

Inhaltsverzeichnis Teil 1

Vorwort III

Autor:innenverzeichnis XVII

I Beton 1

Frank Dehn, Udo Wiens

1	Einführung und Definition	5	4	Junger Beton	54
1.1	Allgemeines	5	4.1	Bedeutung und Definition	54
1.2	Definition	5	4.2	Hydratationswärme	54
1.3	Klassifizierung von Beton	7	4.3	Verformungen	54
1.3.1	Betonarten	7	4.4	Dehnfähigkeit und Rissneigung	55
1.3.2	Betonklassen	7	4.5	Bestimmung der Festigkeit von jungem Beton	56
1.3.3	Betonfamilie	10	5	Lastunabhängige Verformungen	57
2	Ausgangsstoffe	10	5.1	Allgemeines	57
2.1	Zement	10	5.2	Temperaturdehnung	57
2.1.1	Arten und Zusammensetzung	10	5.3	Schwinden	58
2.1.2	Bautechnische Eigenschaften	14	5.3.1	Ursachen	58
2.1.3	Bezeichnung, Lieferung und Lagerung	17	5.3.2	Mathematische Beschreibung	60
2.1.4	Anwendungsbereiche	18	6	Festigkeit und Verformung von Festbeton	61
2.1.5	Zemehydratation	22	6.1	Strukturmerkmale	61
2.1.6	Der Zementstein	22	6.2	Druckfestigkeit	61
2.2	Gesteinskörnungen für Beton	24	6.2.1	Spannungszustand und Bruchverhalten von Beton bei Druckbeanspruchung	61
2.2.1	Allgemeines	24	6.2.2	Einflüsse auf die Druckfestigkeit	62
2.2.2	Art und Eigenschaften des Gesteins	25	6.2.2.1	Ausgangsstoffe und Betonzusammensetzung	62
2.2.3	Schädliche Bestandteile	26	6.2.2.2	Erhärtungsbedingungen und Reife	63
2.2.4	Kornform und Oberfläche	30	6.2.2.3	Prüfeinflüsse	66
2.2.5	Größtkorn und Kornzusammensetzung	31	6.2.3	Festigkeitsklassen	67
2.3	Betonzusatzmittel	33	6.3	Zugfestigkeit	68
2.3.1	Definition	33	6.3.1	Bruchverhalten und Bruchenergie	68
2.3.2	Arten von Betonzusatzmitteln	33	6.3.2	Einflüsse auf die Zugfestigkeit	69
2.3.3	Anwendungsregeln für Betonzusatzmittel	36	6.3.3	Zentrische Zugfestigkeit	69
2.4	Betonzusatzstoffe	37	6.3.4	Biegezugfestigkeit	69
2.4.1	Definitionen	37	6.3.5	Spaltzugfestigkeit	69
2.4.2	Inerte Stoffe und Pigmente	38	6.3.6	Verhältniswerte für Druck- und Zugfestigkeit	70
2.4.3	Puzzolanische Stoffe	38	6.4	Festigkeit bei mehrachsiger Beanspruchung	71
2.4.4	Latent-hydraulische Stoffe	43	6.5	Spannungs-Dehnungsbeziehungen	71
2.4.5	Kunststoffdispersionen	44	6.5.1	Elastizitätsmodul und Querdehnzahl	72
2.4.6	Fasern	44	6.6	Einfluss der Zeit auf Festigkeit und Verformung	73
2.5	Zugabewasser	44	6.6.1	Die zeitliche Entwicklung von Druckfestigkeit und Elastizitätsmodul	73
3	Frischbeton und Nachbehandlung	45	6.6.2	Verhalten bei Dauerstandsbeanspruchung	74
3.1	Allgemeine Anforderungen	45	6.6.3	Zeitabhängige Verformungen	74
3.2	Mehlkorngehalt	45	6.6.3.1	Definitionen	74
3.3	Rohdichte und Luftgehalt	46			
3.4	Verarbeitbarkeit und Konsistenz	46			
3.5	Transport und Einbau	48			
3.6	Entmischen	50			
3.7	Nachbehandlung	51			
3.7.1	Nachbehandlungsarten	51			
3.7.2	Dauer der Nachbehandlung	52			
3.7.3	Zusätzliche Schutzmaßnahmen	53			

6.6.3.2	Kriechverhalten von Beton	75	10.2.7	Selbstverdichtender Konstruktions-	
6.6.3.3	Vorhersageverfahren	77		leichtbeton	120
6.6.4	Verhalten bei dynamischer Beanspruchung	78	10.3	Porenbeton	120
6.6.5	Ermüdung	79	10.4	Haufwerksporiger Leichtbeton	121
7	Dauerhaftigkeit	83	11	Faserbeton	122
7.1	Überblick über die Umweltbedingungen, Schädigungsmechanismen und Mindestanforderungen	84	11.1	Allgemeines	122
7.2	Widerstand gegen das Eindringen aggressiver Stoffe	89	11.2	Zusammenwirken von Fasern und Matrix	123
7.3	Korrosionsschutz der Bewehrung im Beton	90	11.2.1	Ungerissener Beton	123
7.3.1	Allgemeine Anforderungen	90	11.2.2	Gerissener Beton	124
7.3.2	Karbonatisierung	91	11.3	Fasern	130
7.3.3	Eindringen von Chloriden	93	11.3.1	Stahlfasern	130
7.4	Frostwiderstand und Frost-Taumittel-Widerstand	95	11.3.2	Glasfasern	130
7.5	Widerstand gegen chemische Angriffe	97	11.3.3	Organische Fasern	131
7.6	Verschleißwiderstand	98	11.3.3.1	Kunststofffasern (Polymerfasern)	131
7.7	Feuchtigkeitsklassen nach DAFStb-Alkali-Richtlinie	98	11.3.3.2	Kohlenstofffasern	132
8	Selbstverdichtender Beton	99	11.3.3.3	Fasern natürlicher Herkunft – Zellulosefasern	133
8.1	Allgemeines	99	11.4	Zusammensetzung	133
8.2	Mischungsentwurf	99	11.4.1	Beton	133
8.3	Frischbetonprüfverfahren an Mörtel	101	11.4.2	Fasern	133
8.4	Prüfungen am Beton	101	11.5	Eigenschaften	134
8.5	Eigenschaften	104	11.5.1	Verhalten bei Druckbeanspruchung	134
9	Sichtbeton	104	11.5.2	Verhalten bei Zugbeanspruchung und bei Biegebeanspruchung	134
9.1	Einführung	104	11.5.3	Verhalten bei Querkraft- und Torsionsbeanspruchung	135
9.2	Planung und Ausschreibung	104	11.5.4	Verhalten bei Explosions-, Schlag- und Stoßbeanspruchung	135
9.3	Betonzusammensetzung und Betonherstellung	105	11.5.5	Kriechen und Schwinden	135
9.4	Einbau und Nachbehandlung	106	11.5.6	Dauerhaftigkeit	136
9.4.1	Schalung und Trennmittel	106	11.5.7	Frost- und Taumittel-Widerstand	136
9.4.2	Ausführung und Nachbehandlung	107	11.5.8	Verhalten bei hoher Temperatur	136
9.5	Beurteilung	107	11.5.9	Verschleißwiderstand	137
9.6	Mängel und Mängelbeseitigung	107	11.6	Normen und Grundlagen	137
9.6.1	Sichtbetonmängel	107	12	Ultrahochfester Beton	137
9.6.2	Mängelbeseitigung bei Sichtbeton	109	13	Carbonbeton	137
9.6.3	Architektonisch bedeutsame Bausubstanz	109	14	Betone unter Verwendung von Geopolymeren und alkalisch-aktivierten Bindemitteln	139
9.7	Sonder-Sichtbetone	110	15	Nachhaltigkeit im Betonbau	140
10	Leichtbeton	110	15.1	Einführung	140
10.1	Einführung und Überblick	110	15.2	Nachhaltigkeitsbewertung	142
10.2	Konstruktionsleichtbeton nach DIN EN 1992-1-1	111	15.3	Klinkereffiziente Zemente	142
10.2.1	Grundlegende Eigenschaften	111	15.4	Ökobetone	143
10.2.2	Leichte Gesteinskörnung	112	15.5	Neue Bindemittel	144
10.2.3	Betonzusammensetzung	113	16	Betonrecycling	144
10.2.4	Herstellung, Transport und Verarbeitung	115	16.1	Allgemeines	144
10.2.5	Festbetonverhalten von Konstruktionsleichtbeton	116	16.2	Rezyklierte Gesteinskörnungen aus Betonbruch	145
10.2.6	Zur Planung von Bauwerken aus Konstruktionsleichtbeton	119	16.3	Betonbrechsande als Bindemittelkomponente	146
			16.4	Frischbetonrecycling	147
			17	Numerische Simulation des Betonverhaltens	147

