

2017

# MAUERWERK KALENDER



Befestigungen  
Lehmmauerwerk

## 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 Sanierungsplanungen und -maßnahmen. In einer der kommenden Ausgaben des Mauerwerk-Kalenders wird über den weiteren Fortgang der Sanierung berichtet werden. Die Leistungsfähigkeit von Lehm-mauerwerk 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 Hohlloch-mauerwerk 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  
jj@jaeger-ingenieure.de

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	III
<b>Autoren</b> .....	XVII
<b>A Baustoffe • Bauprodukte</b>	
<b>I Eigenschaften von Mauersteinen, Mauermörtel, Mauerwerk und Putzen</b> .....	3
Wolfgang Brameshuber, Aachen	
1 Allgemeines .....	3
2 Eigenschaftskennwerte von Mauersteinen .....	3
2.1 Festigkeitseigenschaften .....	3
2.1.1 Längsdruckfestigkeit .....	3
2.1.2 Zugfestigkeiten .....	4
2.2 Verformungseigenschaften .....	6
2.2.1 Elastizitätsmodul senkrecht zur Lagerfuge unter Druckbeanspruchung .....	6
2.2.2 Elastizitätsmodul in Steinlängsrichtung unter Zugbeanspruchung .....	6
2.2.3 Spannungs-Dehnungslinie .....	7
2.2.4 Querdehnungsmodul .....	7
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 .....	9
3.3.1 E-Modul (Längsdehnungsmodul) E ...	9
3.3.2 Querdehnungsmodul $E_q$ .....	9
3.3.3 Feuchtedehnung (Schwinden $\epsilon_s$ ) .....	9
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 .....	10
5 Eigenschaftswerte von Mauerwerk .....	13
5.1 Allgemeines .....	13
5.2 Druckfestigkeit senkrecht zu den Lagerfugen .....	13
5.2.1 Experimentelle Bestimmung .....	13
5.2.2 Rechnerische Bestimmung .....	13
5.3 Druckfestigkeit parallel zu den Lagerfugen .....	15
5.4 Zugfestigkeit und -tragfähigkeit .....	15
5.5 Biegezugfestigkeit und -tragfähigkeit ....	16
5.6 Verformungseigenschaften .....	20
5.6.1 Allgemeines .....	20
5.6.2 Druckbeanspruchung senkrecht zu den Lagerfugen .....	20
5.6.2.1 Druck-E-Modul $E_D$ .....	20
5.6.2.2 Querdehnungszahl $\mu_D$ und Dehnung bei Höchstspannung $\epsilon_{u,D}$ .....	21
5.6.2.3 Völligkeitsgrad $\alpha_0$ .....	21
5.6.3 Druckbeanspruchung parallel zu den Lagerfugen .....	21
5.6.3.1 Druck-E-Modul $E_{D,p}$ .....	21
5.6.3.2 Dehnung bei Höchstspannung $\epsilon_{u,D,p}$ ....	21
5.6.4 Zug-E-Modul $E_Z$ (Zugbeanspruchung parallel zu den Lagerfugen) .....	21
5.6.5 Feuchtedehnung $\epsilon_f$ , (Schwinden $\epsilon_s$ , irreversibles Quellen $\epsilon_q$ ), Kriechen (Kriechzahl $\phi$ ), Wärmedehnungskoeffizient $\alpha_T$ .....	21
6 Feuchtigkeits technische Kennwerte von Mauersteinen, Mauermörtel und Mauerwerk .....	23
6.1 Kapillare Wasseraufnahme .....	23
6.2 Wasserdampfdurchlässigkeit .....	23
7 Natursteine, Natursteinmauerwerk ....	24
8 Eigenschaftswerte von Putzen (Außenputz) .....	24
8.1 Allgemeines .....	24
8.2 Festigkeitseigenschaften .....	24
8.2.1 Druckfestigkeit $\beta_D$ .....	24
8.2.2 Zugfestigkeit $\beta_Z$ .....	24
8.3 Verformungseigenschaften .....	24
8.3.1 Zug-E-Modul $E_Z$ , dynamischer E-Modul $\text{dyn E}$ .....	24
8.3.2 Zugbruchdehnung $\epsilon_{Z,u}$ .....	24
8.3.3 Zugrelaxation $\psi$ .....	24
8.3.4 Schwinden $\epsilon_s$ , Quellen $\epsilon_q$ .....	26
8.4 Eigenschaftszusammenhänge .....	26
9 Literatur .....	26

