

## Inhaltsverzeichnis

Vorwort III

Autor:innenverzeichnis XIX

### A Normen und Baustoffe

#### A 1 Eigenschaften und Eigenschaftswerte von Mauersteinen, Mauermörtel und Mauerwerk 1

Michael Raupach, Dorothea Saenger, Bernd Winkels

1	Einleitung	3	5.1	Allgemeines	8
2	Mauersteine	3	5.2	Haftscherfestigkeit	8
2.1	Festigkeitseigenschaften	3	5.3	Haftzug- und Biegehaftzugfestigkeit	9
2.1.1	Druckfestigkeit in Steinhöhe	3	6	Mauerwerk	10
2.1.2	Druckfestigkeit in Steinlänge und -breite	3	6.1	Allgemeines	10
2.1.3	Zug- und Spaltzugfestigkeit	3	6.2	Festigkeitseigenschaften	10
2.2	Verformungseigenschaften	4	6.2.1	Druckfestigkeit senkrecht zu den Lagerfugen	10
2.2.1	Elastizitätsmodul	4	6.2.2	Druckfestigkeit parallel zu den Lagerfugen	11
2.2.2	Querdehnungsmodul, Querdehnzahl	4	6.2.3	Zugfestigkeit	11
2.3	Kapillare Wasseraufnahme	5	6.2.4	Biegezugfestigkeit	13
3	Mauermörtel	6	6.2.5	Schubfestigkeit	13
3.1	Festigkeitseigenschaften	6	6.3	Verformungseigenschaften	14
3.1.1	Druckfestigkeit	6	6.3.1	Elastizitätsmoduln	14
3.1.2	Zugfestigkeit	6	6.3.2	Feuchtedehnung, Kriechen, Wärmedehnung	15
3.2	Längs- und Querdehnungsmodul	6		Literatur	15
4	Mauermörtel im Mauerwerk	6			
5	Verbund zwischen Mauerstein und Mauermörtel	8			

#### A 2 Neuentwicklungen im Mauerwerksbau mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ) bzw. mit allgemeiner Bauartgenehmigung (aBG) 17

Jennifer Gebhardt, Simon Gille

0	Allgemeines	19	5	Schalungsstein-Bauarten	52
0.1	Gesonderte Regelungen zu Schlitzfenstern	20	6	Trockenmauerwerk	52
0.1.1	Vertikale Schlitzfenster	20	7	Mauerwerk mit PU-Kleber	52
0.1.2	Horizontalschlitzfenster	20	8	Bewehrtes Mauerwerk	55
0.2	Weitere Allgemeine Bestimmungen und Anforderungen	20	9	Ergänzungsbauteile	56
1	Mauerwerk mit Normal- oder Leichtmauermörtel	20	10	Fertigbauteile	59
2	Mauerwerk mit Dünnbettmörtel	23	11	Betonelemente	59
3	Mauerwerk mit Mittelbettmörtel	49		Literatur	60
4	Vorgefertigte Wandtafeln	49			

#### A 3 Geltende Technische Regeln für den Mauerwerksbau (Deutsche, Europäische und Internationale Normen) (Stand 10.03.2023) 61

Benjamin Purkert

1	Vorbemerkung	63		Literatur	81
2	Regelwerk	64			

**B Gestaltung und Konstruktion (Neubau)****Roadmaps zur Klimaeffizienz****B 1 Der Weg der deutschen Kalksandsteinindustrie zur Klimaneutralität bis 2045 83**

Wolfgang Eden, Zakaria Istanbuly

- |     |   |    |     |                               |    |
|-----|---|----|-----|-------------------------------|----|
| 1   | Einleitung  | 85 | 4   | Recarbonatisierung            | 87 |
| 2   | Die Kalksandstein-Roadmap –<br>Betrachtung der drei Pfade | 85 | 4.1 | Pfade ohne Recarbonatisierung | 87 |
|     |   |    | 4.2 | Pfade mit Recarbonatisierung  | 87 |
| 2.1 | Der Referenzpfad  | 85 | 5   | Forderungen an die Politik    | 88 |
| 2.2 | Der Pionierpfad   | 85 | 6   | Recycling                     | 89 |
| 2.3 | Der Klimaneutralitätspfad                                 | 86 | 7   | Fazit                         | 89 |
| 3   | Ergebnisse  | 86 |     | Literatur                     | 89 |

**B 2 Roadmap für eine treibhausgasneutrale Ziegelindustrie in Deutschland 91**

Katharina Armbrrecht

- |     |  |    |     |  |     |
|-----|--|----|-----|--|-----|
| 1   | Vorbemerkung   | 93 | 7   | Exkurs: Recycling von Ziegeln                                  | 96  |
| 2   | Zielsetzung und Rahmen der<br>Roadmap 2050                         | 93 | 8   | Ausgewählte Ergebnisse des Klima-<br>neutralitätspfad (Pfad 3) | 97  |
| 3   | Scope  | 93 | 8.1 | Maßnahmen  | 97  |
| 4   | Ausgangspunkt und historische<br>Entwicklung                       | 94 | 8.2 | Entwicklung des Energieeinsatzes                               | 98  |
| 5   | Pfade  | 94 | 8.3 | Entwicklung der CO <sub>2</sub> -Emissionen                    | 98  |
| 6   | Kernergebnisse   | 94 | 8.4 | Entwicklung der energiebezogenen<br>Kosten                     | 99  |
| 6.1 | Relevante Maßnahmen und Verlauf<br>der CO <sub>2</sub> -Emissionen | 94 | 9   | Wesentliche Erkenntnisse                                       | 100 |
| 6.2 | Entwicklung energiebezogener Kosten                                | 96 | 10  | Externe Rahmenbedingungen                                      | 100 |
|     |  |    |     | Literatur  | 102 |

