewehrtes Kellermauerwerk – FBKM)	661
1.2.1	Untersuchungen zur Reduzierung der Tragfähigkeit von Mauerwerk bei Schwächung des Querschnittes infolge von Aussparungen und Schlitzten	643	2.2.6	Mauerwerksbauten an der Hochhaussgrenze – Entwicklung und Anwendung eines neuen Rechenmodells für Schubwände	662
1.2.2	Energetische und mechanische Optimierung des Anschlusses der Decke an monolithische Außenwände aus Mauerwerk mit Passivhausstandard	647	2.2.7	Niedrigstenergiehäuser in Mauerwerksbauweise	663
1.2.3	Untersuchung der zivil- und baurechtlichen Situation zur Nutzung der Eurocodes in anderen europäischen Ländern	649			
1.2.4	Nachhaltigkeit von Mauerwerk im Geschosswohnungsbau	652			
2	Laufende Forschungsvorhaben	653			
2.1	Übersicht Forschungsprojekte und Forschungsstellen	653			
2.2	Kurzberichte	654			
Stichwortverzeichnis	665				
Anbieterverzeichnis	677				

I Bauphysikalische und befestigungstechnische Anforderungen an die Montage von Fenstern und Türen

Jürgen Küenzlen, Künzelsau; Marc Klatecki, Kassel; Eckehard Scheller, Künzelsau und Rainer Becker, Dortmund

1 Einleitung

Genauso wie sich das Wort für Fenster vom germanischen Wort für Windauge zum lateinischen Lehnwort für Fenster über die Jahre entwickelt hat, so hat sich das Fenster selbst von anfänglich mit Häuten überspannten Öffnungen in Außenwänden zu multifunktionalen, hocheffizienten Bauelementen durch die Integration von anlagentechnischen Elementen, wie beispielsweise Lüftung mit Wärmerückgewinnung, weiterentwickelt. So betrug der Wärmedurchgangskoeffizient U_w vor Einführung der 1. Wärmeschutzverordnung (1. WSchVO) [1] im Jahr 1977 noch ungefähr $5,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, wohingegen heutzutage Fenster mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten $U_w \leq 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ dem Standard entsprechen, siehe Bild 1.

Zusätzlich zur energetischen Qualität der Fenster hat sich die Montage von Fenstern ebenfalls stetig weiterentwickelt. Von der früher gängigen Vorgehensweise des ausschließlichen „Ausschäumens“ der Anschlussfuge nach Befestigung der Fenster im Mauerwerk mit PU-Schaum, hat sich die Montage zu einem komplexen Themengebiet weiterentwickelt.

Die Fragen zur Befestigung von Fenstern konnten in der Vergangenheit durch die Erfahrungswerte des Handwerkers in vielen Fällen beantwortet werden. Durch neue Normen, die rasante Entwicklung moderner Baustoffe – mit fast jährlich besseren Wärmedämm-eigenschaften und daraus oft resultierender Zunahme der Porosität und damit in der Regel auch einer Reduzierung der Tragfähigkeiten für Befestigungsmittel (Bild 2) – ist die Fensterbefestigung in den letzten Jahren jedoch immer mehr zur Herausforderung geworden. Auch die Entwicklung der Fensterprofile mit im-

mer größeren Bautiefen oder die Zunahme der Glasgewichte (bei gleichzeitig immer größer werdenden Fensterelementen) sorgt für ständig neue (Befestigungs-)Situationen in der Praxis (Bild 1). In vielen Bereichen sind heute dreifachverglaste Fenster mit einem Glasgewicht von rund $30 \text{ kg}/\text{m}^2$ Glasfläche Standard (Bild 3). Entsprechend schwierig ist die sichere und dauerhafte Befestigung der Fenster.

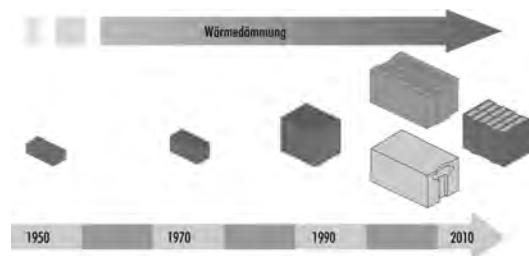


Bild 2. Entwicklung der Wandbaustoffe in den letzten Jahrzehnten [31]

Eine detaillierte Regelung, wie Fensterbefestigungen in den verschiedenen Untergründen ausgeführt werden müssen, gibt es derzeit (noch) nicht. Auch die Ausbildung der Anschlussfuge wirft immer wieder viele Fragen auf. Aus diesem Grund soll dieser Beitrag aktuelle Erfahrungen aus Versuchen, der Literatur und der täglichen Praxis zusammenstellen, um dem Planenden und dem Ausführenden eine Unterstützung bei der Festlegung der Fenstermontage zu geben. Der Beitrag kann und soll keine „Patentrezepte“ bieten; es soll vielmehr

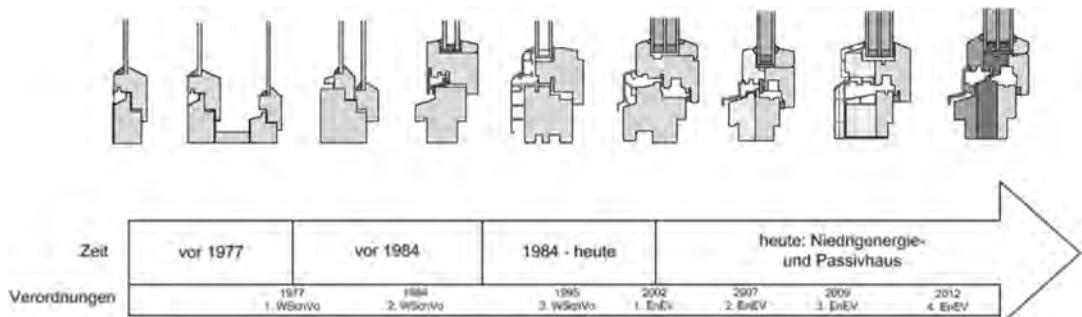


Bild 1. Historische Entwicklung von Fenstern



Bild 3. Modernes Wohngebäude aus Ziegelmauerwerk
(Foto: Firma Wienerberger GmbH)

dargestellt werden, dass es notwendig ist, dass man sich immer über den Einzelfall seine Gedanken machen muss und dass die Entscheidungen, wie montiert werden soll bzw. kann – vor allem in der Altbausanierung – oftmals nur direkt vor Ort getroffen werden können. Es soll aber auch dafür sensibilisiert werden, dass es immer öfter erforderlich ist, bereits in der Planungsphase diverse Randbedingungen einzuhalten, um später in der Bauphase Fenster überhaupt noch sicher und dauerhaft montieren zu können.