-
- 18 Normative Entwicklungen und neue Richtlinien 149
 - 18.1 Die neue Normenreihe DIN 1045 – Weiterentwicklung der Betonbauqualität (BBQ) 149
 - 18.1.1 Einführung 149
 - 18.1.2 Die Betonbauqualität hat Priorität für alle Baubeteiligten 150
 - 18.1.3 Differenzierte Regelungen und prozessübergreifende Kommunikation 150
 - 18.1.4 Gliederung der neuen Normenreihe DIN 1045 151
 - 18.1.5 Klasseneinteilung nach DIN 1045-1000 152
 - 18.1.6 Fazit 152

 - II Klima- und ressourcenschonendes Bauen mit Beton 177**
 Christian Glock, Michael Haist, Konrad Bergmeister, Klaus Voit, Dries Beyer, Michael Heckmann, Timo Hondl, Johannes Hron, Fabian Kaufmann, Andreas Pürgstaller, Tobias Schack

 - 1 Einführung 181
 - 2 Ressourcenverbrauch, Abfallaufkommen und Ansätze zur Kreislaufwirtschaft 182
 - 2.1 Einleitung 182
 - 2.2 Sachstand 183
 - 2.3 Ressourcenverbrauch international in Hinblick auf Verfügbarkeit von Sand, Kies 184
 - 2.3.1 Produktion anthropogener Massen 184
 - 2.3.2 Herstellung von Gesteinskörnungen 185
 - 2.3.3 Ressourcenverbrauch bei der Zement- und Betonproduktion 188
 - 2.3.4 Verknappung natürlicher Ressourcen 189
 - 2.4 Abfallaufkommen 189
 - 2.5 Recycling 190
 - 2.5.1 Bauwerke als Rohstofflager – Urban Mining 190
 - 2.5.2 Verwertungsqualität 190
 - 2.5.3 Rechtlicher Rahmen des Baustoffrecyclings 191
 - 2.5.4 Betonrecycling 191
 - 2.6 Tunnelausbruchmaterial in der Kreislaufwirtschaft 192
 - 3 Potenziale zur Klima- und Ressourcenschonung im Bauwesen 193
 - 3.1 Einleitung 193
 - 3.2 Effiziente Strukturen und Prozesse 193
 - 3.2.1 Arbeitsproduktivität und Fragmentierung im Bauwesen 194
 - 3.2.2 Planungsprozess 195
 - 3.2.3 Ganzheitliche Planungs- und Bauprozesse 195
 - 3.3 Optimierung von Entwurf, Tragwerk und Bauteilen 196
 - 3.3.1 Architektur und Entwurf 197
 - 3.3.2 Bauweise und Tragwerk 197
 - 3.3.3 Bauteile 198
 - 3.4 Bedarfsgerechter Einsatz von Baumaterialien 199
 - 3.4.1 Beton 200
 - 3.4.2 Stahl und Betonstahl 200
 - 3.4.3 Vergleich massiver Baustoffe 201
 - 3.4.4 Biotische Baustoffe 202
 - 3.4.5 Nichtmetallische Bewehrung 203
 - 3.5 Bestandserhalt durch Um- und Weiternutzung 205
 - 3.5.1 Weiternutzung von Bestandsbauwerken und ganzer Bauteile 206
 - 3.5.2 Weiterverwendung rezyklierter Baustoffe 207
 - 3.6 Verlängerung der Nutzungsdauer 207
 - 3.7 Überlegungen zu einem Grenzzustand der Ressourcenverträglichkeit 208
 - 3.8 Fokussierung der Forschung und Lehre 210
 - 3.8.1 Weiterentwicklung Forschung 210
 - 3.8.2 Weiterentwicklung Lehre 211
 - 4 Rechtliche und normative Grundlagen für Recyclingbeton in DACH 212
 - 4.1 Gesetzliche Grundlagen 212
 - 4.2 Normen und Richtlinien 213
 - 4.2.1 Regeln zur Anwendung rezyklierter Gesteinskörnung für die Betonherstellung 213
 - 4.2.2 Deutschland 214
 - 4.2.3 Österreich 215
 - 4.2.4 Schweiz 216
 - 5 Zusammensetzung und Aufbereitung von rezyklierter Gesteinskörnung 218
 - 5.1 Allgemeines 218
 - 5.2 Abbruch und Rückbau von Bauwerken 218