<b>II</b>	<b>Neuentwicklungen beim Mauerwerksbau mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ)</b> . . . . .	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 Schlitzfenstern . . . . .	34	9	Bewehrtes Mauerwerk . . . . .	57
1	Mauerwerk mit Normal- oder Leichtmörtel . . . . .	34	10	Ergänzungsbauteile . . . . .	57
2	Mauerwerk mit Dünnbettmörtel . . . . .	38	11	Literatur . . . . .	61
3	Mauerwerk mit Mittelbettmörtel . . . . .	51		Bildnachweis . . . . .	62
<b>B</b>	<b>Konstruktion • Bauausführung • Bauwerkserhaltung</b>				
<b>I</b>	<b>Bauphysikalische und befestigungstechnische Anforderungen an die Montage von Fenstern und Türen</b> . . . . .	65			
	Jürgen Küenzlen, Künzelsau; Marc Klatecki, Kassel; Eckehard Scheller, Künzelsau und Rainer Becker, Dortmund				
1	Einleitung . . . . .	65	5.2.2	Abdichtung von Schwellen- konstruktionen . . . . .	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 Mindestwärme- schutzes 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 Mindest- wärmeschutz . . . . .	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 Schlag- regenschutz . . . . .	71	8.2	Leitfaden zur Planung und Aus- führung 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 Distanzklotze	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 Anforde-	141
14.6.6	Nachweis Verbindung Brüstungsriegel			rungen an die Einbruchhemmung .....	141
	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		16.3	Durchgeführte Versuche .....	143
	absturzsichernder Fensterelement-		16.3.1	Versuche nach DIN V ENV 1627 bis	
	befestigung W-ABZ und Mauerwerk ....	138		1630:1999-04 .....	143
14.6.9	Nachweis der Fensterelementbefestigung	139	16.3.2	Versuche nach DIN EN 1627 bis 1630 ..	148
14.7	Mauerwerk mit geringer Tragfähigkeit ..	139	16.4	Montagebescheinigung nach erfolgtem	
				Einbau einbruchhemmender Elemente ..	155
15	Montage in der Dämmebene .....	139	17	Fazit .....	156
15.1	Allgemeines .....	139	18	Literatur .....	157
15.2	Bauphysikalische Betrachtung .....	141			
15.3	Dübelauswahl .....	141			

<b>II</b>	<b>Ev.-Luth. Hauptpfarrkirche Zwickau – seit 1935 Dom St. Marien Zwickau –</b>				
	<b>Stand der Bauhaltung von Kirchenschiff und Chorraum .....</b>	<b>161</b>			
	Michael Kühn, Zwickau				

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

<b>III</b>	<b>Versuchsgestützte Kalibrierung von Teilsicherheitsbeiwerten im Lehm-mauerwerksbau –</b>				
	<b>Empfehlungen für die Erarbeitung eines Bemessungskonzepts .....</b>	<b>181</b>			
	Philipp Müller, Singapur; Patrick Fontana, Lorenzo Miccoli und Christof Ziegert, Berlin				

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

<b>IV</b>	<b>Modellierung des mechanischen Verhaltens von Lehmsteinmauerwerk unter statischer Druck- und Schubbeanspruchung</b> .....		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	
<b>V</b>	<b>Lehmmauerwerk – Entwurfs- und Konstruktionsprinzipien für den Wohnbau</b> .....		209
	Dipl.-Ing. Raik Hartmann		
1	Einleitung .....	209	
1.1	Chancen des modernen Lehmbaus 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 Feuchteinwirkung .....	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 speziellen 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	<b>Mauerwerk unter (hoch-)dynamischen Einwirkungen</b>				
	<b>Theoretische, numerische und experimentelle Untersuchungen</b>	245			
	Tobias Linse und Norbert Gebbeken, München				
1	Einleitung	245	3	Eigenschaften von Mauerwerksmaterialien	253
1.1	Eigenschaften von Mauerwerk	247	3.1	Materialeigenschaften von Mauerwerkssteinen	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 Mauerwerkssteine	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 Elastizitätsmoduln	259
1.2.1	Numerische Modellierung von Mauerwerksstrukturen	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 Verzerrungsratenabhängigkeit . . . . .	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, 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 Verzerrungsratenabhängigkeit . . . . .	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
<b>II</b>	<b>Tragverhalten und Bemessung von Injektionsdübeln in Mauerwerk</b> . . . . .	<b>297</b>			
	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			
<b>III</b>	<b>Nachrechnung gemauerter Bogenbrücken .....</b>	<b>327</b>			
	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, Einzelstütz- weiten .....	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
<b>IV</b>	<b>Knicken von Mauerwerk – Kritische Anmerkungen zum empirischen Verfahren und neuer Vorschlag für den EC 6 .....</b>	<b>343</b>			
	Tammam Bakeer, 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 Referenzlösung .....	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 Regressions- modellen .....	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			