**B 3 Wege zu einer treibhausgasneutralen Porenbetonindustrie in Deutschland 103**

Torsten Schoch, Oliver Kreft, Hartmut Walther, Berit Straube

- |       |  |     |       |   |     |
|-------|--|-----|-------|---|-----|
| 1     | Einleitung   | 105 | 4     | Umweltproduktdeklarationen<br>und Ökobilanzen                 | 110 |
| 2     | Rohstoffe  | 105 | 4.1   | Umweltproduktdeklarationen gemäß<br>EN 15804:2012+A2:2019     | 110 |
| 2.1   | Aktueller Stand  | 105 | 4.2   | CO <sub>2</sub> in der EPD                                    | 110 |
| 2.2   | Ersatz von Hartbranntkalk durch<br>Mittelbrand   | 105 | 4.3   | Mechanismus der CO <sub>2</sub> -Rückbindung<br>in Porenbeton | 111 |
| 2.3   | Einsatz von Portlandkalksteinzement in<br>Kombination mit Mittelbranntkalk                 | 106 | 5     | Umweltbezogene Qualität von Gebäuden<br>aus Porenbeton        | 111 |
| 2.4   | Forschungsansatz für ein CO <sub>2</sub> -reduziertes<br>Bindemittel – Belit-Zementklinker | 106 | 5.1   | Einführung  | 111 |
| 2.4.1 | Belit-Zementklinker  | 106 | 5.2   | Bewertungssysteme   | 112 |
| 2.4.2 | Verfahren zur Herstellung von Belit-<br>Zementklinkern aus Altporenbeton                   | 108 | 5.3   | Ökobilanzierung (LCA) eines<br>Gebäudes                       | 112 |
| 2.4.3 | Verwendung von Belit-Zementklinker in<br>der Porenbetonproduktion                          | 108 | 5.4   | Die Bilanzierung  | 114 |
| 3     | Kreislaufwirtschaft von Porenbeton   | 108 | 5.4.1 | Allgemeines   | 114 |
| 3.1   | Prototypenentwicklung  | 108 | 5.5   | Ökobilanzdaten von Baustoffen                                 | 115 |
| 3.2   | Einsparpotenziale für Primär-<br>rohstoffe   | 109 | 5.6   | Die Herstellungsphase und Nutzungsphase<br>des Gebäudes       | 115 |
| 3.3   | Auswirkungen auf die Treibhausgas-<br>emissionen   | 109 | 5.7   | Die Entsorgungsphase  | 116 |
|       |  |     | 5.8   | Nachhaltigkeitszertifikat                                     | 117 |
|       |  |     |       | Literatur   | 118 |

**Geschosswohnungsbau/Kostengünstiges Bauen**

<b>B 4</b>	<b>Recarbonatisierung von zement- und kalkgebundenen Mauersteinen</b>	<b>121</b>	
	Ronald Rast, Sebastian Pohl		
1	Ausgangssituation: Wohnungsbedarf und Mauerwerksbau	123	5 Quantifizierung der Recarbonatisierung im Gebäudebestand
2	Ziele der Untersuchung	126	6 Fazit
3	Recarbonatisierung von Mauersteinen	126	Literatur
4	Ökobilanzen und CO <sub>2</sub> -Kreislauf	127	132
<b>B 5</b>	<b>Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG)</b>	<b>133</b>	
	Sebastian Pohl		
1	Einleitung und Kontext	135	3.2.3 Schadstoffvermeidung in Baumaterialien für Wohngebäude
2	Anforderungen von BEG und QNG im Überblick	136	3.2.4 Barrierefreiheit in Wohngebäuden
2.1	Grundidee und aktueller Status der Förderung	136	3.3 Besondere QNG-Anforderungen für Nichtwohngebäude
2.2	Die NH-Klasse und das QNG als Fördervoraussetzung	136	3.3.1 K.-o.-Benchmarks für Treibhausgas- und Primärenergie-Bilanz von Nichtwohngebäuden
3	Besondere QNG-Anforderungen im Fokus	142	3.3.2 Nachhaltige Materialgewinnung für die Errichtung von Nichtwohngebäuden
3.1	Vorbemerkungen	142	3.3.3 Schadstoffvermeidung in Baumaterialien für Nichtwohngebäude
3.2	Besondere QNG-Anforderungen für Wohngebäude	142	3.3.4 Barrierefreiheit in Nichtwohngebäuden
3.2.1	K.-o.-Benchmarks für Treibhausgas- und Primärenergie-Bilanz von Wohngebäuden	142	3.3.5 Naturgefahren am Standort von Nichtwohngebäuden
3.2.2	Nachhaltige Materialgewinnung für die Errichtung von Wohngebäuden	143	3.3.6 Gründächer bei Nichtwohngebäuden
			4 Zusammenfassung
			Literatur
			153
<b>B 6</b>	<b>Kostenoptimiertes Bauen im Wohnungsbau</b>	<b>155</b>	
	Dietmar Walberg		
1	Vorbemerkung	157	3 Rationelles Bauen – Kostenoptimiertes Bauen
2	Ausgangslage und Rahmenbedingungen für kostenoptimiertes Bauen und bezahlbaren Wohnraum	157	3.1 Grundlagen des kostenoptimierten Bauens
2.1	Aktuelle Kostenentwicklung; Baupreise, Bau(werks)kosten und Kostenstand im deutschen Wohnungsbau	157	3.2 Entwicklung der Produktivität im Bauhauptgewerbe
2.2	Materialpreise und Verfügbarkeit	160	3.3 Nachhaltigkeit der Konstruktionen
2.3	Gestehungskosten für den Wohnungsbau in deutschen (Groß-)Städten und Detailbetrachtung (Fortschreibung) am Beispiel der Freien und Hansestadt Hamburg	163	3.4 Rationalisierungspotenzial
2.4	Im Jahr 2017: Bauen für 1800 €/m <sup>2</sup> – Im Jahr 2022: 2800 €/m <sup>2</sup> !	166	3.5 Gebäudetyp „E“
			4 Possible Practice – Best Practice
			5 Fazit
			Literatur
			176