5.3	Aufbereitung von Abbruchmaterial	219	8.1.1	Aktuelle Grundlagen und Methodik	239
5.3.1	Grundsätzliches	219	8.1.2	Datensätze	241
5.3.2	Vorabsiebung	220	8.1.3	Bedeutung der Systemgrenze	241
5.3.3	Zerkleinerung	221	8.1.4	Bewertung der Ökobilanz	242
5.3.4	Sortieren und Klassieren	221	8.2	Analyse aktueller Hemmnisse	243
5.3.5	Aktivierung des Zementsteins	222	8.2.1	Struktur zur Vergütung von Planung und Bau	243
6	Umwelt- und ressourceneffiziente Betone	222	8.2.2	Normen, Richtlinien und Zulassungen	243
6.1	Grundsätze zur Herstellung umwelt- und ressourceneffizienter Betone	222	8.2.3	Förderpraxis	245
6.2	Anforderungen an klima- und ressourcenschonende Betone	223	8.3	Lösungsansätze zur Reduktion der Hemmnisse	246
6.3	Potenziale für eine klima- und ressourcenschonende Betonindustrie und ihre Wirkung	226	8.3.1	Integration von Planung, Bau und Betrieb	246
6.3.1	Potenziale auf der Bindemittellebene	226	8.3.2	Ökologische und wirtschaftliche Anreizsysteme	247
6.3.2	Potenziale auf der Gesteinskornenebene (z. B. durch Einsatz rezyklierter Gesteinskörnungen)	228	9	Schlussfolgerungen – „Update des Betriebssystems“ Bauen	250
6.4	CO ₂ und Ressourcenschutz im Transportbetonwerk – Beispiel Deutschland	231	9.1	Helfen Digitalisierung und Automatisierung beim klima- und ressourceneffizienten Planen und Bauen?	250
6.5	Klima- und Ressourcenoptimierung durch digitale Produktionsregelungsmethoden	234	9.2	Brauchen wir zur Erzielung der Klima- und Ressourceneffizienz neue Formen der Projektabwicklung?	251
7	Recycling und Kreislaufwirtschaft bei Bewehrungsmaterialien	236	9.3	Wie kann die Nutzungsdauer des Gebäudebestandes maximiert werden?	252
7.1	Einführung	236	9.4	Wie gelingt über zielgerichtete Forschung und zeitgemäße Lehre ein schneller Wissenstransfer?	252
7.2	Abbruch und Trennung	236	9.5	Kann ein Nachweis zur Klimaverträglichkeit hilfreich sein?	254
7.3	Recycling von Stahlbewehrung	237	9.6	Führen geänderte Anreizstrukturen zu effizienterer Planung?	254
7.4	Recycling von nichtmetallischer Bewehrung	237		Literatur	255
8	Hemmnisse für nachhaltiges Bauen sowie Lösungsansätze	239			
8.1	Ökobilanzierung – Grundlagen und offene Fragen	239			

III Hochhausbau in der Praxis 267

Hubert Bachmann, Roger Schmitt, Jürgen Wacker, Alexander Berger, Simon Ruppert

1	Allgemeines	271	2.2.2	Globale Windlasten: Windböenerregung, Buffeting	283
1.1	Einführung	271	2.2.3	Dynamische resonante Lasten infolge wirbelerregter Querschwingungen (Wirbelresonanzschwingungen)	287
1.2	Kontext	272	2.2.4	Nutzerbehaglichkeit (Windinduzierte Beschleunigungen)	288
1.3	Literatur	272	2.2.5	Lokale Windbeanspruchung kleinflächiger Fassadenbauteile	290
1.4	Warum hoch hinaus?	273	2.2.6	Einflussfaktor Gebäudeform	292
1.5	Architektur und Gestaltung	274	2.2.7	Einflussfaktor Benachbarte Hochhäuser, Hochhausgruppen	293
1.6	Ingenieuraufgabe Hochhaus	276	2.2.8	Windkanalversuche	294
2	Lastannahmen	277	2.2.9	Windkanaluntersuchungen versus numerische Strömungssimulationen (CFD)	296
2.1	Vertikale Lasten und Imperfektion	277	2.2.10	Messungen des Schwingungsverhaltens (Vor-Ort-Messungen)	297
2.1.1	Eigengewicht	277			
2.1.2	Ausbau Decken	278			
2.1.3	Fassaden	278			
2.1.4	Nutzlasten	279			
2.1.5	Techniklasten	279			
2.1.6	Imperfektion	279			
2.2	Windlasten und windinduzierte Bauwerksreaktionen	280			
2.2.1	Grundsätzliches, Übersicht	281			

2.2.11	Schwingungstilger (TMD)	299	4	Schnittstellen zum Tragwerk	341
2.3	Erdbeben	301	4.1	Fassade	341
2.3.1	Situation in Deutschland	301	4.2	Ausbau	342
2.3.2	Modales Antwortspektrenverfahren	302	4.3	Toleranzen	342
2.3.3	Eigenform und -frequenz	303	4.4	Stützenstauchung	343
2.3.4	Duktilität	303	4.5	Setzungen	347
3	Tragwerk	305	4.6	Interstory-Drift	347
3.1	Entwurfskriterien	305	4.7	Zusammenfassung	347
3.2	Berechnungsmethoden	308	5	Ausführung	349
3.2.1	Modellbildung	308	5.1	Baulogistik	349
3.2.2	Steifigkeiten	309	5.1.1	Besonderheiten	349
3.2.3	Endzustand vs. Bauzustand	309	5.1.2	Krane	349
3.2.4	Grenzbetrachtungen	310	5.1.3	Bauaufzüge	351
3.2.5	Modalanalyse	311	5.1.4	Betonförderung	351
3.2.6	3D-Modellierung	312	5.1.5	Brandschutz im Bauzustand	352
3.3	Decken	312	5.1.6	Ver- und Entsorgungslogistik	353
3.3.1	Variantenstudie	312	5.1.7	Absturzsicherungen/Witterungsschutz	353
3.3.2	Entscheidungsfindung	314	5.1.8	Winterbaubeheizung	354
3.4	Stützen	315	5.2	Geschosstakt	354
3.4.1	Stahlbeton-Stützen	316	5.2.1	Hochhauskern	355
3.4.2	Hochfester Betonstahl	316	5.2.2	Decken	355
3.4.3	Stahlverbund	318	5.2.3	Stützen	358
3.4.4	Stützenstoß	320	5.3	Betontechnologien	358
3.4.5	Betonfertigteilstützen	321	5.4	Schalungstechniken	359
3.4.6	Primärstützen Deckelbauweise	322	5.4.1	Konventionelle Wandschalungssysteme	359
3.4.7	Schräge Stützen	323	5.4.2	Selbstkletternde Schalungssysteme	359
3.5	Wände	324	5.4.2.1	Innenklettern Kernaußenwände	361
3.5.1	Ortbetonwände	325	5.4.2.2	Bühnentechnik	362
3.5.2	Fertigteile	326	5.4.3	Vorauskletternde Schalungssysteme	363
3.5.3	Koppelriegel	327	5.4.4	Gleitschalungstechnik	365
3.6	Tragsysteme Aussteifung	328	5.5	Vermessungstechnik	365
3.6.1	Kernsysteme	330	6	Ausblick, neue Technologien	366
3.6.2	Kernsysteme mit Outrigger	333	6.1	Nachhaltigkeit im Fokus	366
3.6.3	Kellerkasten	338	6.2	Hybride Konstruktionen	366
3.7	Gründung	339		Literatur	367
3.7.1	Baugrube	339			
3.7.2	Flachgründung	340			
3.7.3	Bohrpfahlgründung	340			
3.7.4	Kombinierte Pfahl-Platten-Gründung (KPP)	340			
3.7.5	Auftrieb	340			

IV Nachhaltige Gründungen im Hoch- und Ingenieurbau – die Kombinierte Pfahl-Plattengründung (KPP) als wirksames Instrumentarium zur CO₂-Reduktion 371