2 Bauphysikalische Anforderungen – Einführung

2.1 Grundsätzliches

Als Bauteil in der thermischen Gebäudehülle müssen Fenster und Fenstertüren eine Vielzahl von unterschiedlichsten Eigenschaften aufweisen. Eine Übersicht über die Leistungseigenschaften von Fenstern und Fenstertüren bietet DIN EN 14351-1 [2]. Anforderungen an die Montage von Fenstern und Fenstertüren und einen Überblick der aus bauphysikalischer Sicht wichtigsten Normen bietet [3]. Fenster, Fenstertüren und die Anschlussfuge zum Baukörper sind daher unter Berücksichtigung der Wärmedämmung, Luftdichtheit, Schlagregensicherheit und des Feuchteschutzes zu planen und auszuführen.

2.2 Einwirkungen auf Fenster und Fenstertüren

Fenster und Fenstertüren unterliegen unterschiedlichsten Beanspruchungen. Eine Übersicht der Beanspruchungen gibt Bild 4. Hier nach können Beanspruchungen von der Außen- und der Raumseite, aus dem angrenzenden Baukörper und aus dem Fenster bzw. der Fenstertür selbst differenziert werden.

Die Unterscheidung der außenseitigen Beanspruchungen erfolgt hierbei wie folgt:

- Außentemperatur,
- Feuchte,

- Sonneneinstrahlung,
- Brandüberschlag,
- Regen,
- Wind,
- Lärm,
- mechanischen Angriff bei Einbruch.

Einwirkungen von innen setzen sich im Wesentlichen aus der Raumlufttemperatur und -feuchte, einem möglichen Brandfall und der Bedienung der Fenster und Fenstertüren zusammen. Aus dem angrenzenden Baukörper resultieren Beanspruchungen aus Bauwerksbewegungen, aus dem Fenster bzw. den Fenstertüren, aus Längen- und Formänderungen sowie dem Eigengewicht.

Damit Fenster und Fenstertüren diesen unterschiedlichsten Beanspruchungen standhalten, ist es die Aufgabe des Planers, ein detailliertes Anforderungsprofil in Form einer Leistungsbeschreibung zu erarbeiten. Dies gilt insbesondere für die baulichen Gegebenheiten, wie Standort, Ausrichtung, Einbausituation, Nutzung und Anschlussausbildung. Zusätzlich hat der Planer Regeldetails zur Verfügung zu stellen. Daher muss er detaillierte Kenntnisse über die jeweiligen Einwirkungen und die daraus resultierenden Auswirkungen haben. Zur Bewertung der Auswirkungen ist es jedoch wichtig, die einschlägigen Regelwerke zu kennen. Eine Zusammenstellung der wichtigsten Regelwerke findet sich beispielweise in [3].

Bei jedem Objekt unterscheiden sich jedoch die baulichen Gegebenheiten stark. Dies führt dazu, dass je nach Ausführung unterschiedliche objektspezifische Merkmale zu unterschiedlichen Beanspruchungen führen, die mehr oder minder große Auswirkungen für die jeweilige Einbausituation bedeuten. Eine Übersicht dieser unterschiedlichen Beanspruchungen und deren Auswirkungen ist in Tabelle 1 dargestellt, wobei die Anschlussfugen zwischen Fenster bzw. Fenstertür und dem Baukörper allen dargestellten Einflüssen dauerhaft widerstehen bzw. diese aufnehmen und ausgleichen müssen. Ein fundiertes Fachwissen über die Einwirkungen auf das Fenster und die regelgerechte handwerkliche Ausführung der Montage ist für die Planung von Anschlussfugen daher unerlässlich.

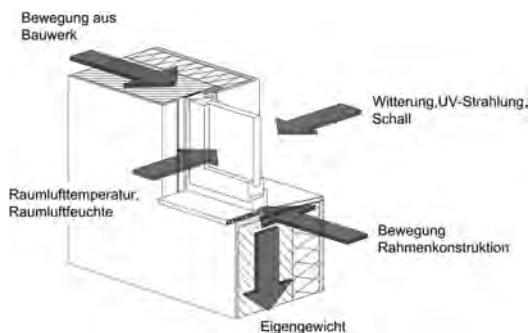


Bild 4. Schematische Darstellung der Beanspruchungen auf Fenster und Fenstertüren nach [3]

Tabelle 1. Unterscheidung unterschiedlicher Beanspruchung und deren Auswirkungen auf den Baukörperanschluss nach [3]

Merkmal	Beanspruchung/tendenzielle Auswirkung
Nutzung	
Fensterkonstruktion	
Anschlussausbildung	

2.3 Grundlagen der Anschlussausbildung

Der Aufbau der Anschlussfuge zwischen Fenster bzw. Fenstertür zum Baukörper ist vergleichbar mit einem herkömmlichen Wandaufbau, bestehend aus einem außenseitigem Wetterschutz, einer Ebene zur Lastabtragung bzw. für den Schall- und Wärmeschutz und einer raumseitigen Trennung vom Raum- zum Außenklima. Dieser Aufbau wird Ebenenmodell genannt und ist in Bild 5 übertragen auf die Ausbildung einer Anschlussfuge schematisch dargestellt.

Das Ebenenmodell wird hierbei in folgende Funktions-ebenen unterteilt:

- Ebene 1 – Luftdichtheitsebene
Trennung zwischen Raum- und Außenklima und somit Sicherstellung der Luftdichtheit. Ausführung ohne Unterbrechungen über die gesamte Länge der Außenwand. Zur Vermeidung von Tauwasser- und Schimmelpilzschäden darf die Oberflächentemperatur $12,5^{\circ}\text{C}$ nicht unterschreiten.
 - Ebene 2 – Funktionsebene
Sicherstellung Lastabtragung über Befestigungen in tragenden Baukörper und Gewährleistung des Schall- und Wärmeschutzes.
 - Ebene 3 – Wetterschutz
Vermeidung des Wassereintritts von der Außenseite. Abführung von eindringendem Regenwasser direkt und kontrolliert nach außen. Abführung von eventuell anfallendem Tauwasser durch Diffusion.

3 Bauphysikalische Anforderungen an Fenster und Fenstertüren

Zusätzlich zur Lastabtragung müssen Fenster und Fenstertüren weitere Anforderungen erfüllen. Abgesehen vom Raumabschluss und der Herstellung einer Sichtverbindung durch das Fenster nach außen, formuliert der Gesetzgeber weitere Anforderungen, die vor allem die Energieeinsparung nach der gültigen Energieeinsparverordnung (EnEV) [4], die Sicherstellung des Mindestwärmeschutzes nach DIN 4108-2 [5], also die Vermeidung von Schimmelpilz- oder Tauwasserbildung, oder die Vermeidung von gesundheitsschädlichen Lärmeinwirkungen nach DIN 4109 [6] betreffen.

3.1 Anforderungen an den Wärmeschutz

Die wärmeschutztechnischen Anforderungen an Fenster und Fenstertüren sind in der EnEV [4] beschrieben, wobei dort zwischen Anforderungen an Wohn- und Nichtwohngebäude unterschieden wird. Die Anforderungen gliedern sich in Anforderungen an den Primärenergiebedarf Q_p des Gebäudes und in Anforderungen an die thermische Gebäudehülle.