<b>B 7</b>	<b>Blauer Turm Bad Wimpfen</b>	<b>179</b>	
	Mark Böttges, Helmut Maus, Peter Kifinger		
1	Einleitung	181	
2	Baubeschreibung	181	
2.1	Hochmittelalterlicher Turmschaft	181	
2.2	Neugotischer Turmaufbau und Turmhelm	183	
3	Baugeschichte	183	
3.1	Baugeschichte I: Ursprungszustand und bauliche Entwicklung bis 1848	183	
3.1.1	Bauphase 1 (um 1200)	183	
3.1.2	Bauphase 2 (um 1450)	184	
3.1.3	Bauphase 3 (1674/75)	184	
3.2	Baugeschichte II: Der Brand 1848 und der folgende Wiederaufbau (Bauphase 4)	186	
3.3	Baugeschichte III: Die Schadensgeschichte des Blauen Turms	188	
3.3.1	Schäden und Maßnahmen 1852–1970	188	
3.3.2	Die statische Instandsetzung durch Klaus Pieper	190	
3.3.3	Wiederaufbau 1984 und weitere Schäden	190	
4	Schadensaufnahme und Bestandsuntersuchungen	191	
4.1	Schäden	191	
4.1.1	Risskartierung und Substanzschäden	191	
4.1.2	Verformungen	193	
4.2	Untersuchungen am Mauerwerk	196	
4.2.1	Kernbohrungen	196	
4.2.2	Bauteilöffnungen	196	
4.2.3	Mörteluntersuchung	199	
5	Schadensursachen	199	
5.1	Brandereignisse	199	
5.2	Mauerwerksaufbau	201	
5.3	Lasteinleitung	201	
5.4	Chemisch-mineralogische Prozesse	202	
6	Instandsetzungskonzept	203	
7	Versuchsreihen zur Instandsetzung	203	
7.1	Versuche zur Festigung des Kernmauerwerks	203	
7.2	Versuchsreihen zur Ermittlung der Tragfähigkeit des gerissenen Schalenmauerwerks	205	
8	Statische Berechnung	206	
8.1	Eingangswerte	206	
8.1.1	Ermittlung der rechnerisch ansetzbaren Schalenstärke	206	
8.1.2	Materialkennwerte des Füllmauerwerks	206	
8.1.3	Materialkennwerte des Schalenmauerwerks	206	
8.1.4	Sicherheitskonzept und zulässige Spannungen	207	
8.2	Spannungsverteilung im dreischaligen Mauerwerk	208	
8.2.1	Grenzwertbetrachtung 1: Ausnutzung der zulässigen Spannungen im Füllmauerwerk	209	
8.2.2	Grenzwertbetrachtung 2: Ausnutzung der zulässigen Spannungen im Schalenmauerwerk	209	
8.2.3	Parameterstudie zur Validierung der Spannungsverteilungen	209	
8.3	Baugrund und Gründung	212	
9	Ausführungsplanung und Ausführung	213	
9.1	Injektionsmaßnahmen	213	
9.2	Nadelanker	213	
9.3	Spannanker	215	
9.4	Steinaustausch, Umgang mit gerissenen Steinen und Neuverfugung	215	
9.5	Oberflächenbehandlung	216	
9.6	Bauablauf	216	
10	Baubegleitende Messungen und weiterführendes Monitoring	217	
10.1	Baubegleitende Überprüfung des Injektionserfolgs und der Festigkeit im Füllmauerwerk	217	
10.2	Baubegleitende Distanz- und Temperaturmessungen	218	
10.3	Weiterführendes Monitoring	219	
11	Zusammenfassung	220	
12	Projektbeteiligte	220	
	Literatur	221	
<b>C</b>	<b>Konstruktive Details (Bauphysik)</b>		
<b>C 1</b>	<b>Ausführung von Mauerwerkskonstruktionen</b>	<b>223</b>	
	Dieter Figge		
1	Allgemeines	225	
2	Grundsätzliche Planungs- und Konstruktionsregeln	225	
2.1	Normen und Merkblätter	225	
2.2	Einflüsse auf die Dauerhaftigkeit des Mauerwerks	225	
2.2.1	Mikroumweltbedingungen	225	
2.2.2	Klimafaktoren (Makroumweltbedingungen)	227	