<b>V</b>	<b>Zum Nachweis der Mindestauflast nach DIN EN 1996-3/NA</b> .....	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 Trag- verhalten und dessen Beschreibung .....	376
8.1	Allgemeiner Ansatz eines Abminderungs- faktors .....	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 Knick- abminderung 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	Ausmitteln infolge der Deckenverdrehung und Einstellung des Bogenmodells .....	384
9.3.3	Schlussfolgerung .....	387
10	Ergebnisse .....	387
10.1	Bei Vorhandensein von Stahlbeton- decken 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 Stahlbeton- decken .....	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
<b>D</b>	<b>Bauphysik • Brandschutz</b>	
<b>I</b>	<b>Praktischer Schallschutz mit Mauerwerk</b> .....	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 (Transmissions- schalldämmung) .....	423
3.2	Schalllängsdämmung .....	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	Schalllängsdämmung .....	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 Wärmedämmeinlage .....	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 Hartschaumelementen .....	435			

## E Normen • Zulassungen • Regelwerk

I	<b>Geltende Technische Regeln für den Mauerwerksbau (Deutsche, Europäische und Internationale Normen) (Stand 31.10.2016)</b> .....	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	<b>Verzeichnis der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für den Mauerwerksbau (Stand 31.7.2016)</b> .....	463
	Wolfram Jäger, Dresden und Roland Hirsch, Berlin	
1	Mauerwerk mit Normal- oder Leichtmörtel .....	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 Wärme- dämmung .....	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 drittel- oder halbggeschosshoher Ausführung ....	561	10	Ergänzungsbauteile .....	579
2.4	Weitere Dünnbettmörtel .....	562	10.1	Mauerfuß-Dämmelemente .....	579
3	Mauerwerk mit Mittelbettmörtel .....	563	10.2	Anker zur Verbindung der Mauerwerks- schalen von zweischaligen Außenwänden	580
4	Vorgefertigte Wandtafeln .....	564	10.3	Sonstige Ergänzungselemente .....	581
4.1	Geschosshohe Mauertafeln .....	564		Anhang .....	582
4.2	drittel- oder halbggeschosshohe Mauertafeln .....	568		Zulassungsübersicht .....	582
<b>III</b>	<b>Ausführung von Mauerwerk nach Eurocode 6</b> .....	<b>601</b>			
	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 (Makroumwelt- bedingungen) .....	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 Sichtmauer- werk .....	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 Leicht- mauermörtel .....	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 Mauerwerks- verbänden .....	607	3.3.2	Deckenaufleger .....	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 Mauer-	
4.2.2	Befestigungen an angrenzenden			werks während der Bauausführung .....	634
	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		6.6.4	Schutz gegen Austrocknung .....	635
	für die Baustelle .....	633	7	Literatur .....	635

## F Forschung

I	Übersicht über abgeschlossene und laufende Forschungsvorhaben im Mauerwerksbau .....	639
	Anke Eis, Dresden	