Steffen Leppla, Sebastian Fischer, Rolf Katzenbach

1	Einleitung	373	3	Kombinierte Pfahl-Plattengründung	380
2	Grundlagen	373	3.1	Trag- und Verformungsverhalten	381
2.1	Baugrund-Tragwerk-Interaktion	373	3.2	Tiefgründungselemente	382
2.2	Baugrunderkundung gemäß DIN EN 1997	375	3.3	Herstellung von Tiefgründungselementen	384
2.2.1	Baugrunderkundungsprogramm	376	3.4	Berechnungsmethoden	385
2.2.2	Umfang der Baugrunderkundung bei Gründungen	377	3.5	Geotechnische Nachweisführung	385
2.2.3	Umfang der Baugrunderkundung bei Baugruben	378	3.5.1	Grundlagen	385
2.3	Vier-Augen-Prinzip	378	3.5.2	Nachweis der Tragfähigkeit (ULS)	386
2.4	Beobachtungsmethode	379	3.5.3	Nachweis der Gebrauchstauglichkeit (SLS)	387

3.5.4	Pfahlprobebelastungen	387	6.4	KPP mit exzentrischer Belastung	408
3.5.4.1	Grundlagen	387	6.4.1	Gebäudekomplex DZ-Bank in Frankfurt am Main	408
3.5.4.2	Beispiel	388	6.4.2	Gebäudekomplex American Express in Frankfurt am Main	409
3.6	KPP-Richtlinie	391	6.4.3	Büroturm Japan Center in Frankfurt am Main	410
3.7	Messtechnische Überwachung einer KPP	391	6.4.4	Bürokomplex Kastor und Pollux in Frankfurt am Main	411
3.8	Gewährleistung der Sicherheit, Qualität und Nachhaltigkeit	391	6.4.5	Büroturm Sony Center in Berlin	413
4	Geothermisch aktivierte Gründungssysteme	392	6.5	KPP in Kombination mit Deckelbauweise	413
4.1	Physikalische Grundlagen	393	6.6	Hochhausgründung neben S-Bahn-Tunnel in setzungsaktivem Baugrund	416
4.2	Massivabsorber	393	6.7	Spezialgründung auf der Rheinalgrabenrandverwerfung	417
4.3	Dimensionierung und Nachweisführung	394	6.8	Hochhausgründung in Hanglage	418
4.4	Herstellung und konstruktive Durchbildung	394	6.9	Horizontal belastete KPP	420
4.5	Energiepfahlanlage eines innerstädtischen Großbauprojekts	396	6.10	CO ₂ -Reduktion durch den Einsatz von Kombinierten Pfahl-Plattengründungen (KPP)	422
5	Wiedernutzung von Bestandsgründungen	398	6.10.1	CO ₂ -Reduktion beim Messeturm, Frankfurt am Main	422
5.1	Zielstellung der Wiedernutzung	398	6.10.2	CO ₂ -Reduktion beim Taunusturm, Frankfurt am Main	422
5.2	Geotechnische Nachweisführung	398	6.10.3	CO ₂ -Reduktion beim Skytower der Europäischen Zentralbank (EZB), Frankfurt am Main	422
5.3	Notwendige Untersuchungen	399	6.10.4	CO ₂ -Reduktion beim City Tower, Offenbach am Main	423
5.4	Wiedernutzung bestehender Gründungen – Beispiele aus der Ingenieurpraxis	399	6.10.5	CO ₂ -Reduktion beim Mirax Plaza Tower A, Kiew, Ukraine	423
5.4.1	Reichstag in Berlin	399		Literatur	423
5.4.2	Hessischer Landtag in Wiesbaden	401			
6	Beispiele	402			
6.1	Hochhausgründung im Standardfall	402			
6.2	KPP in nichtbindigem Baugrund	403			
6.3	KPP in setzungsaktivem, bindigem Baugrund	405			
V	Nachträglich eingemörtelte Bewehrungsstäbe	429			
	Werner Fuchs				
1	Einleitung	431	6.2	Vorschriften für die Bewertung/Qualifizierung von Verankerungsmörteln	444
2	Verankerungsmörtel	431	6.2.1	EAD 330087-02-0601	444
2.1	Allgemeines	431	6.2.2	EAD 332402-00-0601	446
2.2	Bestandteile	432	6.2.3	EN 1504-6	454
2.3	Montage der nachträglich zu setzenden Bewehrungsstäbe	433	6.2.4	Allgemeine Bauartgenehmigungen	455
2.3.1	Planerische Gesichtspunkte	433	6.3	Vorschriften für die Bemessung von nachträglich eingemörtelten Bewehrungsstäben	456
2.3.2	Nachträgliche Montage der Bewehrungsstäbe	436	6.3.1	Allgemeines	456
2.3.3	Kontrolle der richtigen Montage	439	6.3.2	EN 1992-1-1	456
3	Tragverhalten	440	6.3.3	EOTA TR069	457
4	Lasteinleitung	440	6.4	Vorschriften für die Montage von nachträglich eingemörtelten Bewehrungsstäben	459
5	Anwendungsbereiche	441			
5.1	Allgemeines	441	7	Auswahl des Verankerungsmörtels	459
5.2	Statische Gesichtspunkte	442		Literatur	460
6	Vorschriften	443			
6.1	Allgemeines	443			