2.2.3	Aggressive chemische Umgebungen	227	4.2.1	Anwendungsbereich und Anforderungen	250
2.3	Auswahl der Baustoffe	228	4.2.2	Befestigungen an angrenzende Bauteile	254
2.3.1	Mauersteine	228	4.2.3	Regeln für die schadensfreie Ausführung	254
2.3.2	Mauermörtel	228	5	Schlitze/Durchbrüche	255
2.4	Mauerwerk	228	5.1	Planen	255
2.4.1	Verarbeitung von Mauersteinen und Mauermörtel	228	5.2	Nachträgliches Herstellen von Schlitzen	255
2.4.2	Grundsätzliches zu Mauerwerks-Verbänden	229	6	Ausführung von Mauerwerk und Tipps für die Baustelle	256
2.4.3	Bewährte Regeln/Normmaße	230	6.1	Prüfungspflicht	256
2.4.4	Anschlüsse	231	6.2	Mischkonstruktionen	256
2.4.5	Dehnungsfugen	234	6.3	Vollfugigkeit	256
2.4.6	Toleranzen	236	6.4	Nachbehandlung und Schutz des Mauerwerks während der Bauausführung	256
3	Außenwände	236	6.4.1	Allgemeines	256
3.1	Dämmung von Außenwänden	236	6.4.2	Schutz gegen Regen	256
3.2	Sichtmauerwerk/Verblendmauerwerk	237	6.4.3	Schutz gegen Frost-Tau-Wechsel	258
3.2.1	Tragende Außenwände mit Sichtmauerwerk als Verbandsmauerwerk	237	6.4.4	Schutz gegen Austrocknung	258
3.2.2	Verblend- oder Vormauerschale bei zweischaligem Außenmauerwerk	238	6.4.5	Schutz vor mechanischer Beschädigung	258
3.2.3	Ausbildung der Mauerwerksfugen	238	6.4.6	Bauhöhe des Mauerwerks	259
3.3	Anschlussdetails und Abdichtungen	240	6.5	Zulässige Abweichungen	259
3.3.1	Dachanschluss	240	6.6	Aussteifung während der Herstellung	259
3.3.2	Deckenaufleger	240	6.7	Erddruck auf Kelleraußenwände	259
3.3.3	Stürze	242	6.8	Lieferungskontrolle und Prüfungen	260
3.3.4	Fenster- und Türanschlüsse	244	7	Hinweise zur Ausschreibung und Vergabe	261
3.3.5	Gesimse, Sohlbänke, Abdeckungen	245	7.1	Notwendige Vorgaben	261
3.3.6	Fußpunkte im Erd- und im Kellergeschoss	247	7.2	Leistungsbeschreibung	261
4	Innenwände	248	7.3	Vergabe	261
4.1	Tragende Innenwände	249		Literatur	261
4.1.1	Anforderungen	249			
4.1.2	Anschlüsse	249			
4.2	Nichttragende Innenwände	250			
<b>C2</b>	<b>Mauerwerkinstandsetzung durch Verpressanker</b>	<b>263</b>			
	Birger Gigla				
1	Einführung	265	4	Bemessung von Verpressankern	274
2	Begriffe	265	4.1	Stand der Wissenschaft	274
2.1	Verpressanker im Mauerwerk	265	4.2	Versagensarten	276
2.2	Verbundfestigkeit und Ankerwiderstand	266	4.3	Maßgebende Einflussfaktoren	277
2.3	Erhaltung des kulturellen Erbes: Denkmalschutz und Denkmalverträglichkeit	267	4.3.1	Ankerstab	277
3	Bauweise von Verpressankern im Mauerwerk	268	4.3.2	Eigenschaften der Verpresssuspension	278
3.1	Anforderungen	268	4.3.3	Druckfestigkeit des Verpresskörpers	280
3.2	Bohrungen	270	4.3.4	Umgebendes Steinmaterial	281
3.3	Ankerstäbe	270	4.3.5	Vergleich zwischen Verpressankern und Stahlbetonbewehrung	283
3.4	Korrosionsschutz	270	4.3.6	Auflasten	284
3.5	Einbau der Ankerstäbe	271	4.3.7	Witterungseinfluss	285
3.6	Verpresskörper	271	4.4	Bemessungswerte der Verbundfestigkeit	286
3.7	Verpressen	272	5	Entwurf und Berechnung	287
3.8	Weiterentwicklungen und Bauprodukte für Verpressanker	273	5.1	Voruntersuchungen	287
			5.2	Voraussetzungen für die Anwendung von Verpressankern	287

5.3 Wahl der Ankergeometrie und des Ankersystems 288  
 5.4 Erforderliche Nachweise 288  
 5.5 Bemessungsbeispiele 289  
 5.5.1 Ankerzugkraft in monolithischem Postaer Sandstein 289  
 5.5.2 Instandsetzung von Bruchsteinmauerwerk aus Granit 290

5.5.3 Abdeckung von Schub im Ziegelmauerwerk 290  
 6 Qualitätssicherung 291  
 7 Zusammenfassung 296  
 Literatur 296

**C3 Befestigungen im Mauerwerksbau 299**

Jürgen H.R. Küenzlen, Eckehard Scheller, Rainer Becker, Thomas Kuhn, Thorsten Immel

<p>1 Einleitung 303              1.1 Allgemeines 303              1.2 Eine reale Kommunikation zum Thema Dübel im privaten Umfeld 303              1.3 Dübeltechnik für Profis 304              2 Baurecht 306              2.1 Allgemeines 306              2.2 Sicherheitsrelevante und nicht sicherheitsrelevante Befestigungen 306              2.3 Bauaufsichtlich relevante und nicht bauaufsichtlich relevante Befestigungen 306              2.4 Bauaufsichtlich relevanter Bereich 307              2.4.1 Allgemeines 307              2.4.1.1 Deutschland 307              2.4.1.2 Europa 308              2.4.2 Verwendbarkeitsnachweis 308              2.4.2.1 Allgemeines 308              2.4.2.2 CE-Kennzeichnung 308              2.4.2.3 Ü-Zeichen 309              2.4.2.4 Bauprodukte ohne Ü-Zeichen oder CE-Kennzeichnung 309              2.4.2.5 Technische Baubestimmungen und allgemein anerkannte Regeln der Technik 309              2.4.2.6 Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) 309              2.4.2.7 Europäische Technische Bewertung (ETA) 309              2.4.2.8 Zustimmung im Einzelfall (ZiE) 310              2.4.2.9 Allgemeine (aBG) und vorhabenbezogene Bauartgenehmigung (vBG) 311              2.5 Bauaufsichtlich nicht relevanter Bereich 312              3 Verankerungsgrund – Worin soll befestigt werden? 312              3.1 Allgemeines 312              3.2 Bestimmung des Verankerungsgrunds auf der Baustelle 312              3.2.1 Bestimmung des Verankerungsgrunds anhand von Bauunterlagen 312              3.2.2 Bestimmung des Verankerungsgrunds ohne Bauunterlagen mittels Probebohrung 313</p>	<p>4 Verankerungsgrund Mauerwerk im Detail 316              4.1 Allgemeines 316              4.1.1 Mauersteine 316              4.1.2 Vermörtelte und unvermörtelte Fugen 316              4.2 Mauersteine 317              4.2.1 Mauerziegel: Vollziegel und Hochlochziegel 317              4.2.2 Kalksandsteine: Kalksandvollsteine und Kalksandlochsteine 318              4.2.3 Leichtbetonsteine: Vollblöcke und Hohlblöcke 319              4.2.4 Porenbetonsteine 320              4.2.5 Mauersteine aus Normalbeton: Vollblöcke und Hohlblocksteine 320              4.3 Nachträglich gedämmte Untergründe 320              4.4 Zweischalige Wandkonstruktionen: Zweischaliges Mauerwerk 322              5 Umgebung – Welche äußeren Einflüsse liegen vor? 323              5.1 Allgemeines 323              5.2 Temperatur 324              5.3 Brand 325              5.4 Korrosion 326              5.4.1 Hinweise in den „Zulassungen“ für Dübel 326              5.4.2 Ergänzende und weiterführende Informationen 326              6 Bauteilabmessungen – Wo wird der Dübel montiert? 326              6.1 Definition wichtiger Begriffe und Maße im Bereich der Dübeltechnik 326              6.2 (Mindest-)Bauteildicke 327              6.3 Randabstand (c) 327              6.3.1 Minimaler Randabstand (<math>c_{min}</math>) 327              6.3.2 Charakteristischer Randabstand (<math>c_{cr}</math>) 327              6.4 Achsabstand (s) 328              6.5 Regelungen für zugelassene Kunststoffdübel 328              7 Anbauteil bzw. Ankerplatte – Was soll befestigt werden? 329              7.1 Allgemeines 329              7.2 Anbauteile bzw. Ankerplatten in der Theorie 329</p>
---	--