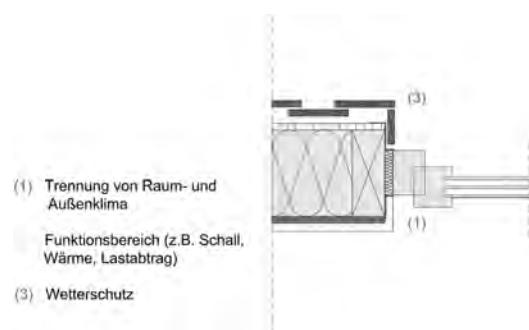


Bild 5. Darstellung des Ebenenmodells und die Übertragung auf die Anschlussfuge nach [3]



Bezeichnung	Fläche [m²]	Ausrichtung	U-Wert [W/(m²·K)]	F _x	U·A·F _x [W/K]
Außenwand nord	34,3	Nord	0,28	1	9,60
Fenster nord	5,7		1,3	1	7,41
Außenwand ost	28,1	Ost	0,28	1	7,87
Fenster ost	5,8		1,3	1	7,54
Haustür	2,1		1,8	1	3,78
Außenwand süd	34,7	Süd	0,28	1	9,72
Fenster süd	5,3		1,3	1	6,89
Außenwand west	26,3	West	0,28	1	7,36
Fenster west	9,7		1,3	1	12,61
Dach ost	38,5	Ost	0,2	1	7,70
Dach west	38,5	West	0,2	1	7,70
Bodenplatte	98,7	horizontal	0,35	0,6	20,73
OG-Decke	41	horizontal	0,2	0,8	6,56
A_{ges} [m²]	368,7				
$H_{T,1D} = \text{Summe } U \cdot A \cdot F_x$					115,47 W/K
ΔU_{WB} [W/(m²·K)]	0,05	$H_{T,WB} = Ages \cdot \Delta U_{WB}$			18,44 W/(m²·K)
$H_{T,ges} = H_{T,1D} + H_{T,WB}$					133,90 W/(m²·K)
$H'_T = H_{T,ges} : A_{ges}$					0,36 W/(m²·K)

Bild 6. Beispielhafte Ermittlung des spezifischen Transmissionswärmeverlust H'_T

Bei Wohngebäuden werden die Anforderungen an die Gebäudehülle über einen Höchstwert des spezifischen Transmissionswärmeverlust H'_T , einen auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogenen Wärmeverlust, beschrieben. Für Fenster und Türen bedeutet dies, dass keine expliziten Einzelanforderungen bestehen. Vielmehr darf die gesamte wärmeübertragende Gebäudehülle einen Höchstwert des spezifischen Transmissionswärmeverlustes nicht überschreiten. Der H'_T -Anforderungswert ergibt sich hierbei seit dem 1.1.2016 aus dem H'_T -Wert einer sog. Referenzausführung, einer in der EnEV durch Festlegung von Referenz-U-Werten beschriebenen wärmeschutztechnischen Qualität von Bauteilen. Der unter Zugrundelegung der geplanten Gebäudegeometrie und vorgenannter Referenz-U-Werte ermittelte H'_T -Wert gilt als Anforderungswert für das zu errichtende Gebäude, solange dieser H'_T -Wert kleiner als der bis zum 31.12.2015 geltende gebäudespezifische H'_T -Anforderungswert ist (z. B. freistehende Wohngebäude mit einer Gebäudenutzfläche $A_N \leq 350 \text{ m}^2$: $H'_T \leq 0,40 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; Reihenendhaus: $H'_T \leq 0,45 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; Reihenmittenthal: $H'_T \leq 0,65 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$). Ist der für die Referenzausführung berechnete H'_T -Wert größer als die vorgenannten bis zum 31.12.2015 gelten-

den gebäudespezifischen H'_T -Höchstwerte, gelten diese nach wie vor als H'_T -Anforderungswert.

Bei der Berechnung des spezifischen Transmissionswärmeverlusts H'_T werden Außenwände (gegen Außenluft oder Erdreich), Fenster, Fenstertüren, Außentüren, Dachflächenfenster, Dachflächen, oberste Geschoßdecke gegen unbeheizte Räume, Kellerdecke gegen unbeheizte Kellerräume bzw. Bodenplatte, Geschoßdecke gegen Außenluft nach unten (beispielsweise Durchfahrten) und Wände zu unbeheizten Gebäuden oder Gebäudeteilen (beispielsweise bei Doppel- und Reihenhäusern) berücksichtigt. Der Transmissionswärmeverlust jedes Bauteils innerhalb der thermischen Hüllfläche ist hierbei vom jeweiligen Wärmedurchgangskoeffizienten U abhängig, wobei sich der spezifische Transmissionswärmeverlust H'_T aus der Summe der einzelnen Produkte zuzüglich eines pauschalen Zuschlags zur Berücksichtigung der Wärmebrücken ergibt und durch die gesamte thermische Hüllfläche dividiert wird. In Bild 6 ist für ein beispielhaftes Einfamilienhaus das Vorgehen zur Ermittlung des spezifischen Transmissionswärmeverlusts H'_T dargestellt.

Bei Nichtwohngebäuden hingegen sind die Anforderungen an die Gebäudehülle über zulässige Höchst-

Tabelle 2. Höchstwerte der mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten \bar{U} für transparente Bauteile für Nichtwohngebäuden nach [4] ab dem 1.1.2016

Bauteil/System	Mittlere Wärmedurchgangskoeffizienten \bar{U}		
	Raumsolltemperaturen $\geq 19^\circ\text{C}$		Raumsolltemperaturen $< 19^\circ\text{C}$
Transparente Außenbauteile	bis 31.12.2015	$\bar{U} = 1,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$\bar{U} = 2,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
	ab 1.1.2016	$\bar{U} = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	
Vorhangfassaden	bis 31.12.2015	$\bar{U} = 1,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$\bar{U} = 3,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
	ab 1.1.2016	$\bar{U} = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	
Glasdächer, Lichtbänder, Lichtkuppeln	bis 31.12.2015	$\bar{U} = 3,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$\bar{U} = 3,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
	ab 1.1.2016	$\bar{U} = 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	

Tabelle 3. Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten bei erstmaligem Einbau, Ersatz und Erneuerung von Bauteilen nach [4]

Bauteil	Wohngebäude und Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von $\geq 19^\circ\text{C}$	Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis $< 19^\circ\text{C}$
	Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten U_{\max}	
Außenliegende Fenster, Fenstertüren	1,3 W/($\text{m}^2 \cdot \text{K}$)	1,9 W/($\text{m}^2 \cdot \text{K}$)
Dachflächenfenster	1,4 W/($\text{m}^2 \cdot \text{K}$)	1,9 W/($\text{m}^2 \cdot \text{K}$)
Verglasungen	1,1 W/($\text{m}^2 \cdot \text{K}$)	keine Anforderung
Vorhangfassaden	1,5 W/($\text{m}^2 \cdot \text{K}$)	1,9 W/($\text{m}^2 \cdot \text{K}$)
Glasdächer	2,0 W/($\text{m}^2 \cdot \text{K}$)	2,7 W/($\text{m}^2 \cdot \text{K}$)
Fenstertüren mit Klapp-, Falt-, Schiebe- oder Hebemechanismus	1,6 W/($\text{m}^2 \cdot \text{K}$)	1,9 W/($\text{m}^2 \cdot \text{K}$)
Außenliegende Fenster, Fenstertüren, Dachflächenfenster mit Sonderverglasungen	2,0 W/($\text{m}^2 \cdot \text{K}$)	2,8 W/($\text{m}^2 \cdot \text{K}$)
Sonderverglasungen	1,6 W/($\text{m}^2 \cdot \text{K}$)	keine Anforderung
Vorhangfassaden mit Sonderverglasungen	2,3 W/($\text{m}^2 \cdot \text{K}$)	3,0 W/($\text{m}^2 \cdot \text{K}$)

werte, den sogenannten mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten \bar{U} , definiert. Hierbei werden im Gegensatz zu Wohngebäuden konkrete Anforderungen an transparente Bauteile gestellt, bei denen zusätzlich zwischen verschiedenen Raumsolltemperaturen unterschieden wird. Diese Anforderungen sind auszugsweise in Tabelle 2 dargestellt.