VI	Tragende wärme- und schallgedämmte Bauteilanschlüsse und Querkraftdorne	461
	Martin Fenchel, Marc Müller, Daniela Kiefer, Michael Kämmerer, Sebastian Hauswald	
1	Einleitung	463
2	Anschlüsse mit Wärmedämmung – Platten	463
2.1	Anwendungsbereich	463
2.2	Konstruktive Durchbildung	464
2.3	Statische Nachweise	465
2.4	Nachweise der Gebrauchstauglichkeit	465
2.5	Brandschutz	465
2.6	Schwingungen, Erdbeben	467
2.7	Wärmeschutz	467
2.8	Trittschallschutz	468
2.9	Produkte der Hersteller/Anbieter	469
2.9.1	Erforderliche Verwendbarkeitsnachweise in D-A-CH	469
2.9.2	Produkte aller Hersteller mit gültigen abZ/aBG, ETA, BTZ	469
3	Anschlüsse mit Wärmedämmung – Stützen und Wände	469
3.1	Allgemeines	469
3.2	Wärmedämmende Stützenanschlüsse	471
3.2.1	Anwendungsbereich	471
3.2.2	Ausführung	471
3.2.3	Nachweise der Gebrauchstauglichkeit (Spannungen, Rissbreiten, Verformungen)	472
3.2.4	Statischer Nachweis	472
3.2.5	Brandschutz	475
3.2.6	Erdbeben	476
3.2.7	Wärmeschutz	476
3.2.8	Produkte der Hersteller/Anbieter	477
3.2.8.1	Erforderliche Verwendbarkeitsnachweise in D-A-CH (Regelwerk)	477
3.2.8.2	Produkte aller Hersteller mit Verwendbarkeit in Deutschland und Österreich	477
3.3	Wärmedämmende Wandanschlüsse	477
3.3.1	Historie	477
3.3.2	Anwendungsbereich	477
3.3.3	Ausführung	478
3.3.4	Statischer Nachweis, Steifigkeiten und Zwang aus Temperatur	478
3.3.5	Nachweise der Gebrauchstauglichkeit (Verformungen, Risse)	479
3.3.6	Brandschutz	479
3.3.7	Erdbeben	479
3.3.8	Wärmeschutz	479
3.3.9	Produkte der Hersteller/Anbieter	480
3.3.9.1	Erforderliche Verwendbarkeitsnachweise in D-A-CH	480
3.3.9.2	Produkte aller Hersteller mit Verwendbarkeit in Deutschland und Österreich	480
4	Treppenanschlüsse	481
4.1	Allgemeines/Anwendungsbereich	481
4.2	Trittschallschutz	482
4.3	Brandschutz	482
4.4	Anschlussvarianten	482
4.4.1	Podest/Platte an Treppenhauswand mit Konsolaufleger	482
4.4.1.1	Anwendungsbereich	482
4.4.1.2	Konstruktive Durchbildung	483
4.4.1.3	Statischer Nachweis	483
4.4.1.4	Produkte der Hersteller/Anbieter	483
4.4.2	Dornsysteme: Podest, Platte, Treppe an Wand	483
4.4.2.1	Anwendungsbereich	483
4.4.2.2	Konstruktive Durchbildung	484
4.4.2.3	Statischer Nachweis	485
4.4.2.4	Produkte der Hersteller/Anbieter	485
4.4.3	Treppenlauf an Podest mit gerader Fuge	486
4.4.3.1	Anwendungsbereich	486
4.4.3.2	Konstruktive Durchbildung	486
4.4.3.3	Statischer Nachweis	486
4.4.3.4	Produkte der Hersteller/Anbieter	487
4.4.4	Treppenlauf an Podest oder Geschossdecke mit Betonkonsole	487
4.4.4.1	Anwendungsbereich	487
4.4.4.2	Konstruktive Durchbildung	488
4.4.4.3	Statischer Nachweis	488
4.4.4.4	Produkte der Hersteller/Anbieter	488
4.4.5	Sonstige Produkte	488
5	Querkraftdorne	489
5.1	Allgemeines/Anwendungsbereich	489
5.2	Produktgruppen	489
5.2.1	Einzelschubdorne	489
5.2.2	Schwerlastdorne	490
5.2.3	Querkraftdorne für nicht vorwiegend ruhende Lasten	491
5.2.4	Längs- und querverschiebbliche Dorne	491
5.3	Statische Nachweise	491
5.3.1	Ablauf der Bemessung	491
5.3.2	Nachweis gegen Betonkantenbruch	492
5.3.3	Nachweis gegen Stahlversagen	492
5.3.4	Querkrafttragfähigkeit der Platte	492
5.3.5	Nachweis der Gebrauchstauglichkeit	493
5.4	Konstruktive Durchbildung	493
5.4.1	Anordnung von Dehnfugen	493
5.4.2	Fugenbreite	493
5.4.3	Einbau	494
5.5	Brandschutz	495
5.6	Produkte der Hersteller/Anbieter	495
5.6.1	Erforderliche Verwendbarkeitsnachweise in D-A-CH	495
5.6.2	Produkte aller Hersteller mit Verwendbarkeitsnachweis	495
	Literatur	496

Inhaltsverzeichnis Teil 2

Autor:innenverzeichnis XI

VII	Zukunft und Nachhaltigkeit im Hochbau – Was sagt die Politik?	499	
	Interview mit der Bundesministerin für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, Klara Geywitz Johann-Dietrich Wörner, Konrad Bergmeister		
VIII	Statische Analyse und Bemessung von Gebäuden mittels 3D-Gesamtmodellen	505	
	Dirk Schlicke, Franz Tschuchnigg, Hannes Fischnaller, Klaus Pfaff		
1	Einleitung	507	
1.1	Übersicht zum Beitrag und Motivation	507	
1.2	Grundsätzlicher Unterschied zwischen 3D- und 2D-Analyse	509	
1.3	Begriffsbestimmungen	512	
1.4	Veranschaulichungsbeispiel für die nachfolgenden Untersuchungen	513	
2	Interaktion der vertikalen Bauteile	514	
2.1	Gegenüberstellung der Gründungslasten gemäß 3D- und 2D-Analyse	515	
2.2	Einfluss der Anschlusssteifigkeiten	516	
2.3	Einfluss der Deckensteifigkeiten	516	
2.4	Einfluss des Bauablaufs	517	
2.5	Einfluss des zeitabhängigen Verhaltens in den vertikalen Bauteilen	518	
2.6	Zwischenfazit	519	
3	Einfluss der Boden-Bauwerk-Interaktion	519	
3.1	Allgemeines	519	
3.2	State of the Art der rechnerischen Berücksichtigung der Boden-Bauwerk-Interaktion in der statischen Analyse	524	
3.2.1	Vorgehensweise mittels Bettungsmodulverfahren	526	
3.2.2	Vorgehensweise mittels Steifemodulverfahren	530	
3.3	Einfluss der Anschluss- und Bauteilsteifigkeiten auf die Boden-Bauwerk-Interaktion	531	
3.4	Einfluss des Bauablaufs auf die Boden-Bauwerk-Interaktion	533	
3.5	Zwischenfazit	534	
4	Einfluss der Dehnsteifigkeit in den horizontalen Bauteilen	534	
4.1	Allgemeines	534	
4.2	Analytisches Modell zur Abschätzung der Dehnsteifigkeit	536	
4.3	Veranschaulichung	541	
5	Überlegungen zur Nachweisführung mit 3D-Gesamtmodellen	545	
5.1	Überlegungen zur Anwendung und Konfiguration von 3D-Gesamtmodellen	545	
5.1.1	Generelle Vorgehensweise	545	
5.1.2	Vorschlag für die Modifikation von Anschluss- und Bauteilsteifigkeiten	546	
5.2	Überlegungen zur Berücksichtigung der Boden-Bauwerk-Interaktion	546	
5.2.1	Auswirkungen der Bettung von 3D-Gesamtmodellen auf die Bemessungsschnittgrößen	546	
5.2.2	Tragwerksanalyse am 3D-Gesamtmodell mit realistischer Abbildung der Bodenverformung	547	
5.3	Überlegungen zum Durchstanznachweis der Fundamentplatte	548	
6	Praxisbeispiele für architektonisch anspruchsvolle Bauwerke	550	
6.1	Praxisbeispiel Hybrid Innsbruck	551	
6.2	Praxisbeispiel Musikschule Brixen	558	
7	Ausblick zur integralen Architektur- und Tragwerksplanung im gemeinsamen BIM-Modell	559	
7.1	Grundidee und Motivation	559	
7.2	Mindestanforderungen an das BIM-Modell	560	
7.2.1	Bauteiltypen aus Sicht der Tragwerksplanung	561	
7.2.2	Notwendigkeit von zusätzlichen Anpassungen im Architekturmodell	561	
7.2.2.1	Allgemeines	561	
7.2.2.2	Veranschaulichungsbeispiele	561	
7.2.3	Zwischenfazit	563	
7.3	Berücksichtigung des Baugrunds im BIM-Modell	563	
7.4	Ressourcenschonendes Bauen durch integrale Planung am Beispiel des ATP Green Deal	563	
7.4.1	CO ₂ -neutrale Planung	564	
7.4.2	Kreislaufplanung	565	
7.4.3	Zwischenfazit	566	
7.5	Integrale Industriegebäudeplanung 4.0 am Beispiel BIMflexi	566	
8	Schlussbemerkungen	567	
	Literatur	568	