7.3	Lagerung des Anbauteils	330	10	Bemessung	349
7.3.1	Allgemeines	330	11	Montage	350
7.3.2	Statisch bestimmte Lagerung des Anbauteils – Einzelbefestigung	331	11.1	Monteure: „Geschultes Personal“	350
7.3.3	Statisch unbestimmte Lagerung des Anbauteils – Mehrfachbefestigung	332	11.2	Bohrer – Bohren – Bohrlochreinigung	350
7.3.3.1	Allgemeines	332	11.2.1	Allgemeines	350
7.3.3.2	Unterscheidung tragender und nichttragender Systeme	333	11.2.2	Bohrverfahren	351
7.3.3.3	Steifigkeit des zu befestigenden Anbauteils	334	11.2.3	Bohrlochreinigung	351
7.3.3.4	Beanspruchungen für Mehrfachbefestigungen	334	11.2.3.1	Allgemeines	351
7.3.4	Zusammenfassung mit einem Beispiel	335	11.2.3.2	Bohrlochreinigung für Kunststoffdübel	352
7.4	Durchgangslöcher im Anbauteil	335	11.2.3.3	Bohrlochreinigung für Injektionssysteme	352
7.5	Montagearten	336	11.2.4	Fehlbohrungen	353
7.6	Anbauteile bzw. Ankerplatten in der Praxis	336	11.3	Temperatur – Montagezeit – Aushärtezeit	353
8	Einwirkungen – Welche Belastungen treten bei der Befestigung auf?	337	11.4	Montageprotokoll	354
8.1	Allgemeines	337	12	Typische Fehler und was man anders bzw. besser machen kann	354
8.2	Belastungsrichtungen (Belastungsweise)	338	12.1	Allgemeines	354
8.3	Beanspruchungen (Belastungsarten)	338	12.2	Umgebung – Korrosion	354
8.4	Bemessung ist Aufgabe des Planers!	339	12.3	Bauteil-Geometrie: Rand- und Achsabstände	355
8.5	Beanspruchungen an einem Beispiel	339	13	Versuche am Bauwerk	356
8.5.1	Allgemeines	339	13.1	Einleitung	356
8.5.2	Statisches System	340	13.2	Verantwortlichkeiten	356
8.5.3	Eigengewicht – Eigenlast	340	13.3	Technische Regel Durchführung und Auswertung von Versuchen am Bau	357
8.5.4	Verkehrslasten	341	13.4	Anwendungsbereiche	357
8.5.5	Einwirkungen auf die Dübel infolge des Eigengewichts und der Verkehrslasten	341	13.5	Bedingungen für Achs- und Randabstände	358
8.5.6	Ermüdungsrelevante Belastungen	342	13.6	Handeln „im Rahmen der Zulassung“	358
8.5.6.1	Allgemeines	342	13.7	Praxistipps	359
8.5.6.2	Beispiel Klimmzugstange	342	13.7.1	Ort der Prüfungen	359
8.5.7	Fazit	343	13.7.2	Prüfvorrichtung	359
9	Dübel-Systeme – Welche Systeme stehen zur Verfügung?	343	13.7.3	Versuchsergebnisse	361
9.1	Vorbemerkung	343	13.7.4	Aufgabendrennung	361
9.2	Kunststoffdübel	343	14	Zusammenfassung – Wie löst man die Befestigungsaufgabe?	362
9.3	Metall-Injektionsanker zur Verankerung im Mauerwerk	346		Literatur	362
9.4	Dübel-Systeme zur Verankerung im Porenbeton	348			
<b>C4</b>	<b>Befestigung absturzsichernder Fenster</b>	<b>367</b>			
	Jürgen H.R. Küenzlen, Eckehard Scheller, Hermann Hamm, Rainer Becker, Thomas Kuhn				
1	Einleitung	371	2.4	DIN 18008, Teil 4 – Zusatzanforderungen an absturzsichernde Verglasungen	374
2	Aktuelle Regelungen für die Befestigung von absturzsichernden Fensterelementen	372	2.5	ETB-Richtlinie – Bauteile, die gegen Absturz sichern	374
2.1	Allgemeines	372	2.5.1	Allgemeines und Einbaubereiche	374
2.2	Zusammenfassung auf der Internetseite des DIBt	372	2.5.2	Horizontale, statische Lasten	374
2.3	Musterbauordnung (MBO) und Landesbauordnungen (LBOen)	373	2.5.3	Stoßartige Belastung	374
			2.6	Leitfaden zur Planung und Ausführung der Montage von Fenstern und Haustüren für den Neubau und Renovierung	375