Bei Änderungen, Erweiterungen und Ausbau von Gebäuden müssen entweder die in Tabelle 3 dargestellten Wärmedurchgangskoeffizienten für transparente Bauteile eingehalten werden oder der zulässige Jahres-Primärenergiebedarf Q_p und der Höchstwert des spezifischen Transmissionswärmeverlusts H_T' bei Wohngebäuden bzw. die in Tabelle 2 für „bis 31.12.2015“ angegebenen mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten \bar{U} bei Nichtwohngebäuden um nicht mehr als 40% überschritten werden.

Der Nachweis muss jedoch nur geführt werden, wenn mehr als 10% der jeweiligen Bauteilfläche geändert wird oder der Anbau bzw. die Erweiterung eine zusammenhängende Nutzfläche zwischen 15 m² und 50 m² aufweist. Bei größeren Anbauten bzw. Erweiterungen ist das Gebäude energetisch zu bilanzieren.

3.2 Anforderungen an den Mindestwärmeschutz

Die Anforderungen an den Mindestwärmeschutz von Fenstern und Fenstertüren sind in DIN 4108-2 [5] beschrieben. Dort heißt es, dass Schnittstellen von Fenstern bzw. Fenstertüren zum Rollladenkasten, zum Baukörper und vom Rollladen zum Baukörper einen Temperaturfaktor $f_{Rsi} \geq 0,70$, was einer minimalen zulässigen Oberflächentemperatur von 12,5°C entspricht, einhalten müssen.

Die Bewertung des Mindestwärmeschutzes erfolgt anhand von Wärmebrückeberechnungen nach DIN EN

ISO 10211 [7] auf Grundlage der Gl. (1) mit den Randbedingungen des Beiblatts 2 der DIN 4108 [8].

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{(\theta_{int} - \theta_e)} \quad (1)$$

mit

θ_{si} [°C] Temperatur am Punkt der Innenoberfläche

θ_e [°C] Außenlufttemperatur

θ_{int} [°C] Innenlufttemperatur

Hierbei wird immer von einer gleichmäßigen Beheizung und ausreichenden Belüftung des Raums ausgegangen sowie von einer weitgehend ungehinderten Luftzirkulation im Fensterbereich durch Ansatz eines raumseitigen Wärmeübergangswiderstands $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, ausgenommen Rollläden. An den sonstigen Außenbauteilen, auch bei den Rollläden, erfolgt die Berücksichtigung einer Behinderung des Wärmeübergangs über den Ansatz eines erhöhten raumseitigen Wärmeübergangswiderstands $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, welcher nach DIN-Fachbericht 4108-8 [9] mit Behinderung des Wärmeübergangs durch leichte Gardinen vergleichbar ist. Rollläden, beispielsweise (Mini-)Aufsatzkästen und Vorsatzkästen vor Verbreiterungen, müssen nach [5] einen Wärmedurchlasswiderstand von $R \geq 1,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ aufweisen, was einem Wärmedurchgangskoeffizienten $U = 0,85 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ entspricht. Bei Vorsatzkästen wird hierbei die vorhandene Einbausituation, also auch die Verbreiterung auf dem Fenster bzw. der Fenstertür, bei der Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten U berücksichtigt. Die Verbreiterung muss ebenfalls einen Temperaturfaktor $f_{Rsi} \geq 0,7$ in den Anschlussbereichen zum Mauerwerk und zum Fenster bzw. zur Fenstertür aufweisen. Diese Anforderungen sind grafisch in Bild 7 dargestellt.

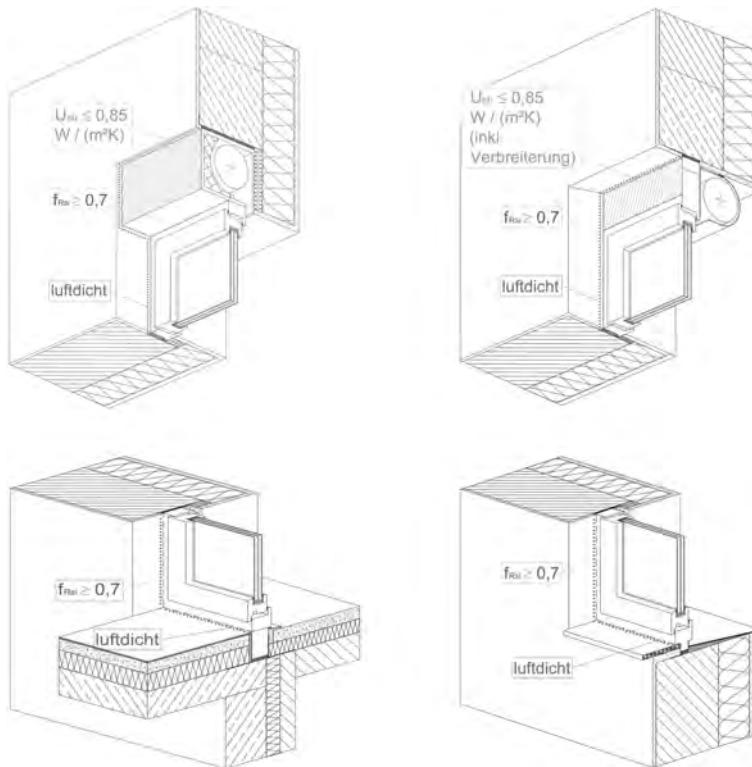


Bild 7. Anforderungen an den Mindestwärmeschutz an Fenster und Fenstertüren nach [10]

3.3 Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz

Ebenso wie die Anforderungen an den Mindestwärmeschutz sind in DIN 4108-2 [5] Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz beschrieben. Hierdurch soll durch bauliche Maßnahmen, beispielsweise Sonnenschutzvorrichtungen, der Einsatz von energieintensiven Kühlmaßnahmen verhindert werden.

Diese Anforderungen gelten jedoch nur für beheizte Räume, Sanierungsmaßnahmen und Anbauten mit einer zusammenhängenden Nutzfläche von nicht mehr als 50 m^2 sind von den Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz nach DIN 4108-2 [5] nach EnEV [4] ausgenommen.