IX Digitalisierung in der Versuchsführung und Monitoring von Bauwerken 573

Thomas Braml, Matthias Haslbeck, Johannes Wimmer

- | | | | | | |
|--------|---|-----|-------|--|-----|
| 1 | Einführung | 575 | 3.2 | Anforderungen in der digitalen Vorplanung | 586 |
| 1.1 | Motivation und Zielsetzung | 575 | 3.2.1 | Anforderungen bei der Versuchsplanung an einem Neubau | 586 |
| 1.2 | Bedarf an Monitoring-Maßnahmen | 575 | 3.2.2 | Anforderungen bei der Versuchsplanung an bestehenden Bauwerken | 586 |
| 1.3 | Planung von Messprojekten | 578 | 3.3 | Einstellungen des AD-Wandlers | 587 |
| 1.3.1 | Einholen von Erlaubnissen und Genehmigungen | 578 | 3.4 | Simulation der zu erwartenden Ergebnisse | 587 |
| 1.3.2 | Einbeziehung der Öffentlichkeit | 578 | 3.5 | Planung der Anforderungen an die Datenqualität | 588 |
| 1.3.3 | Planung der Messeinrichtungen | 578 | 3.6 | Inbetriebnahme | 589 |
| 1.3.4 | Verkehrssicherung | 578 | 3.7 | Honorierung der Phasen | 590 |
| 1.3.5 | Planung von Zugangstechnik | 579 | 4 | Digitales Datenmodell | 590 |
| 1.3.6 | Arbeitsschutzrechtliche Aspekte | 579 | 4.1 | Versuche | 590 |
| 1.3.7 | Messunsicherheit | 579 | 4.2 | Temporäres Monitoring | 591 |
| 1.3.8 | Organisation der Anbringung und Personaleinsatz | 579 | 4.3 | Dauermonitoring zur Lebenszyklusüberwachung | 591 |
| 1.3.9 | Organisation der Überwachung | 579 | 4.4 | Digitaler Zwilling | 592 |
| 1.3.10 | Datenmanagement | 579 | 4.4.1 | Industrie 4.0 | 592 |
| 1.3.11 | Vorversuche | 579 | 4.4.2 | Projekt BrAssMan | 592 |
| 2 | Phasen bei der Durchführung eines Messprojekts | 579 | 4.4.3 | Projekt shBIM | 593 |
| 2.1 | Allgemeines | 579 | 4.4.4 | Projekt OSIMAB | 593 |
| 2.2 | Phase 1: Machbarkeitsstudie | 580 | 4.4.5 | Projekt BBox | 593 |
| 2.3 | Phase 2: Messkonzept | 580 | 5 | Praxisbeispiele | 594 |
| 2.4 | Phase 3: Ausschreibung und Vergabe der Detailplanungsleistung | 580 | 5.1 | Traunwalchen | 594 |
| 2.5 | Phase 4: Ausführungsplanung | 581 | 5.1.1 | Projektvorstellung | 594 |
| 2.6 | Phase 5: Installation | 581 | 5.1.2 | Ziel des Versuchs | 594 |
| 2.7 | Phase 6: Kalibrierung am Bauwerk | 582 | 5.1.3 | Digitale Planung und Kontrolle | 594 |
| 2.8 | Phase 7: Messdatenverarbeitung | 582 | 5.1.4 | Herausforderungen und Erfahrungen | 596 |
| 2.9 | Phase 8: Ergebnisbewertung | 582 | 5.1.5 | Zusammenfassung der Versuche | 597 |
| 2.10 | Phase 9: Unterhalt und Rückbau | 582 | 5.2 | Dauermonitoring ab Verkehrsfreigabe – Brücke Schwindegg | 597 |
| 3 | Methoden | 583 | 5.2.1 | Projektvorstellung | 597 |
| 3.1 | Visualisierung auf Basis von Punktwolken | 583 | 5.2.2 | Ziel des Dauermonitorings | 598 |
| 3.1.1 | 3D-Laserscan | 583 | 5.2.3 | Digitale Planung | 598 |
| 3.1.2 | Photogrammetrie | 584 | 5.2.4 | Herausforderungen und Erfahrungen | 598 |
| 3.1.3 | 3D-Druck | 585 | 6 | Zusammenfassung und Ausblick | 599 |
| 3.1.4 | Visualisierung mithilfe von MR-Brillen | 585 | | Literatur | 600 |
| 3.1.5 | Matrixzuordnung der Visualisierungsmöglichkeiten | 586 | | | |

X Künstliche Intelligenz im Vorentwurf von Tragwerken 605

Martina Schnellenbach-Held, Daniel Steiner

- | | | | | | |
|-------|--|-----|--------|-------------------------------|-----|
| 1 | Einleitung | 607 | 1.2.3 | Material | 609 |
| 1.1 | Frühe Planungsphasen | 607 | 1.2.4 | Tragwerkskonzept und Archetyp | 609 |
| 1.1.1 | Allgemeines | 607 | 1.2.5 | Bauteil | 609 |
| 1.1.2 | Nachhaltigkeit | 607 | 1.2.6 | Konstruktionsart | 609 |
| 1.1.3 | Frühe tragwerksplanerische Unterstützung | 608 | 1.2.7 | Vordimensionierung | 609 |
| 1.2 | Begriffe | 609 | 1.2.8 | Bewertung | 610 |
| 1.2.1 | Entwurfsstufen | 609 | 1.2.9 | Ersatzmodell | 610 |
| 1.2.2 | Wissen | 609 | 1.2.10 | Varianten und Optionen | 610 |
| | | | 1.3 | Aufbau des Beitrags | 610 |

