

## Inhaltsübersicht

### A Normen und Baustoffe

- A 1 Eigenschaften und Eigenschaftswerte von Mauersteinen, Mauer Mörtel und Mauerwerk 1  
Michael Raupach, Dorothea Saenger, Bernd Winkels
- A 2 Neuentwicklungen im Mauerwerksbau mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ) bzw. mit allgemeiner Bauartgenehmigung (aBG) 17  
Jennifer Gebhardt, Simon Gille
- A 3 Geltende Technische Regeln für den Mauerwerksbau (Deutsche, Europäische und Internationale Normen) (Stand 10.03.2023) 61  
Benjamin Purkert

### B Gestaltung und Konstruktion (Neubau)

#### Roadmaps zur Klimaeffizienz

- B 1 Der Weg der deutschen Kalksandsteinindustrie zur Klimaneutralität bis 2045 83  
Wolfgang Eden, Zakaria Istanbuly
- B 2 Roadmap für eine treibhausgasneutrale Ziegelindustrie in Deutschland 91  
Katharina Armbrrecht
- B 3 Wege zu einer treibhausgasneutralen Porenbetonindustrie in Deutschland 103  
Torsten Schoch, Oliver Kreft, Hartmut Walther, Berit Straube
- #### Geschosswohnungsbau/Kostengünstiges Bauen
- B 4 Recarbonatisierung von zement- und kalkgebundenen Mauersteinen 121  
Ronald Rast, Sebastian Pohl
- B 5 Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG) 133  
Sebastian Pohl
- B 6 Kostenoptimiertes Bauen im Wohnungsbau 155  
Dietmar Walberg
- B 7 Blauer Turm Bad Wimpfen 179  
Mark Böttges, Helmut Maus, Peter Kifinger

### C Konstruktive Details (Bauphysik)

- C 1 Ausführung von Mauerwerkskonstruktionen 223  
Dieter Figge
- C 2 Mauerwerkinstandsetzung durch Verpressanker 263  
Birger Gigla
- C 3 Befestigungen im Mauerwerksbau 299  
Jürgen H.R. Küenzlen, Eckehard Scheller, Rainer Becker, Thomas Kuhn, Thorsten Immel
- C 4 Befestigung absturzsichernder Fenster 367  
Jürgen H.R. Küenzlen, Eckehard Scheller, Hermann Hamm, Rainer Becker, Thomas Kuhn

VI Inhaltsübersicht

---

**D Mauerwerk im Bestand**

- D 1 Nachhaltigkeitsbewertung von Wohngebäuden 415  
Birger Gigla
- D 2 Bauwerksdiagnostik als Grundlage für Sanierungskonzepte  
historischer Eisenbahngewölbebrücken 443  
Conrad Pelka, Erik Meichsner, Sven Unger, Johanna Monka-Birkner, Steffen Marx

**E Forschung**

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

## 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	Elastizitätsmoduln	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 Querdehnungsmoduln	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			

VIII Inhaltsverzeichnis

**B Gestaltung und Konstruktion (Neubau)**

**Roadmaps zur Klimaeffizienz**

**B 1 Der Weg der deutschen Kalksandsteinindustrie zur Klimaneutralität bis 2045 83**  
Wolfgang Eden, Zakaria Istanbulu

1	Einleitung 85	4	Recarbonatisierung 87
2	Die Kalksandstein-Roadmap – Betrachtung der drei Pfade 85	4.1	Pfade ohne Recarbonatisierung 87
2.1	Der Referenzpfad 85	4.2	Pfade mit Recarbonatisierung 87
2.2	Der Pionierpfad 85	5	Forderungen an die Politik 88
2.3	Der Klimaneutralitätspfad 86	6	Recycling 89
3	Ergebnisse 86	7	Fazit 89
			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 Roadmap 2050 93	8	Ausgewählte Ergebnisse des Klima- neutralitätspfad (Pfad 3) 97
3	Scope 93	8.1	Maßnahmen 97
4	Ausgangspunkt und historische 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 Kosten 99
6.1	Relevante Maßnahmen und Verlauf 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 und Ökobilanzen 110
2	Rohstoffe 105	4.1	Umweltproduktdeklarationen gemäß 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 Hartbrandkalk durch Mittelbrand 105	4.3	Mechanismus der CO <sub>2</sub> -Rückbindung in Porenbeton 111
2.3	Einsatz von Portlandkalksteinzement in Kombination mit Mittelbrandkalk 106	5	Umweltbezogene Qualität von Gebäuden aus Porenbeton 111
2.4	Forschungsansatz für ein CO <sub>2</sub> -reduziertes 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- Zementklinkern aus Altporenbeton 108	5.3	Ökobilanzierung (LCA) eines Gebäudes 112
2.4.3	Verwendung von Belit-Zementklinker in 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- rohstoffe 109	5.6	Die Herstellungsphase und Nutzungsphase des Gebäudes 115
3.3	Auswirkungen auf die Treibhausgas- 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>	121		
	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		
<b>B 5</b>	<b>Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG)</b>	133		
	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
<b>B 6</b>	<b>Kostenoptimiertes Bauen im Wohnungsbau</b>	155		
	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