Vorbemerkung .....	639	2.2.1	EU-Projekt INSYSME: Innovative	
Forschungsstellen (F) .....	639		Techniken für erdbebensichere Aus-	
1	Abgeschlossene Forschungsvorhaben ...	643		fachungswände aus Ziegelmauerwerk in
1.1	Übersicht Forschungsprojekte und		2.2.2	Stahlbetonrahmentragwerken .....
	Forschungsstellen .....	643		654
1.2	Kurzberichte .....	643		Entwicklung einer zementfreien
1.2.1	Untersuchungen zur Reduzierung der			Injektionstechnologie auf Kalkbasis
	Tragfähigkeit von Mauerwerk bei			für historisch wertvolles, gipshaltiges
	Schwächung des Querschnittes infolge		2.2.3	Mauerwerk – IngiMa .....
	von Aussparungen und Schlitzten .....	643		654
1.2.2	Energetische und mechanische Opti-			Umsetzung einer optimierten Prüfung
	mierung des Anschlusses der Decke			der Haftscherfestigkeit im Mauerwerks-
	an monolithische Außenwände aus			bau in Anlehnung an das bisherige
	Mauerwerk mit Passivhausstandard ....	647		europäische Verfahren nach
1.2.3	Untersuchung der zivil- und baurecht-		2.2.4	DIN EN 1052-3 .....
	lichen Situation zur Nutzung der Euro-			657
	codes in anderen europäischen Ländern .	649		Einsatz von Ankern und Nadeln aus
1.2.4	Nachhaltigkeit von Mauerwerk			Faserwerkstoffen bei der Sanierung
	im Geschosswohnungsbau .....	652		historischer Bauwerke – FaAnNa .....
2	Laufende Forschungsvorhaben .....	653		659
2.1	Übersicht Forschungsprojekte und		2.2.5	Textile Bewehrung in der Lagerfuge
	Forschungsstellen .....	653		von gemauerten Kellerwänden zur
2.2	Kurzberichte .....	654		Erhöhung der Tragfähigkeit gegen
				Erddruck (Faserbewehrtes Keller-
				mauerwerk – FBKM) .....
				661
			2.2.6	Mauerwerksbauten an der Hochhaus-
				grenze – Entwicklung und Anwendung
				eines neuen Rechenmodells für Schub-
				wände .....
				662
			2.2.7	Niedrigstenergiehäuser in Mauerwerks-
				bauweise .....
				663

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

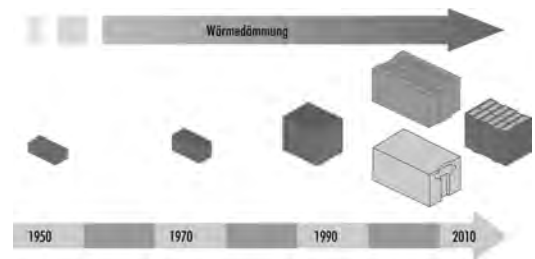
Genauso wie sich das Wort für Fenster vom germanischen Wort für Windauge zum lateinischen Lehnwort für Fenster über die Jahre entwickelt hat, so hat sich das Fenster selbst von anfänglich mit Häuten überspannten Öffnungen in Außenwänden zu multifunktionalen, hocheffizienten Bauelementen durch die Integration 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 Wärmedämmeigenschaften 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-

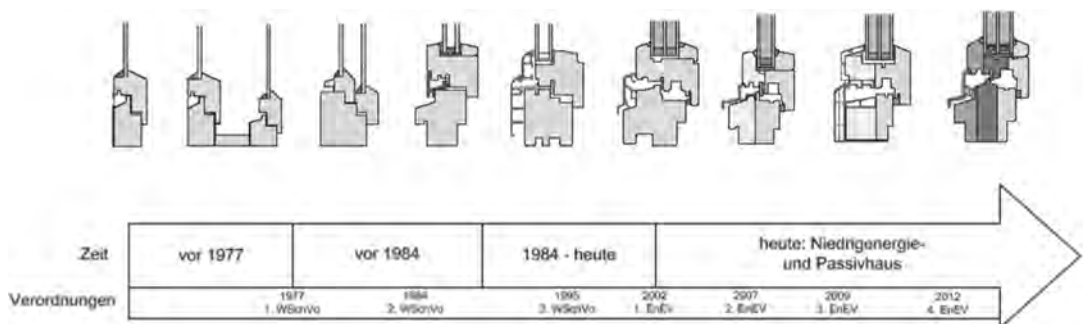
mer größeren Bautiefen oder die Zunahme der Glasgewichte (bei gleichzeitig immer größer werdenden Fensterelementen) sorgt für ständig neue (Befestigungs-)Situationen in der Praxis (Bild 1).

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. Hiernach 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:

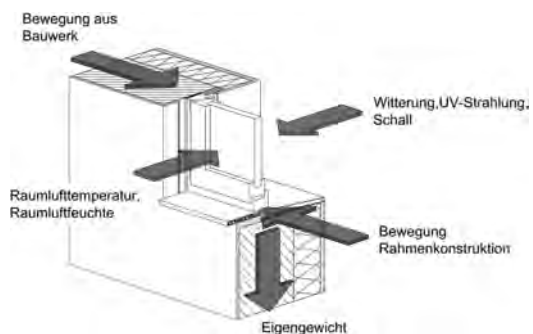
- Außentemperatur,
- Feuchte,

- 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 beispielsweise in [3].