2	Methoden künstlicher Intelligenz	610	4	Wissensakquisition zur Tragwerksplanung	630
2.1	Wissensrepräsentation	611	4.1	Tragwerksplanerisches Allgemeinwissen	630
2.1.1	Ontologien	611	4.2	Wahrscheinlichkeitsanalysen auf Basis vorhandener Entwürfe	631
2.1.2	Semantische Netze	611	4.3	Parameterstudien	632
2.1.3	Graphen	611	4.4	Bewertung von Tragstrukturen	634
2.1.4	Entscheidungsbäume	611	4.5	Unschärfe des Erfahrungswissens	635
2.1.5	Shape-grammars	612	5	Materialspezifischer Tragwerksentwurf	636
2.1.6	Wissensbanken	612	5.1	Berücksichtigung des Materials	636
2.2	Wissensbasierte Systeme	612	5.2	Entwurfspotenziale	636
2.3	Fuzzy Logic	613	5.3	Wiederverwendbarkeit von Bauteilen	637
2.3.1	Wissensdarstellung	614	6	Einsatz von KI-Methoden zur Bereitstellung des tragwerksplanerischen Wissens	637
2.3.2	Fuzzyinferenzen	615	6.1	Wissensnetzwerk	637
2.3.3	Possibilitätstheorie	616	6.1.1	Scharfe Regelbasen	639
2.4	Weitere KI-Methoden	617	6.1.2	Unscharfe Regelbasen	641
2.4.1	Maschinelles Lernen	617	6.2	Grammatiken	641
2.4.2	Künstliche neuronale Netze	617	6.2.1	Knotenskelett	642
2.4.3	Fallbasiertes Schließen	618	6.2.2	Archetypen	642
2.4.4	Evolutionäre Algorithmen	618	6.2.3	Positionsidentifikation	643
2.4.5	Ergänzende Ansätze	619	6.3	TSK-Inferenzsysteme	644
3	Konzeptionelle Vorgehensweise für den Tragwerksentwurf in frühen Phasen	619	6.4	MA-Inferenzsysteme	645
3.1	Grundlage des Konzepts	619	6.5	Verarbeitung unscharfer Informationen	645
3.1.1	Raumanordnungen	619	6.5.1	Fuzzyifizierung unscharfer Entwurfsgrößen	645
3.1.2	Knotenskelett	620	6.5.2	Unschärfequantifizierung	645
3.1.3	Spezifikation des Tragwerkskonzepts	620	6.5.3	Wissensunschärfe	646
3.1.4	Idealisierte Tragwerkselemente	620	6.5.4	Unvollständige Entwurfsinformationen	646
3.1.5	Spezifikation der Bauteilkonstruktion	620	6.6	Änderungsmanagement	646
3.1.6	Vordimensionierung	621	6.6.1	Unscharfe Anfragen	646
3.1.7	Bewertung von Tragstrukturen	621	6.6.2	Entwurfsmodifikationen	647
3.1.8	Materialmengen	621	7	Zusammenfassung und Ausblick	648
3.2	Tragwerksplanerische Entwurfsstufen	621		Literatur	649
3.2.1	Level of Development (LOD)	621			
3.2.2	Level of Structural Design (LoSD)	622			
3.2.3	Bereitstellung des tragwerksplanerischen Wissens	629			
XI	Planung, Entwicklung und Betrieb digitaler Zwillinge im BIM-Kontext	653			
	Ruth Breu, Philipp Zech, Sashko Ristov, Clemens Sauerwein				
1	Einleitung	655	5	Digitale Transformation im Kontext digitaler Zwillinge	670
2	Grundbegriffe – cyber-physisches System, digitaler Zwilling, digitales Ökosystem	655	5.1	Agile digitale Transformation	670
3	Rollen und Prozesse des IT-Managements	658	5.2	Qualitätskriterien von Prozessen der Bauwirtschaft	671
4	Planung und Konstruktion digitaler Zwillinge	659	5.3	Analyse aktueller Prozesse	673
4.1	Funktionen digitaler Zwillinge	660	5.4	Entwicklung von Change-Szenarien und digitaler Roadmap	676
4.2	Die IT-Architektur digitaler Zwillinge	661	5.5	IT-Sicherheitsrisikomanagement	677
4.3	Funktionale Anforderungen	663	6	BIM-Repositories und Tool-Interoperabilität	679
4.4	Qualitätsanforderungen	665	7	Zusammenfassung und Ausblick	682
4.5	Agile Softwareentwicklungsprozesse	668		Literatur	683

XII	Datenraum für Nachhaltigkeit im Bauwesen	685		
	Johann-Dietrich Wörner			
1	Einleitung	687	4	Perspektive und Umsetzung
2	Datenraumlogik	687		Literatur
3	Nachhaltigkeit im Bauwesen	690		691
XIII	Prüffähigkeit digitaler 3D-Planungen	693		
	Markus Hennecke, Roland Wüchner			
1	Einleitung	695	6	Normung
2	Rückblick auf die Entwicklung der Baustatik	695	6.1	Eurocode 0
3	Gesetzliche Grundlagen zur baustatischen Berechnung	696	6.2	Eurocode 1
4	Der Standsicherheitsnachweis	697	6.3	Eurocode 2
4.1	Statische Berechnungen	697	7	3D-Modelle
4.2	EDV-Statiken	698	7.1	Hochbau
4.3	Pläne	698	7.2	Brückenbau
4.4	Building Information Modeling	699	7.2.1	Brückenüberbauten als Kastenquerschnitt
4.5	Zuverlässigkeit des Standsicherheitsnachweises	700	7.2.2	Rahmenbauwerke
5	Die Arbeit des Prüflingenieurs	701	7.2.3	Widerlager
5.1	Rechnerische Nachweise	701	7.2.4	Brückenüberbauten als Vollquerschnitt
5.2	Konstruktionszeichnungen	701	7.3	Ingenieurbau
5.3	Planaustausch	701	8	Prüfen der Gesamtsysteme
5.4	Modellbasierte Prüfung	702	9	Zukünftige Entwicklungen
			10	Fazit
				Literatur
				714
XIV	Bauautomatisierung und Robotik im Betonbau: Fallstudien zu Forschung, Entwicklung und Innovation	717		
	Rongbo Hu, Kepa Iturralde, Wen Pan, Thomas Linner, Thomas Bock			
1	Einführung	719	2.2	Fallstudie 2: Beratung bei der Untersuchung des Potenzials des Einsatzes von Robotik und Automatisierung im Zusammenhang mit groß angelegtem Betonsiedlungsbau in Hongkong
2	Fallstudien zu den von der Universität Karlsruhe und der Technischen Universität München entwickelten Betonverarbeitungs-Baurobotern	722	2.3	Fallstudie 3: ARE23 Roboter zum Streichen von Betonwänden
2.1	Fallstudie 1: HEPHAESTUS Seilroboter für die Fassadenmontage im Betonbau	723	3	Zusammenfassung
				Literatur
				726
XV	Fassadentragsysteme und Befestigungstechnik – Ausblicke zu GD-BIM, Robotik und Adaptivität	727		
	Konrad Bergmeister, Christine Flaig, Valentina Vötter, Martin Neumann, Christoph Plautz			
1	Allgemeiner Überblick	731	2.3	Spezifische Problemstellungen mit BIM
2	Fassadenplanung mit BIM – Ansätze zur GD-BIM-Modellierung und 4D-Planung	731	2.4	Montageablauf mit BIM – 4D-Planung
2.1	Einleitung	731	2.5	Ausblick
2.2	Anpassungsfähigkeit und mögliche Adaptivität mit Generativem Design	732	3	Fassadentragsysteme und Befestigungstechnik für vorgehängte Fassadensysteme
				735