- 3 Baurechtliche Grundlagen für die Befestigung am Bauwerk 376
- 3.1 Allgemeines 376
- 3.2 Grundlagen für den statischen Nachweis 376
- 4 Beispiele für Produkte mit „Zulassung“ 377
- 4.1 Allgemeines 377
- 4.2 Absturzsichernde Fensterelementbefestigung (W-ABZ) 377
- 4.3 AMO-Combi Schraube mit Kunststoff-Dübelhülse W-UR 10 XS oder W-UR 10 XXL 379
- 4.4 Befestigungssystem BS 100 zur lastabtragenden und absturzsichernden Befestigung von Anbauteilen an Fensterrahmenprofilen 380
- 5 Nachweisführung für die Befestigung 381
- 5.1 Nachweis der horizontalen Nutzlast (Holmlast) 381
- 5.1.1 Lastannahmen für horizontale Nutzlasten (Holmlasten) 381
- 5.1.2 Überlagerung von horizontaler Nutzlast (Holmlast) und Windlast 382
- 5.2 Nachweis der stoßartigen Belastung 383
- 5.2.1 Allgemeines 383
- 5.2.2 Anordnung der Befestigungspunkte zur Aufnahme der stoßartigen Belastung 383
- 5.2.3 Rechnerischer Nachweis 384
- 5.2.4 Nachweis durch Versuche 384
- 5.3 Mehrfachbefestigung von absturzsichernden Fensterelementen 384
- 5.3.1 Im Allgemeinen: Mehrfachbefestigung von nichttragenden Systemen 384
- 5.3.2 Im Besonderen: Mehrfachbefestigung von absturzsichernden Fensterelementen 385
- 5.4 Überleitung zu den Praxisbeispielen 1 und 2 387
- 6 Praxisbeispiel 1 – Befestigung eines bodentiefen absturzsichernden Fensterelements mit Festverglasung mit einem Direktbefestiger 387
- 6.1 Allgemeine Hinweise 387
- 6.2 Zusammenstellung der erforderlichen Ausgangsdaten 388
- 6.3 Einwirkungen 388
- 6.3.1 Stoßartige Lasten nach ETB-Richtlinie (Außergewöhnliche Einwirkung) 388
- 6.3.2 Windlasten 389
- 6.3.3 Horizontale Nutzlast in ideeller Holmhöhe 389
- 6.3.4 Last aus 90° geöffnetem Fensterflügel 390
- 6.4 Ermittlung der maßgebenden Querkräfte für Befestigungspunkt (7) bzw. (8) für das zu untersuchende Dübel-System 390
- 6.4.1 Lastfall 1: Stoßartige Lasten 390
- 6.4.2 Lastfall 2: Windsoglast 390
- 6.4.3 Lastfall 3: Winddrucklast 390
- 6.4.4 Lastfall 4: Horizontale Nutzlast in ideeller Holmhöhe 390
- 6.4.5 Lastfall 5: Überlagerung horizontale Nutzlast plus Windsoglast 390
- 6.4.6 Übersicht der maßgebenden Querkräfte für das Praxisbeispiel 1 391
- 6.5 Statische Nachweise für Glied 4 der Nachweiskette: Befestigung des Fensterrahmens mit dem Direktbefestiger im Mauerwerk 391
- 6.5.1 Nachweis Lastfall 1: Stoßartige Lasten 392
- 6.5.2 Nachweis Lastfall 5: Überlagerung horizontale Nutzlast (Holmlast) plus Windsog (nach außen wirkend) 392
- 6.6 Fazit 392
- 7 Praxisbeispiel 2 – Befestigung eines bodentiefen absturzsichernden Fensterelements mit Festverglasung mit einer Fenstermontageschiene – Nachweis der „Mehrfachbefestigung“ oder durch Versuche 392
- 7.1 Allgemeine Hinweise 392
- 7.2 Zusammenstellung der erforderlichen Ausgangsdaten 392
- 7.3 Einwirkungen 393
- 7.3.1 Stoßartige Lasten nach ETB-Richtlinie (Außergewöhnliche Einwirkung) 393
- 7.3.2 Windlasten 393
- 7.3.3 Horizontale Nutzlast 393
- 7.4 Ermittlung der maßgebenden Querkräfte für Befestigungspunkt (7) bzw. (8) für das zu untersuchende Dübel-System 394
- 7.4.1 Lastfall 1: Stoßartige Lasten 394
- 7.4.2 Lastfall 2: Windsoglast 394
- 7.4.3 Lastfall 3: Horizontale Nutzlast in ideeller Holmhöhe 394
- 7.4.4 Lastfall 4: Überlagerung horizontale Nutzlast plus Windsoglast 394
- 7.4.5 Übersicht der maßgebenden Querkräfte für das Praxisbeispiel 2 394
- 7.5 Statische Nachweise für Glied 4 der Nachweiskette: Verbindung Fensterrahmen mit Fenstermontageschiene W-ABZ 394
- 7.6 Statische Nachweise für Glied 5 der Nachweiskette: Fenstermontageschiene W-ABZ 395
- 7.6.1 Nachweis Lastfall 1: Stoßartige Lasten 395
- 7.6.2 Nachweis Lastfall 4: Überlagerung horizontale Nutzlast plus Windsog (nach außen wirkend) 395
- 7.7 Statische Nachweise für Glied 6 der Nachweiskette: Befestigung der W-ABZ mit Kunststoffdübel in Mauerwerk 395
- 7.7.1 Nachweis Lastfall 1: Stoßartige Lasten 395
- 7.7.1.1 ETB-Last 2,8 kN 395
- 7.7.1.2 Lösungsmöglichkeit a): Nachweis einer „Mehrfachbefestigung“ 395