Beim Einsatz von Anlagen zur Kühlung müssen die Anforderungen nach DIN 4108-2 [5] an den sommerlichen Wärmeschutz erfüllt werden, sofern es unter Ausschöpfung aller baulichen Möglichkeiten machbar ist. Für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes stellt DIN 4108-2 [5] ein vereinfachtes Nachweisverfahren, das sogenannte „Sonneneintragskennwerte-Verfahren“, mit standardisierten Randbedingungen bereit. Der Nachweis erfolgt unter Vergleich eines zulässigen Höchstwertes des Sonneneintragskennwertes S_{zul} mit einem raumbezogenen vorhandenen Sonneneintragskennwert S_{vorh} . Der Nachweis der Einhaltung ist erbracht, wenn der vorhandene Sonneneintragskennwert

S_{vorh} den zulässigen Höchstwert des Sonneneintragskennwertes S_{zul} nach Gl. (2) nicht überschreitet.

$$S_{vorh} \leq S_{zul} \quad (2)$$

Der vorhandene Sonneneintragskennwert S_{vorh} ist von der Fensterfläche, dem Gesamtenergiedurchlassgrad des Glases inklusive Sonnenschutzvorrichtung und der Nettogrundfläche des Raums abhängig.

Der vorhandene Sonneneintragskennwert S_{vorh} wird hierbei nach Gl. (3) ermittelt und der Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung nach Gl. (4). Anhaltswerte für den Abminderungsfaktor F_c von fest installierten Sonnenschutzvorrichtungen finden sich in Tabelle 8 der DIN 4108-2 [5], wobei Werte für den Abminderungsfaktor F_c für innen- und außenliegende Sonnenschutzvorrichtungen bei unterschiedlichen Verglasungsarten, Sonnenschutz- und Wärmedämmglas (zwei- und dreifach), unterschieden wird.

Der zulässige Höchstwert des Sonneneintragskennwertes S_{zul} ist abhängig vom Standort und der Nutzung des Gebäudes, von der Bauart, vom Nachtlüftungspotenzial, vom Fensterflächenanteil, vom verwendeten Glas, der Fensterneigung und -orientierung und der Möglichkeit des Einsatzes einer passiven Kühlung.

Diese münden in sechs unterschiedliche Einzelkennwerte, die sogenannten anteiligen Sonneneintragskennwerte S_1 bis S_6 , woraus der zulässige Sonneneintragskennwert S_{zul} durch Aufsummierung nach Gl. (5) er-

rechnet wird. Die Bestimmung der anteiligen Sonneneintragskennwerte S_1 bis S_6 erfolgt nach Tabelle 9 der DIN 4108-2 [5].

$$S_{\text{vorh}} = \frac{\sum_j (A_{w,j} \cdot g_{\text{total},j})}{A_G} \quad (3)$$

mit

A_w [m^2] Fensterfläche

g_{total} [-] Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung einschließlich Sonnenschutz

A_G [m^2] Nettogrundfläche des Raums oder des Raumbereichs

$$g_{\text{total}} = g \cdot F_c \quad (4)$$

mit

F_c [-] Abminderungsfaktor der Sonnenschutzvorrichtung

g [-] Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung

$$S_{\text{zul}} = \sum S_x \quad (5)$$

mit

S_x [-] anteiliger Sonneneintragskennwert

Zur Verbesserung des sommerlichen Wärmeverhaltens bzw. zur Begrenzung der sommerlichen Raumlufttemperaturen bieten sich folgende Maßnahmen an:

- Sonnenschutzvorrichtungen oder Sonnenschutzglas bei ost-, süd- und westorientierten Fassaden,
- bei größeren Fensterflächenanteilen ist der Einsatz einer außenliegenden Sonnenschutzvorrichtung zu favorisieren,
- Verwendung eines außenliegenden Sonnenschutzes bei südorientierten Dachflächenfenstern,
- Ausschöpfung eines hohen Nachtlüftungspotenzials.

3.4 Anforderungen an die Luftdichtheit

Anforderungen an die Luftdurchlässigkeit der Funktionsfugen von Fenstern und Fenstertüren sind in DIN 4108-2 [5] definiert. Diese müssen bei Gebäuden mit bis zu 2 Vollgeschossen mindestens der Klasse 2, was einer Referenzluftdurchlässigkeit $Q_{100} \leq 27 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ entspricht, und bei mehr als 2 Vollgeschossen mindestens der Klasse 3, Referenzluftdurchlässigkeit $Q_{100} \leq 9 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$, gemäß DIN EN 12207 [11] entsprechen. Außentüren hingegen müssen unabhängig von der Anzahl der vorhandenen Vollgeschosse mindestens der Klasse 2 entsprechen.

Anschlussfugen (beispielsweise Fugen zwischen Fenster und Baukörper) und Konstruktionsfugen (beispielsweise Kopplungsfugen zwischen einzelnen Fenstern oder Fugen zwischen Fenster und Aufsatzkasten) müssen eine Luftdurchlässigkeit $a < 0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2(\text{daPa}^{2/3})$ aufweisen, was gemäß [3] als praktisch luftdichte Ausführung angesehen wird.

Konstruktionsbedingte Fugen in der wärmeübertragenden Umfassungsfläche sind entsprechend den anerkannten Regeln der Technik dauerhaft luftundurchlässig auszuführen. Hierfür gibt DIN 4108-7 [12] Pla-

nungs- und Ausführungsempfehlungen und zeigt Ausführungsbeispiele auf, welche die Umsetzung einer dauerhaften Luftdichtheit ermöglichen. Für Fenster und Fenstertüren gibt DIN 4108-7 [12] Anschlussausbildungen für die raumseitige Abdichtung zur Sicherstellung der Luftdichtheit vor, wobei sich die Abdichtungsvarianten auf Dichtstoffe, vorkomprimierte Dichtbänder in Verleistungen und Klebebänder beschränken. DIN 4108-7 [12] schreibt bei unebenem Mauerwerk die Ausführung eines Glattstrichs vor Fenstereinbau im Bereich des Mauerwerks bei Verwendung von Dichtstoffen und Klebebändern vor.

Unabhängig von den Vorgaben der DIN 4108-2 [5] und DIN 4108-7 [12] stellt die EnEV [4] die Anforderungen an die Luftdichtheit von Gebäuden über die Vorgabe von maximal zulässigen Luftwechselraten bei 50 Pa Druckdifferenz. Der sogenannte n_{50} -Wert darf bei Gebäuden ohne raumluftechnische Anlage einen Wert von $3,0 \text{ h}^{-1}$ und mit raumluftechnischer Anlage einen Wert von $1,5 \text{ h}^{-1}$ nicht überschreiten. Die Einhaltung der genannten Grenzwerte gibt jedoch keine Auskunft über lokale Undichtheiten, die im schlimmsten Fall zu Feuchteschäden durch Konvektion führen könnten. Die Einhaltung der Grenzwerte ist somit kein hinreichender Nachweis für die fachgerechte Ausführung einzelner Anschlüsse. Zusätzlich zu dem erhöhten Schadenspotenzial kann es zu einem unbehaglichen Wohnraumklima durch Zugerscheinungen sowie zu erhöhten Lüftungswärmeverlusten kommen.