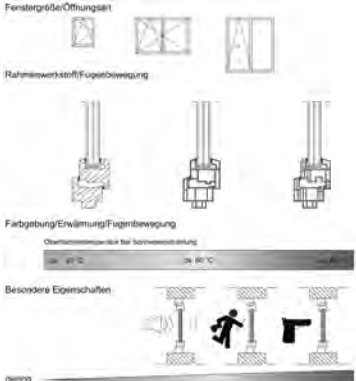
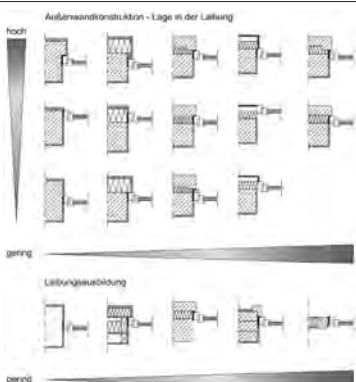
Bei jedem Objekt unterscheiden sich jedoch die baulichen Gegebenheiten stark. Dies führt dazu, dass je nach Ausführung unterschiedliche objektspezifische Merkmale zu unterschiedlichen Beanspruchungen führen, die mehr oder minder große Auswirkungen für die jeweilige Einbausituation bedeuten. Eine Übersicht 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	 <p>Gewerbe-, Verwaltungsbau (ohne Klimatisierung)</p> <p>Wohnungsbau, Schulbau</p> <p>Sonderbauten, Bäder, klimatisierte Räume</p> <p>gering hoch</p>
Fensterkonstruktion	 <p>Fensterrahmen/Öffnungsart</p> <p>Rahmenelemente/Fügesteuerung</p> <p>Farbgebung/Erwärmung/Fügesteuerung</p> <p>Oberflächentemperatur bei Sonneneinstrahlung</p> <p>Besondere Eigenschaften</p> <p>gering hoch</p>
Anschlussausbildung	 <p>Außenwandkonstruktion - Lage in der Lattung</p> <p>Lattungsausbildung</p> <p>gering hoch</p>

### 2.3 Grundlagen der Anschlussausbildung

Der Aufbau der Anschlussfuge zwischen Fenster bzw. Fenstertür zum Baukörper ist vergleichbar mit einem herkömmlichen Wandaufbau, bestehend aus einem außenseitigen 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 Funktionsebenen unterteilt:

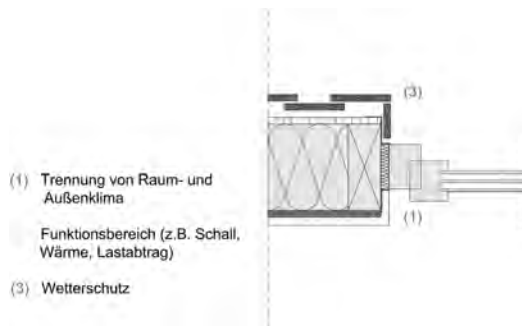
- Ebene 1 – Luftdichtheitsebene  
Trennung zwischen Raum- und Außenklima und somit Sicherstellung der Luftdichtheit. Ausführung ohne Unterbrechungen über die gesamte Länge der Außenwand. Zur Vermeidung von Tauwasser- und Schimmelpilzschäden darf die Oberflächentemperatur  $12,5^{\circ}\text{C}$  nicht 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 <sub>x</sub>	U·A·F <sub>x</sub> [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
Hautür	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	7,38
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 <sub>ges</sub> [m²]	368,7				
H <sub>T,TD</sub> = Summe U·A·F <sub>x</sub>					115,47 [W/K]
ΔU <sub>WB</sub> [W/(m²·K)]	0,05	H <sub>T,WB</sub> = A <sub>ges</sub> · ΔU <sub>WB</sub>			18,44 [W/(m²·K)]
H <sub>T,ges</sub> = H <sub>T,TD</sub> + H <sub>T,WB</sub>					133,90 [W/(m²·K)]
H <sub>T'</sub> = H <sub>T,ges</sub> : A <sub>ges</sub>					0,36 [W/(m²·K)]