7.7.1.3	Lösungsmöglichkeit b): Nachweis durch Versuche	397	8.4.6	Lastfall 6: Last aus 90° geöffnetem Fensterflügel	404
7.7.2	Nachweis Lastfall 4: Überlagerung horizontale Nutzlast plus Windsog (nach außen wirkend)	398	8.4.7	Übersicht der maßgebenden Kräfte für das Praxisbeispiel 3	404
7.8	Fazit	398	8.5	Statische Nachweise für Glied 2 der Nachweiskette: Unmittelbare Glasbefestigung/Glaslagerung des Fenstergeländers in Befestigungspunkt (7) und (8)	404
8	Praxisbeispiel 3 – Befestigung eines bodentiefen absturzsichernden Fensterelements mit Drehkipplügel und auf dem Fensterrahmen aufgeschraubtem Fenstergeländer	399	8.5.1	Nachweis Lastfall 1: Stoßartige Lasten	404
8.1	Allgemeine Hinweise	399	8.5.2	Nachweis Lastfall 3 auf Grundlage abZ/aBG: Horizontale Nutzlasten	405
8.1.1	Ansatz 1	400	8.5.3	Nachweis Lastfall 5 auf Grundlage abZ/aBG: Eigengewicht aus Glasgeländer Typ BG015	405
8.1.2	Ansatz 2	400	8.5.4	Nachweis Lastfall 3 und Lastfall 5 auf Grundlage Systemstatik	405
8.2	Zusammenstellung der erforderlichen Ausgangsdaten	400	8.6	Statische Nachweise für Glied 3 der Nachweiskette: Verbindung des Geländers mit dem Fensterrahmen mit dem Befestigungssystem BS 100 in Befestigungspunkt (7) und (8)	407
8.3	Einwirkungen	401	8.7	Statische Nachweise für Glied 5 der Nachweiskette: Befestigung des Fensterrahmens mit dem Direktbefestiger im Mauerwerk	407
8.3.1	Stoßartige Lasten nach ETB-Richtlinie (Außergewöhnliche Einwirkung)	401	8.7.1	Nachweis Lastfall 1: Stoßartige Lasten	407
8.3.2	Windlasten	401	8.7.2	Nachweis Lastfall 4: Überlagerung horizontale Nutzlast plus Windsoglast (für Ansatz 2) für die Befestigungspunkte (7) und (8)	407
8.3.3	Horizontale Nutzlast	401	8.7.3	Nachweis Lastfall 5: 90° öffentlicher Fensterflügel für die Befestigungspunkte (1) und (11)	407
8.3.4	Eigengewicht aus Glasgeländer Typ BG015	402	9	Zusammenfassung	408
8.3.5	Last aus 90° geöffnetem Fensterflügel	402		Literatur	408
8.4	Ermittlung der maßgebenden Schnittkräfte für Befestigungspunkt (7) bzw. (8) sowie (1) und (11)	402		Anhang	410
8.4.1	Lastfall 1: Stoßartige Lasten	402			
8.4.2	Lastfall 2: Windsoglast	403			
8.4.2.1	Ansatz 1	403			
8.4.2.2	Ansatz 2	403			
8.4.3	Lastfall 3: Horizontale Nutzlast in ideeller Holmhöhe	403			
8.4.4	Lastfall 4: Überlagerung horizontale Nutzlast plus Windsoglast (für Ansatz 2)	403			
8.4.5	Lastfall 5: Eigengewicht aus Glasgeländer Typ BG015	403			

**D Mauerwerk im Bestand**

**D 1 Nachhaltigkeitsbewertung von Wohngebäuden** 415  
Birger Gigla

1	Einleitung: Nachhaltigkeit und „einfacher Wohnungsbau“	417	4	Grundlagen der Ökobilanzierung (LCA)	427
2	Ziele am Beispiel des Wiederaufbaus der Frauenkirche Dresden – Urban Mining und ressourcenschonende Tragwerksplanung	418	4.1	Ziele	427
3	Grundlagen und Begriffe	420	4.2	Funktionelle Einheit und Referenzfluss	428
3.1	Politische Ziele und aktueller Stand	420	4.3	Nutzungsdauer RSL und ESL	428
3.2	Nachhaltigkeitsbewertung	421	4.4	Typ III Umweltproduktdeklaration (EPD)	429
3.3	Bundespolitische Maßnahmen (LFNB, BNB und QNG)	425	4.5	ÖKOBAUDAT und eLCA	431
3.4	Ressourceneffizienz und „Urban Mining“	427	4.6	Produktkategorieregeln (PCR)	431
			4.7	Wirkungsabschätzung (LCIA)	432
			4.8	Alllokation	434