3.5 Anforderungen an den Schlagregenschutz

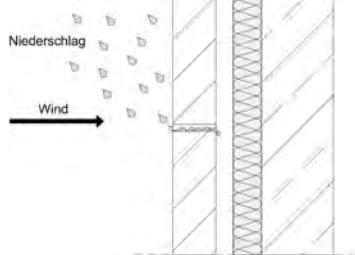
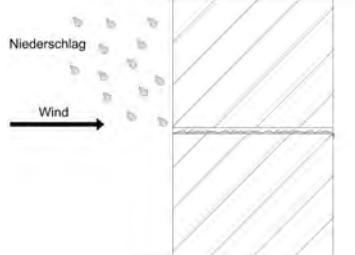
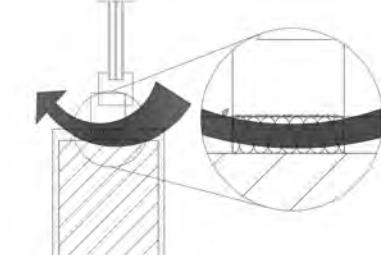
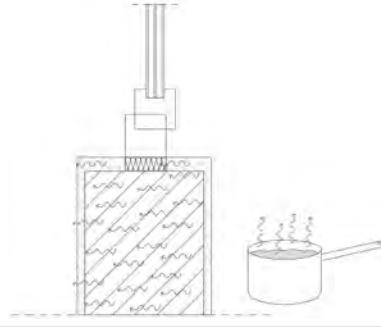
Anforderungen an die Schlagregendichtheit von Fenstern und Fenstertüren sind nach [2, 3, 10] nicht im deutschen Baurecht, also den jeweiligen Landesbauordnungen, geregelt und unterliegen somit keinen baurechtlichen Anforderungen. Vielmehr müssen Anforderungen zwischen Planer und ausführender Firma vereinbart werden. Diese vereinbarten Anforderungen werden maßgeblich durch den Standort des Gebäudes, die Einbausituation und die Orientierung beeinflusst, da beispielsweise Fenster und Fenstertüren in Küstennähe höheren Beanspruchungen ausgesetzt sind als in niederen Lagen und die Windbelastung unterhalb von auskragenden Bauteilen niedriger ist als bei Fenstern und Fenstertüren ohne schützende Bauteile. Eine Übersicht der Beanspruchung durch Regen ist in Bild 8 dargestellt.

Aufgrund der unterschiedlichen Beanspruchungen auf Außenbauteile durch Schlagregen verlangt DIN 4108-3 [13], dass der Schlagregenschutz eines Gebäudes auch im Bereich von Fugen und Anschlüssen sichergestellt wird. Die Anschlussfuge zwischen Fenster bzw. Fenstertür und Außenwand weist hingegen Anforderungen an den Feuchteschutz durch Schlagregenbelastung auf. Bei der Ausbildung der Anschlussfuge ist darauf zu achten, dass es zu keinem unkontrollierten Wassereintritt kommt, da nach DIN 4108-3 [13] der Wassergehalt der angrenzenden Baustoffe zulässig

sige Grenzwerte nicht überschreiten darf. Schlagregen muss ebenso wie anfallendes Tauwasser innerhalb der Fensterprofile planmäßig abgeführt werden. In Tabelle 4 sind die unterschiedlichen Feuchtebeanspruchungen auf Außenbauteile dargestellt. Zur Sicherstellung des Schlagregenschutzes können daher Fu-

gendichtstoffe wie Dichtbänder, Folien etc. zum Einsatz kommen. Auch durch konstruktive Maßnahmen kann ein Schlagregenschutz sichergestellt werden. Hierfür gibt DIN 4108-3 [13] Anwendungsbeispiele für Fugenabdichtungen in Abhängigkeit von der Schlagregenbeanspruchung vor.

Tabelle 4. Übersicht der Feuchtebeanspruchung auf Außenbauteile nach [3, 10]

	Beispiel		Feuchtebelastung
	außen	innen	
Einwirkung von Niederschlag von der Außenseite			<p>Wassertropfen angetrieben durch Winddruck (Schlagregen) und Luftströmung durch offene Fugen</p> <ul style="list-style-type: none"> – z. B. hinterlüftete Fassadenverkleidung – Wasser muss durch konstruktive Maßnahmen definiert aus dem Bauteil abgeleitet werden
			<p>Kapillarzug</p> <ul style="list-style-type: none"> – z. B. stumpfer Stoß zweier Bauteile (schmale Fuge) in der Dichtebene – über Kapillarzug in die Konstruktion eingetragen – Kapillarfugen müssen deshalb im Außenbereich vermieden werden
Einwirkung von Wasserdampf von der Raumseite			<p>Wasserdampfkonvektion</p> <ul style="list-style-type: none"> – Luftströmung von warm nach kalt mit Tauwasserbildung an kühleren Oberflächen über nicht abgedichtete oder undichte Fugen <p><i>Hinweis:</i> Luftströmung von kalt nach warm (z. B. durch Winddruck) führt zu keiner Tauwasserbildung in der Konstruktion, jedoch zu unerwünschten Zuglufterscheinungen.</p>
			<p>Wasserdampfdiffusion</p> <ul style="list-style-type: none"> – bei Wasserdampfteildruckunterschieden, entstehend durch das Differenzklima zwischen innen und außen <p>Abhängig von</p> <ul style="list-style-type: none"> – Wasserdampfdiffusionswiderstand der Materialien – Dicke – vorhandenem Wasserdampfteildruckunterschied im Vergleich zu Konvektionsvorgängen wesentlich träge

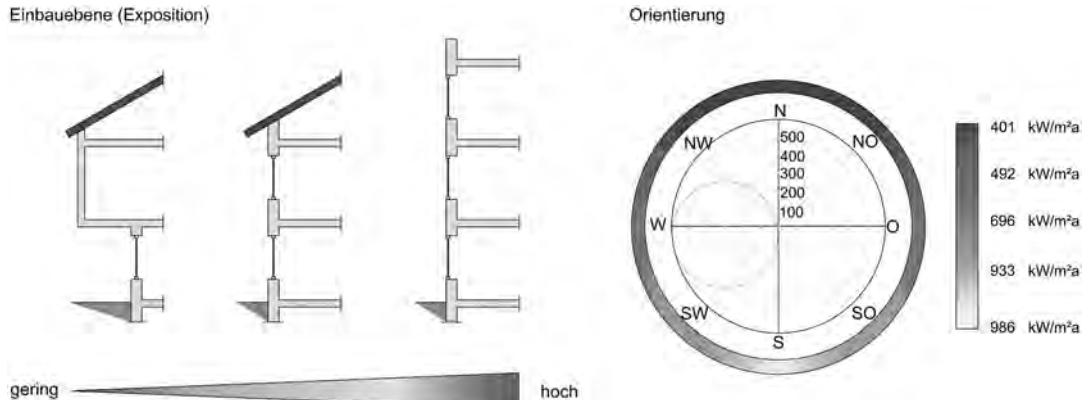


Bild 8. Übersicht der Regenbeanspruchung auf Fenster und Fenstertüren nach [3, 10]

3.6 Anforderungen an den Schallschutz

Anforderungen an den Schutz gegen Lärm werden in bauordnungs- und zivilrechtliche Anforderungen unterteilt. Bauordnungsrechtliche Anforderungen sind in den jeweiligen Bauordnungen der Länder und in DIN 4109 [6] geregelt. Sie dienen dem Menschen zum Schutz gegen unzumutbare Belästigung vor Lärm und zur Erhaltung der Gesundheit.