Bild 6. Beispielhafte Ermittlung des spezifischen Transmissionswärmeverlust H<sub>T'</sub>

Bei Wohngebäuden werden die Anforderungen an die Gebäudehülle über einen Höchstwert des spezifischen Transmissionswärmeverlust H<sub>T'</sub>, 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<sub>T'</sub>-Anforderungswert ergibt sich hierbei seit dem 1.1.2016 aus dem H<sub>T'</sub>-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<sub>T'</sub>-Wert gilt als Anforderungswert für das zu errichtende Gebäude, solange dieser H<sub>T'</sub>-Wert kleiner als der bis zum 31.12.2015 geltende gebäudespezifische H<sub>T'</sub>-Anforderungswert ist (z.B. freistehende Wohngebäude mit einer Gebäudenutzfläche A<sub>N</sub> ≤ 350 m²: H<sub>T'</sub> ≤ 0,40 W/(m²·K); Reihennendhaus: H<sub>T'</sub> ≤ 0,45 W/(m²·K); Reihennittenhaus H<sub>T'</sub> ≤ 0,65 W/(m²·K)). Ist der für die Referenzausführung berechnete H<sub>T'</sub>-Wert größer als die vorgenannten bis zum 31.12.2015 gelten-

den gebäudespezifischen H<sub>T'</sub>-Höchstwerte, gelten diese nach wie vor als H<sub>T'</sub>-Anforderungswert.

Bei der Berechnung des spezifischen Transmissionswärmeverlusts H<sub>T'</sub> 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<sub>T'</sub> 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<sub>T'</sub> 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	$1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$1,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Dachflächenfenster	$1,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$1,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Verglasungen	$1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	keine Anforderung
Vorhangfassaden	$1,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$1,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Glasdächer	$2,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$2,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Fenstertüren mit Klapp-, Falt-, Schiebe- oder Hebemechanismus	$1,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$1,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Außenliegende Fenster, Fenstertüren, Dachflächenfenster mit Sonderverglasungen	$2,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$2,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Sonderverglasungen	$1,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	keine Anforderung
Vorhangfassaden mit Sonderverglasungen	$2,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$3,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

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  $15 \text{ m}^2$  und  $50 \text{ m}^2$  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  $12,5^\circ\text{C}$  entspricht, einhalten müssen.

Die Bewertung des Mindestwärmeschutzes erfolgt anhand von Wärmebrückenberechnungen nach DIN EN