5	Nachhaltigkeitsbewertung von Wohngebäuden 434	5.4	Einfluss der Betriebsphase 437
5.1	Ökobilanzierungsregeln und Beispiel 434	6	Zusammenfassung 439
5.2	Berechnungsbeispiel 435		Literatur 439
5.3	Bewertung auf Gebäudeebene 436		
<b>D 2</b>	<b>Bauwerksdiagnostik als Grundlage für Sanierungskonzepte historischer Eisenbahngewölbebrücken 443</b>		
	Conrad Pelka, Erik Meichsner, Sven Unger, Johanna Monka-Birkner, Steffen Marx		
1	Einleitung 447	5	Bestands- und Zustandserfassung vor Ort 464
2	Errichtung historischer Eisenbahngewölbebrücken 447	5.1	Vorbemerkungen 464
2.1	Bogenformen 448	5.2	Bestandsbauwerk Ilmtalviadukt 465
2.2	Stein und Mörtel 448	5.3	Vor-Ort-Untersuchungen 466
2.3	Gewölbeberechnung 448	5.3.1	Zugänglichkeit 466
2.4	Die Betrachtung von Eisenbahnbrücken veränderte sich 449	5.3.2	Mauerwerkskonstruktionen 466
2.5	Gelenke im Massivbrückenbau 449	5.3.3	Fahrbahnwanne 468
2.6	Abdichtung 449	5.3.4	Probenübergabe und Ergebnisaufbereitung 468
2.7	Gerüste 450	5.4	Erfahrungen aus dem Projekt 469
3	Dokumentation und erste Beurteilung auf Grundlage der Regelinspektion 450	6	Ermittlung der Materialparameter 469
3.1	Grundsätze der Inspektion von Ingenieurbauwerken im Eisenbahnverkehr (DB Netz AG) für Brückenbauwerke 450	6.1	Einführende Betrachtungen 469
3.1.1	Ziel und Nutzen der Inspektion 450	6.2	Materialparameter für die Bewertung der Tragfähigkeit 469
3.1.2	Dokumentation 451	6.3	Statistische Aspekte 471
3.1.3	Art und Umfang der Inspektion 451	6.4	Mechanische/physikalische Materialparameter 472
3.1.4	Befund 451	6.4.1	Naturstein 472
3.1.5	Verantwortung und fachliche Qualifikation 451	6.4.2	Ziegelstein 478
3.1.6	Inspektionsfristen und Maßnahmen nach der Inspektion 451	6.4.3	Mörtel 479
3.2	Inspektion am Beispiel einer historischen Eisenbahngewölbebrücke 452	6.4.4	Mauerwerksverbund 482
3.2.1	Ort und Lage des Bauwerks 452	6.5	Beispiel 482
3.2.2	Bestandsdokumente und Ist-Zustand 452	7	Bewertung und Diagnostik – Ableitung von Sanierungskonzepten 483
3.2.3	Soll-Zustand 457	7.1	Weg einer ressourcenschonenden Generalsanierung 483
3.2.4	Ableitung weiterführender Maßnahmen 457	7.2	Gewölbebrückenerfassung und -kategorisierung sowie erste Schadenszuordnung 484
3.3	Bewertung auf der Grundlage der Regelinspektion 458	7.2.1	Gewölbebrückenerfassung und -kategorisierung 484
4	Bauwerksdiagnostik (Stufe 1) 458	7.2.2	Erste Zuordnung von augenscheinlichen Schäden 485
4.1	Projektbezogene Untersuchungsplanung für die Bestands- und Zustandserfassung 458	7.2.3	Zuordnung von Einwirkungen zu Schadensbildern 485
4.1.1	Bestandsbauwerk/Bestandsdokumente 458	7.3	Ableitung von Sanierungskonzepten 490
4.1.2	Orientierende Bauwerksbesichtigung 459	7.3.1	Vorbereitungen der Bestandsstruktur 490
4.2	Untersuchungsplan 461	7.3.2	Rückenabdichtung nach Stand der Technik mit Sanierung der historischen Mauerwerksstruktur und Erneuerung des Dichtungs- und Entwässerungssystems 492
4.2.1	Lage der Untersuchungsbereiche, Kernbohrungen und Schürfen 462	7.3.3	Randbalkenergänzung mit Mauerwerksanierung und Erneuerung des Dichtungs- und Entwässerungssystems 493
4.3	Randbedingungen für die Untersuchung 462		
4.4	Erfahrungen aus dem Projekt 464		

- |       |   |       |   |
|-------|---|-------|---|
| 7.3.4 | Sanieren bei Abriss von Stirnwänden und Stirnringrissen sowie Erneuerung des Dichtungs- und Entwässerungssystems 494                      | 7.3.7 | Innenschale aus Spritzbeton (tragend oder nicht tragend), nur bei funktionierender oder erneuerter Bauwerksdichtung und -entwässerung 497 |
| 7.3.5 | Fahrbahnplatten mit oberliegendem Dichtungs- und Entwässerungssystem sowie Sanierung der geschädigten historischen Mauerwerksstruktur 494 | 8     | Zusammenfassung und Ausblick 499  |
| 7.3.6 | Tragende Innenschale aus Stahlbeton, nur bei funktionierender oder erneuerter Bauwerksdichtung und -entwässerung 496                      | 9     | Dank 500<br>Literatur 501   |

## E Forschung

### E 1 Übersicht über abgeschlossene und laufende Forschungsvorhaben im Mauerwerksbau 505 Jonathan Schmalz, Simon Gille, Jennifer Gebhardt

- |       |   |        |   |
|-------|---|--------|---|
| 1     | Laufende Forschungsvorhaben 508   | 1.2.7  | REALight – Leichtgranulate und REA-Gips aus feinkörnigen sulfatbelasteten Bau- und Abbruchabfällen und industriellen Nebenprodukten 515       |
| 1.1   | Übersicht der Forschungsvorhaben 508  | 1.2.8  | Entwicklung eines innovativen Ansatzes zur Entkopplung von Ausfachungen und nichttragenden Trennwänden aus Mauerwerk von der Tragstruktur 519 |
| 1.2   | Kurzberichte 508  | 1.2.9  | Entwicklung eines vereinfachten rechnerischen Nachweisverfahrens zum Feuerwiderstandsverhalten von Ziegel-Mauerwerk 521                       |
| 1.2.1 | Nachweis von Gebäuden aus Ziegelmauerwerk mit geringen Auflastniveaus 508   | 1.2.10 | Untersuchung des Feuerwiderstands von teilflächenbelastetem monolithischem Ziegelmauerwerk 525  |
| 1.2.2 | Verhalten von Stahlbetonrahmen mit entkoppelten Mauerwerksausfachungen und Öffnungen unter seismischen Einwirkungen 509                                 | 1.2.11 | Stampflehm-Mauerwerk 526  |
| 1.2.3 | Bewertung flexibler und gleitender Anschlüsse für die erdbebensichere Auslegung von Stahlbetonrahmen-tragwerken mit Mauerwerksausfachungen (FLEJOI) 512 | 2      | Abgeschlossene Forschungsvorhaben 528   |
| 1.2.4 | Seismische Leistungsfähigkeit eines resilienten Gebäudes aus Leichtbeton (ECORE – Earthquake efficient, Concrete, Resilient) 513                        | 2.1    | Übersicht der Forschungsvorhaben 528  |
| 1.2.5 | Entwicklung dissipativer Elemente zur Entkopplung und Sicherung von nichttragenden Wänden in Geschossbauten (DEMAS) 513                                 | 2.2    | Kurzberichte 528  |
| 1.2.6 | Entwicklung eines neuen Bemessungsansatzes für Mauerwerksbauten unter seismischen Horizontallasten 514  | 2.2.1  | Verbesserung der Energieeffizienz und Reaktivität durch separate Mahlung von Ziegelbrechsand für den Einsatz in Portlandpuzzolanementen 528   |
|       |   | 2.2.2  | Experimentelle Untersuchungen des Einflusses geringer Auflasten auf das Schubtragverhalten von Ziegelmauerwerk 533                            |

### Stichwortverzeichnis 537