Zivilrechtliche Anforderungen sind teilweise in VDI 4100 [14] und in DIN 4109, Beiblatt 2 [15] geregelt. Bei den zivilrechtlichen Anforderungen handelt es sich vor allem um die Wahrung der Vertraulichkeit vom eigenen Bereich gegenüber benachbarten Räumen. Hierbei bedarf es der besonderen Vereinbarung zwischen Bauherrn und Planer; DIN 4109, Beiblatt 2 [15] und VDI 4100 [14] geben hierfür lediglich Empfehlungen.

Außenbauteile, also auch Fenster und Fenstertüren, unterliegen einer Außenlärmbelastung durch Straßen-, Schienen oder Flugverkehr. Je nach Nutzung und Außenlärmbelastung stellen sich nach DIN 4109 [6] die in Tabelle 5 dargestellten unterschiedlichen Anforderungsniveaus für die gesamte Fläche der Außenbauteile des betreffenden Raums ein. Zur Verdeutlichung des Außenlärmpegels sind beispielhafte Lärmquellen und der dazugehörige Abstand zum betroffenen Bauteil dargestellt.

Beim Einbau von Rollläden oder Lüftungseinrichtungen dürfen diese den Schallschutz von Fenstern und Fenstertüren nicht verschlechtern oder müssen bei der Ermittlung des notwendigen Schalldämm-Maßes des Fensters berücksichtigt werden.

Das resultierende Schalldämm-Maß von zusammengesetzten Bauteilen, beispielsweise Wand mit Fenster, berechnet sich allgemein nach Gl. (6) und bei Berücksichtigung von drei unterschiedlichen Flächen, beispielsweise Wand und Fenster mit Aufsatzrollladen, nach Gl. (7).

$$R_{w,R,res} = -10 \lg \left(\frac{1}{S_{ges}} \cdot \sum_{i=1}^n S_i \cdot 10^{\frac{-R_{w,R,i}}{10}} \right) \quad (6)$$

mit

$$S_{ges} = \sum_{i=1}^n S_i \quad [m^2] \quad \text{Fläche des gesamten Bauteils}$$

$$S_i \quad [m^2] \quad \text{Fläche des i-ten Elements des Bauteils}$$

$$R_{w,R,i} \quad [dB] \quad \text{bewertetes Schalldämm-Maß (Rechenwert) des i-ten Elements des Bauteils}$$

$$R_{w,R,res} =$$

$$-10 \lg \left(\frac{1}{S_1 + S_2 + S_3} \cdot \left(S_1 \cdot 10^{\frac{-R_{w,R,1}}{10}} + S_2 \cdot 10^{\frac{-R_{w,R,2}}{10}} + S_3 \cdot 10^{\frac{-R_{w,R,3}}{10}} \right) \right) \quad (7)$$

mit

$$S_1 \quad [m^2] \quad \text{Fläche der Wand}$$

$$S_2 \quad [m^2] \quad \text{Fläche des Fensters}$$

$$S_3 \quad [m^2] \quad \text{Fläche des Rollladens}$$

$$R_{w,R,1} \quad [dB] \quad \text{bewertetes Schalldämm-Maß der Wand}$$

$$R_{w,R,2} \quad [dB] \quad \text{bewertetes Schalldämm-Maß des Fensters}$$

$$R_{w,R,3} \quad [dB] \quad \text{bewertetes Schalldämm-Maß des Rollladens}$$

Falls für den Rollladenkasten nur die Norm-Schallpegeldifferenz $D_{n,w,P}$ gegeben ist, ist dieser nach Gl. (8) umzurechnen, wobei sich die bewertete Norm-Schallpegeldifferenz $D_{n,w,P}$ z. B. mit der Länge eines Elements ändert.

$$R_{w,R} = D_{n,w,P} - 10 \lg \frac{A_0}{S_{Prü}} - 2 \text{dB} \quad (8)$$

mit

$$R_{w,R} \quad [dB] \quad \text{Rechenwert des bewerteten Schalldämm-Maßes}$$

$$D_{n,w,P} \quad [dB] \quad \text{bewertete Norm-Schallpegeldifferenz, gemessen im Prüfstand}$$

$$A_0 \quad [m^2] \quad \text{Bezugs-Absorptionsfläche } 10 \text{ m}^2$$

$$S_{Prü} \quad [m^2] \quad \text{lichte Fläche, die der Prüfgegenstand in der Prüfwand}$$

Tabelle 5. Anforderungen an die Luftschalldämmung von Außenbauteilen nach [6]

Lärm-pegel-bereich	„Maßgeblicher Außenlärmpegel“	Raumarten			Beispiel
		Bettenräume in Krankenanstalten und Sanatorien	Aufenthaltsräume in Wohnungen, Übernachtungs-räume in Beher-bergungsstätten, Unterrichtsräume und Ähnliches	Büroräume und Ähnliches	
		erf. $R'_{w, \text{res}}$ des Außenbauteils in dB			
I	bis 55	35	30	–	Normales Gespräch 1 m  ‐ 1 m
II	55 bis 60	35	30	30	Flugzeug 2-strahlig 2000 m  ‐ 2000 m
III	61 bis 65	40	35	30	PKW 60 km/h 25 m  ‐ 25 m
IV	66 bis 70	45	40	35	Flugzeug 2-strahlig 1000 m  ‐ 1000 m
V	71 bis 75	50	45	40	Flugzeug 2-strahlig 500 m  ‐ 500 m
VI	76 bis 80	–	50	45	ICE 250 km/h 25 m  ‐ 25 m
VII	> 80	–	–	50	Flugzeug 4-strahlig 500 m  ‐ 500 m

Die Bauanschlussfuge und die Einbaulage des Fensters weist ebenfalls einen Einfluss auf die Schalldämmung der Fenster bzw. Fenstertüren im eingebauten Zustand auf. Bei der Planung ist allgemein darauf zu achten, dass das Schalldämm-Maß des Fensters R_w selbst erhalten bleibt, denn schon kleine Löcher oder Haarfugen im Anschlussbereich können das Gesamtergebnis erheblich verschlechtern.

Dichtsysteme, wie Dichtstoffe und Dichtungsbänder, können auch zu einer Verbesserung der akustischen Eigenschaften beitragen, wobei sich aber beispielsweise Dichtfolien aufgrund ihrer geringeren Maße ohne zusätzliche Maßnahmen nicht positiv auswirken. Eine beidseitige Anordnung ist dabei zu bevorzugen, da diese das Fugenschalldämm-Maß gegenüber einer einseitigen Anordnung deutlich erhöht.