- 3.1 Systembetrachtung der Fassadensysteme 735
- 3.2 Systembetrachtung von Fassadentragssystemen – historische Entwicklung 736
- 3.3 Statisches Tragverhalten von Seilen 740
- 3.4 Dynamisches Tragverhalten 742
- 3.5 Wichtige atmosphärische Einwirkungen auf Fassaden 743
 - 3.5.1 Windeinwirkungen 743
 - 3.5.2 Temperatureinwirkungen 745
 - 3.5.3 Schlagregenexpositionen 746
- 3.6 Befestigungen von Fassadensystemen am Bauwerk 746
 - 3.6.1 Technische Regeln im Bereich der Befestigungstechnik 747
 - 3.6.2 Systembetrachtung 748
 - 3.6.3 Randbedingungen Bauwerk 749
 - 3.6.4 Randbedingungen Unterkonstruktion und Montage 750
 - 3.6.5 Anwendungskriterien für verschiedene Expositionsclassen 750
 - 3.6.6 Auswahl Ablaufplan 750
 - 3.6.7 Mehrfachbefestigung von nichttragenden Elementen mit Rahmen- und Langschaftdübelssystemen 752
 - 3.6.7.1 Systembeschreibung 752
 - 3.6.7.2 Tragverhalten und Funktionsprinzip 753
 - 3.6.7.3 Montage 753
 - 3.6.7.4 Anwendungsbereiche mit Europäischer Technischer Bewertung 754
 - 3.6.7.5 Anwendungen mit Brandschutz 754
 - 3.6.7.6 Bemessung für Verankerungen 754
 - 3.6.7.7 Bestimmung der charakteristischen Tragfähigkeit in nicht spezifizierten Mauerwerkssteinen 759
 - 3.6.8 Rahmen- und Langschaftdübelssysteme für Einzelbefestigung in gerissenem Beton 760
 - 3.6.9 Stahldübelssysteme für Einzelbefestigung in gerissenem und ungerissenem Beton 761
 - 3.6.9.1 Systembeschreibung und Funktionsprinzip 761
 - 3.6.9.2 Anwendungsbereiche mit Europäischer Technischer Bewertung 762
 - 3.6.9.3 Bemessung 762
 - 3.6.10 Verbunddübel in gerissenem und ungerissenem Beton 764
 - 3.6.11 Verbundankersysteme zur Einzelbefestigung in Mauerwerk, Leichtbeton und Porenbeton 764
 - 3.6.11.1 Systembeschreibung und Funktionsprinzip 765
 - 3.6.11.2 Anwendungsbereiche mit Europäischer Technischer Bewertung 765
 - 3.6.11.3 Bemessung 765
 - 3.6.12 Einbauteile in Beton 767
 - 3.6.12.1 Kopfbolzen 768
 - 3.6.12.2 Ankerplatten 769
 - 3.6.12.3 Ankerschienen 769
 - 3.6.12.4 Querkraftdorne 770
 - 3.6.12.5 Querkraftprofile 771
 - 3.6.12.6 Anschlusssysteme 771
 - 3.6.12.7 Linienförmige Trennelemente mit thermischer Trennung 772
- 3.7 Befestigungstechnik für Fassadenelemente 772
 - 3.7.1 Befestigungstechnik für Glaselemente 772
 - 3.7.1.1 Konstruktive Grundsätze 772
 - 3.7.2 Befestigungstechnik für dünne Plattenelemente 780
 - 3.7.2.1 Systembeschreibung 780
 - 3.7.2.2 Fassadenmaterialien 780
 - 3.7.2.3 Befestigungslösungen und Montage 781
 - 3.7.2.4 Bemessung 782
 - 3.7.3 Befestigungstechnik für Natursteinelemente 782
 - 3.7.3.1 Systembetrachtung 782
 - 3.7.3.2 Baustoff Naturwerkstein 782
 - 3.7.3.3 Befestigungs- und Verankerungsmittel nach DIN 18616-3 784
 - 3.7.3.4 Befestigungsmittel mit Europäischer Technischer Bewertung 791
 - 3.7.4 Transportanker für Betonelemente 793
- 4 Befestigungstechnik für Wärmedämmverbundsysteme 795
 - 4.1 Befestigungstechnik für Wärmedämmverbundsysteme am Bauwerk 795
 - 4.2 Befestigungstechnik für Bauteile auf Wärmedämmverbundsystemen 797
 - 4.2.1 Befestigungssysteme zur Verankerung von kleinen oder mittleren Lasten für nicht sicherheitsrelevante Anwendungen 797
 - 4.2.2 Befestigungstechnik zur Verankerung von mittleren und hohen Lasten für sicherheitsrelevante Anwendungen 798
 - 4.2.2.1 Abstandsmontage mit auf Biegung belasteter Gewindestange mit und ohne thermische Trennung 798
 - 4.2.2.2 Abstandsmontage mit Distanzhalter 800
 - 4.2.2.3 Bemessung von Abstandsmontagen 801
 - 4.3 Wärmebrückenarme bzw. -freie Befestigungen 803
- 5 Ausblick zur Automatisierung durch Robotik 804
 - 5.1 Einführung 804
 - 5.2 Funktionsbereich 804
 - 5.3 Arbeitsweise 805
 - 5.4 Sicherheit und Human Interface 806
- 6 Adaptionstrategien für Fassaden 806
 - 6.1 Allgemeines 806
 - 6.2 Adaptionskonzept 807
 - 6.3 Adaptionstrategie von vertikal vorgespannten Seilfassaden 808
- 7 Zusammenfassende Bemerkungen 809
 - Literatur 810

XVI Normen und Regelwerke 815
 Frank Fingerloos

1	Einleitung	817	5	Produktionskontrolle	845
2	Listen und Verzeichnisse	817	6	Kennzeichnung und Lieferschein	845
2.1	Technische Baubestimmungen für den Beton- und Stahlbetonbau	817	A	Anhang A (normativ) – Betonprüfung zum Nachweis des Frostwiderstandes von rezyklierten Gesteinskörnungen	846
2.2	Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V. (DAfStb): Richtlinien und Hefte	839	A.1	Prüfverfahren und Anforderungen	846
2.3	DAfStb-Richtlinie „Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 – Teil 1: Anforderungen an den Beton für die Bemessung nach DIN EN 1992-1-1:2010-09“ mit 1. Berichtigung 2019-09	842	A.2	Betonzusammensetzung	846
	Einführung	842	A.3	Durchzuführende Prüfungen	847
	Inhalt	842	A.3.1	Frischbetonprüfungen	847
1	Anwendungsbereich	842	A.3.2	Druckfestigkeit und Rohdichte	847
2	Anforderungen	843	A.3.3	Frostprüfungen	847
2.1	Gesteinskörnung	843	B	Anhang B (normativ) – Bestimmung der Wasseraufnahme von rezyklierten Gesteinskörnungen	847
2.1.1	Stoffliche Zusammensetzung	843	B.1	Allgemeines	847
2.1.2	Anforderungen für die Verwendung	843	B.2	Versuchsdurchführung	847
2.1.3	Auswirkungen auf Boden und Grundwasser	843	B.3	Wasseraufnahme	847
2.2	Beton	843	2.4	Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. (DBV): Merkblätter, Sachstandberichte und Hefte	848
3	Herstellung des Betons	843	2.5	Österreichische Bautechnik Vereinigung (ÖBV): Richtlinien, Merkblätter und Sachstandberichte	850
4	Erweiterte Erstprüfung	845		Literatur	852
	Stichwortverzeichnis	853			