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

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

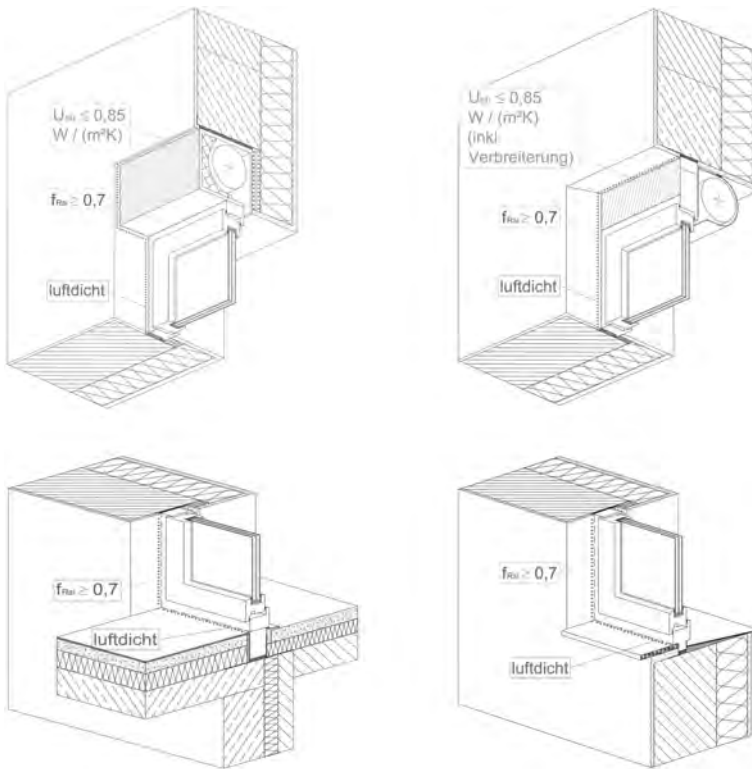
mit

$\theta_{si}$  [ $^\circ\text{C}$ ] Temperatur am Punkt der Innenoberfläche

$\theta_e$  [ $^\circ\text{C}$ ] Außenlufttemperatur

$\theta_{int}$  [ $^\circ\text{C}$ ] 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  $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ , ausgenommen Rollläden. An den sonstigen Außenbauteilen, auch bei den Rollläden, erfolgt die Berücksichtigung einer Behinderung des Wärmeübergangs über den Ansatz eines erhöhten raumseitigen Wärmeübergangswiderstands  $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ , 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  $R \geq 1,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$  aufweisen, was einem Wärmedurchgangskoeffizienten  $U = 0,85 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  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<sup>2</sup> 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<sup>2</sup>] Fensterfläche

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

$A_G$  [m<sup>2</sup>] 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  $a < 0,1 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot (\text{daPa})^{2/3})$  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 Festereinbau 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.

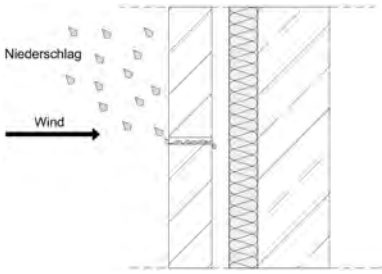
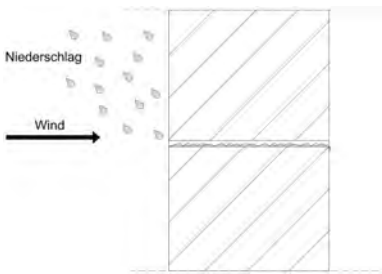
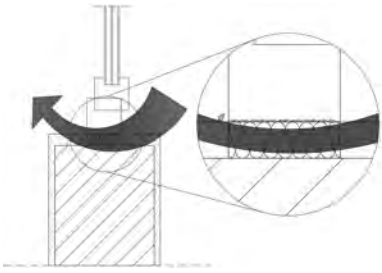
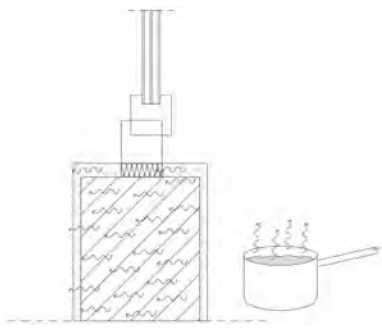
Aufgrund der unterschiedlichen Beanspruchungen auf Außenbauteile durch Schlagregen verlangt DIN 4108-3 [13], dass der Schlagregenschutz eines Gebäudes auch im Bereich von Fugen und Anschlüssen sichergestellt wird. Die Anschlussfuge zwischen Fenster bzw. Fenstertür und Außenwand weist hingegen Anforderungen 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 zuläs-



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"> <li>– z.B. hinterlüftete Fassadenverkleidung</li> <li>– Wasser muss durch konstruktive Maßnahmen definiert aus dem Bauteil abgeleitet werden</li> </ul>
			<p>Kapillarzug</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– z.B. stumpfer Stoß zweier Bauteile (schmale Fuge) in der Dichtebene</li> <li>– über Kapillarzug in die Konstruktion eingetragen</li> <li>– Kapillarfugen müssen deshalb im Außenbereich vermieden werden</li> </ul>
Einwirkung von Wasserdampf von der Raumseite			<p>Wasserdampfkonvektion</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Luftströmung von warm nach kalt mit Tauwasserbildung an kühleren Oberflächen über nicht abgedichtete oder undichte Fugen</li> </ul> <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"> <li>– bei Wasserdampfdruckunterschieden, entstehend durch das Differenzklima zwischen innen und außen</li> </ul> <p>Abhängig von</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Wasserdampfdiffusionswiderstand der Materialien</li> <li>– Dicke</li> <li>– vorhandenem Wasserdampfdruckunterschied im Vergleich zu Konvektionsvorgängen wesentlich träger</li> </ul>