Fugendämmstoffe, beispielsweise PU-Schaum, Mineralfaser oder Spritzkork, wirken sich positiv auf den Schallschutz aus, wobei dies nur in Verbindung mit Ab-

dichtungssystemen (Fugendichtstoffe oder vorkomprimierte Dichtungsbänder) zu erzielen ist. Stopfmaterialien in der Fuge sind möglichst dicht einzufüllen. Darüber hinaus wirkt sich eine höhere Masse des Fugenmaterials bei größeren Fugenbreiten positiv auf die Fugenschalldämmung aus.

Zur Beurteilung des Einflusses des Fugenschalldämm-Maßes $R_{st,w}$ auf das Gesamtschalldämm-Maß $R_{w,res}$ bietet Tabelle 6 einen Überblick unterschiedlicher Materialien bei unterschiedlichen Fugenabmesungen. Jedoch ist die Fugendämmung grundsätzlich möglichst hoch zu wählen, vereinfachend gilt die Faustregel, dass das Fugenschalldämm-Maß $R_{st,w}$ 10 dB über dem bewerteten Schalldämm-Maß $R_{w,R}$ des Fensters liegen sollte, um die Schalldämmung des Fensters im eingebauten Zustand nicht negativ zu beeinflussen. Diese Faustregel ergibt sich aus dem Verhältnis von Fensterfläche zur Länge der Anschlussfuge.

Tabelle 6. Übersicht üblicher Fugenschalldämmungen von Bauanschlussfugen von Fenstern bei einer Fugentiefe von 50 mm bis 100 mm nach [3]

Ausbildung der Fuge	Fugenschalldämm-Maß $R_{ST,w}$ in dB bei Fugenbreite von	
	10 mm	20 mm
leere Fuge	15	10
Mineralfaser ausgestopft	35–45	30–40
PU-Montageschaum	≥ 50	≥ 47
komprimiertes Dichtungsband, Komprimierungsgrad ≤ 20 %, einseitig	≥ 40	–
komprimiertes Dichtungsband, Komprimierungsgrad ≤ 20 %, beidseitig	≥ 50	–
Multifunktionsband, Komprimierungsgrad ≤ 35 %	≥ 40	≥ 35
beidseitig mit Hinterfüllschnur und elastischem Dichtstoff versiegelte Fuge	≥ 55	≥ 54
einseitig Bauanschlussfolie ≥ 1 mm	≥ 40	≥ 35
beidseitig Bauanschlussfolie ≥ 1 mm	≥ 50	≥ 45

Bei der Planung der Fugenausbildung ist zusätzlich die Außenwand und die Einbausituation zu berücksichtigen. Je nach vorhandener Einbausituation kann das Schalldämm-Maß durch die Einbausituation positiv oder negativ beeinflusst werden. Die unterschiedlichen in Bild 9 dargestellten Einbausituationen bieten hierzu einen kurzen Überblick, hellgrau eingerahmte Einbausituationen weisen hierbei keinen negativen Einfluss auf, dunkelgrau eingerahmte Situationen beeinflussen den Schallschutz der Fenster negativ. Eine bauliche Umsetzung ist bei den dunkelgrauen Fällen nicht ohne zusätzliche Untersuchung möglich. Nur durch Einsatz von zusätzlichen massiven Zargenkonsstruktionen, siehe Bild 10, kann der Schallschutz verbessert werden.

3.7 Anforderungen im Altbau

Nach [3] gelten beim Einbau von Fenstern und Fenstertüren bei Modernisierungsmaßnahmen dieselben bauphysikalischen Anforderungen wie bei Neubaumaßnahmen. Das bedeutet, dass die Luftdichtheit und der Mindestwärmeschutz sichergestellt werden müssen sowie Wassereintritt von außen in die Konstruktion vermieden werden muss. Die Schwierigkeit hierbei ist jedoch das schlechte Wärmeschutzniveau der vorhandenen Bausubstanz. Je nach Baualter des Gebäudes und Einbausituation der Fenster sind gegebenenfalls flankierende bauliche Maßnahmen, beispielsweise der Einbau einer Laibungsdämmung, notwendig, um den Mindestwärmeschutz zu gewährleisten.

Erschwerend kommt hinzu, dass die Bausubstanz oft in einem schlechten Zustand vorgefunden wird. Hierdurch muss die Bausubstanz häufig zusätzlich instandgesetzt werden. Darüber hinaus steht eine Vielzahl von Gebäuden unter Denkmalschutz, wodurch eine außenseitige bauliche Veränderung nicht infrage kommt.

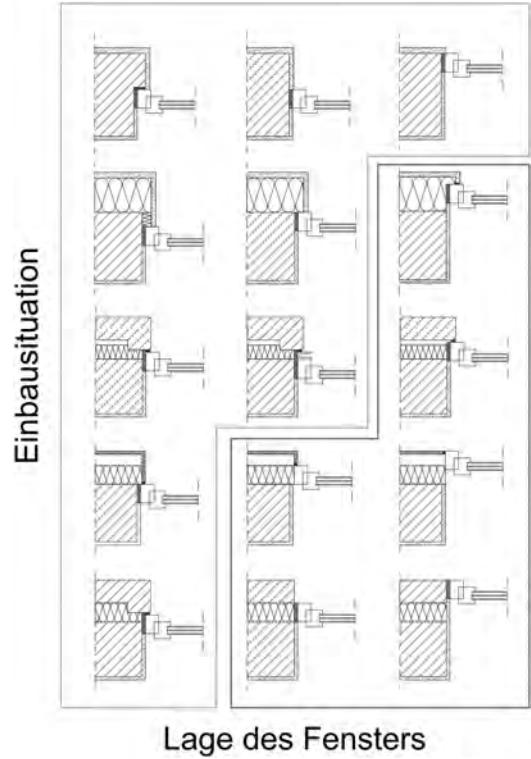


Bild 9. Einfluss der Außenwand- und Einbausituation auf die Schalldämmung nach [3]

BESTELLSCHEIN

Stück	Bestell-Nr.:	Titel	Preis* €
	978-3-433-03161-2	Mauerwerk Kalender, Befestigungen Lehmmauerwerk	149,-
	909538	Gesamtverzeichnis Ernst & Sohn 2016/2017	kostenlos
	bitte ankreuzen	Monatlicher E-Mail-Newsletter	kostenlos

Liefer- und Rechnungsanschrift: privat geschäftlich

Firma			
Ansprechpartner		Telefon	
UST-ID Nr. / VAT-ID No.		Fax	
Straße//Nr.		E-Mail	
Land	-	PLZ	Ort

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

Wilhelm Ernst & Sohn
Verlag für Architektur und
technische Wissenschaften
GmbH & Co. KG
Rotherstraße 21, 10245 Berlin
Deutschland
www.ernst-und-sohn.de

Datum / Unterschrift

*€-Preise gelten ausschließlich in Deutschland. Alle Preise enthalten die gesetzliche Mehrwertsteuer. Die Lieferung erfolgt zuzüglich Versandkosten. Es gelten die Lieferungs- und Zahlungsbedingungen des Verlages. Irrtum und Änderungen vorbehalten.
Stand: März 2017 (homepage_Probekapitel)