## X Inhaltsverzeichnis

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

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	Schlitz/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>C 2</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

XII Inhaltsverzeichnis

5.3	Wahl der Ankergeometrie und des Ankersystems 288	5.5.3	Abdeckung von Schub im Ziegelmauerwerk 290
5.4	Erforderliche Nachweise 288	6	Qualitätssicherung 291
5.5	Bemessungsbeispiele 289	7	Zusammenfassung 296
5.5.1	Ankerzugkraft in monolithischem Postaer Sandstein 289		Literatur 296
5.5.2	Instandsetzung von Bruchsteinmauerwerk aus Granit 290		
<b>C3</b>	<b>Befestigungen im Mauerwerksbau 299</b>		
	Jürgen H.R. Küenzlen, Eckehard Scheller, Rainer Becker, Thomas Kuhn, Thorsten Immel		
1	Einleitung 303	4	Verankerungsgrund Mauerwerk im Detail 316
1.1	Allgemeines 303	4.1	Allgemeines 316
1.2	Eine reale Kommunikation zum Thema Dübel im privaten Umfeld 303	4.1.1	Mauersteine 316
1.3	Dübeltechnik für Profis 304	4.1.2	Vermörtelte und unvermörtelte Fugen 316
2	Baurecht 306	4.2	Mauerziegel 317
2.1	Allgemeines 306	4.2.1	Mauerziegel: Vollziegel und Hochlochziegel 317
2.2	Sicherheitsrelevante und nicht sicherheitsrelevante Befestigungen 306	4.2.2	Kalksandsteine: Kalksandvollsteine und Kalksandlochsteine 318
2.3	Bauaufsichtlich relevante und nicht bauaufsichtlich relevante Befestigungen 306	4.2.3	Leichtbetonsteine: Vollblöcke und Hohlblöcke 319
2.4	Bauaufsichtlich relevanter Bereich 307	4.2.4	Porenbetonsteine 320
2.4.1	Allgemeines 307	4.2.5	Mauersteine aus Normalbeton: Vollblöcke und Hohlblocksteine 320
2.4.1.1	Deutschland 307	4.3	Nachträglich gedämmte Untergründe 320
2.4.1.2	Europa 308	4.4	Zweischalige Wandkonstruktionen: Zweischaliges Mauerwerk 322
2.4.2	Verwendbarkeitsnachweis 308		
2.4.2.1	Allgemeines 308	5	Umgebung – Welche äußeren Einflüsse liegen vor? 323
2.4.2.2	CE-Kennzeichnung 308	5.1	Allgemeines 323
2.4.2.3	Ü-Zeichen 309	5.2	Temperatur 324
2.4.2.4	Bauprodukte ohne Ü-Zeichen oder CE-Kennzeichnung 309	5.3	Brand 325
2.4.2.5	Technische Baubestimmungen und allgemein anerkannte Regeln der Technik 309	5.4	Korrosion 326
2.4.2.6	Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) 309	5.4.1	Hinweise in den „Zulassungen“ für Dübel 326
2.4.2.7	Europäische Technische Bewertung (ETA) 309	5.4.2	Ergänzende und weiterführende Informationen 326
2.4.2.8	Zustimmung im Einzelfall (ZiE) 310	6	Bauteilabmessungen – Wo wird der Dübel montiert? 326
2.4.2.9	Allgemeine (aBG) und vorhabenbezogene Bauartgenehmigung (vBG) 311	6.1	Definition wichtiger Begriffe und Maße im Bereich der Dübeltechnik 326
2.5	Bauaufsichtlich nicht relevanter Bereich 312	6.2	(Mindest-)Bauteildicke 327
3	Verankerungsgrund – Worin soll befestigt werden? 312	6.3	Randabstand (c) 327
3.1	Allgemeines 312	6.3.1	Minimaler Randabstand ( $c_{min}$ ) 327
3.2	Bestimmung des Verankerungsgrunds auf der Baustelle 312	6.3.2	Charakteristischer Randabstand ( $c_{cr}$ ) 327
3.2.1	Bestimmung des Verankerungsgrunds anhand von Bauunterlagen 312	6.4	Achsabstand (s) 328
3.2.2	Bestimmung des Verankerungsgrunds ohne Bauunterlagen mittels Probebohrung 313	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



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	Aufgabentrennung	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>C 4</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

XIV Inhaltsverzeichnis

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

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° geöffneter 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			
<b>D Mauerwerk im Bestand</b>					
<b>D 1</b>	<b>Nachhaltigkeitsbewertung von Wohngebäuden</b>	<b>415</b>			
	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	Allokation	434

XVI Inhaltsverzeichnis

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</b> 443				
	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			

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

**E Forschung**

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

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

**Stichwortverzeichnis 537**