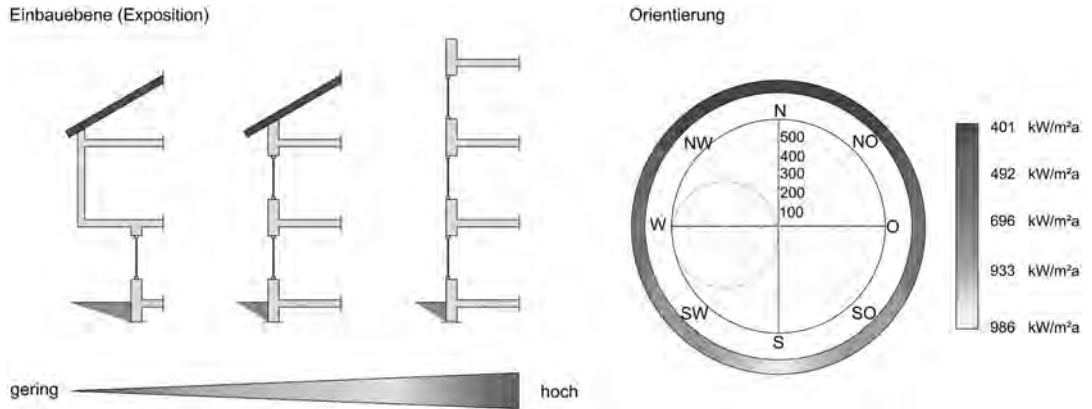


Bild 8. Übersicht der Regenbeanspruchung auf Fenster und Fenstertüren nach [3, 10]

### 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

$S_{ges} = \sum_{i=1}^n S_i$  [m²] Fläche des gesamten Bauteils  
 $S_i$  [m²] Fläche des i-ten Elements des Bauteils  
 $R_{w,R,i}$  [dB] 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

$S_1$  [m²] Fläche der Wand  
 $S_2$  [m²] Fläche des Fensters  
 $S_3$  [m²] Fläche des Rollladens  
 $R_{w,R,1}$  [dB] bewertetes Schalldämm-Maß der Wand  
 $R_{w,R,2}$  [dB] bewertetes Schalldämm-Maß des Fensters  
 $R_{w,R,3}$  [dB] 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

$R_{w,R}$  [dB] Rechenwert des bewerteten Schalldämm-Maßes  
 $D_{n,w,P}$  [dB] bewertete Norm-Schallpegeldifferenz, gemessen im Prüfstand  
 $A_0$  [m²] Bezugs-Absorptionsfläche 10 m²  
 $S_{Prü}$  [m²] 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. $R'_{w, res}$ 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. Stopfmaterien 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 Fugenabmessungen. 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]

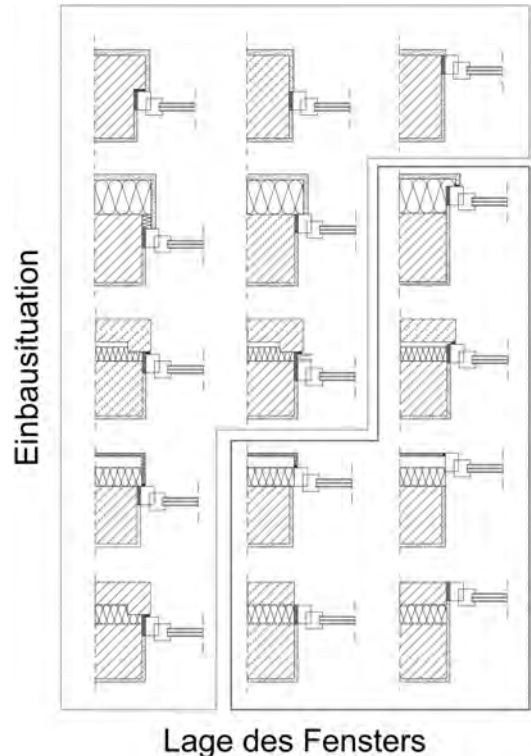
Ausbildung der Fuge	Fugenschalldämm-Maß $R_{STw}$ in dB bei Fugenbreite von	
	10 mm	20 mm
leere Fuge	15	10
Mineralfaser ausgestopft	35–45	30–40
PU-Montageschaum	≥ 50	≥ 47
komprimiertes Dichtungsband, Komprimierungsgrad ≤ 20 %, einseitig	≥ 40	–
komprimiertes Dichtungsband, Komprimierungsgrad ≤ 20 %, beidseitig	≥ 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 Zargenkonstruktionen, 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 außen-seitige 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 Lehm-mauerwerk	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)