

Inhaltsverzeichnis

Vorwort *V*

Herausgeber- und Autor:innenverzeichnis *XVII*

1	Einleitung und Überblick	<i>1</i>
	<i>Silke Scheerer und Frank Schladitz</i>	
1.1	Geschichtliche Entwicklung	<i>1</i>
1.1.1	Die Anfänge des Betonbaus	<i>1</i>
1.1.2	Faserbewehrungen für Beton	<i>2</i>
1.1.3	Das C ³ -Projekt – Carbonbeton für den baupraktischen Einsatz	<i>6</i>
1.2	Allgemeine Vorteile und Grenzen	<i>6</i>
1.3	Einsatzgebiete	<i>10</i>
	Literatur	<i>14</i>
2	Bewehrung	<i>21</i>
	<i>Steffen Rittner, Frank Schladitz und Elisabeth Schütze</i>	
2.1	Material	<i>21</i>
2.1.1	Einleitung	<i>21</i>
2.1.2	Carbon	<i>23</i>
2.1.3	Glas	<i>26</i>
2.1.4	Basalt	<i>28</i>
2.1.5	Naturfasern	<i>28</i>
2.1.6	Wirkfaden	<i>29</i>
2.1.7	Schlichte	<i>29</i>
2.1.8	Tränkung – Imprägnierung – Beschichtung	<i>30</i>
2.1.9	Auswahl am Markt erhältlicher Produkte	<i>33</i>
2.2	Bewehrungsformen	<i>34</i>
2.2.1	Einleitung	<i>34</i>
2.2.2	Stabbewehrung	<i>34</i>
2.2.3	Mattenbewehrung	<i>39</i>
2.2.4	Auswahl am Markt erhältlicher Produkte	<i>50</i>
	Literatur	<i>51</i>

3	Beton	55
	<i>Marko Butler, Viktor Mechtcherine und Kai Wilhelm</i>	
3.1	Bindemittel und Zusatzstoffe	55
3.1.1	Portlandzementklinker	56
3.1.2	Reaktive und inerte Stoffe für den Ersatz von Portlandzementklinker	57
3.1.3	Neuartige/Alternative Bindemittel	61
3.2	Konzepte für den Betonentwurf	65
3.2.1	Was ist Frischbeton?	65
3.2.2	Unterschied Carbonbeton (Textilbeton) zu Normalbeton	67
3.2.3	Betonnomenklatur	68
3.3	Parameter des Betonentwurfs	68
3.3.1	Frisch- und Festbetoneigenschaften sowie Bauteilgeometrie	68
3.3.2	Wasser- und Fließmittelgehalt	70
3.3.3	Größtkorn der Gesteinskörnung	71
3.3.4	Theorie der Kornzusammensetzung	74
3.3.5	Mischverfahren/Mischregime	78
3.4	Marktverfügbare Bindemittel und Betone	79
3.4.1	Bindemittel und Zusatzstoffe	79
3.4.2	Betone für den Neubau	80
3.4.3	Betone für Verstärkung und Instandsetzung	82
	Literatur	83
4	Verbundwerkstoff	87
	<i>Maximilian May</i>	
4.1	Grundlagen	87
4.1.1	Erläuterung des Verbundwerkstoffs	87
4.1.2	Bestandteile und Aufgaben der Komponenten im VWS-System „Nichtmetallische Bewehrung“	87
4.1.3	Bestandteile und Aufgabe der Komponenten im VWS-System „Bewehrter Beton“	88
4.2	Zugtragverhalten des VWS-Systems „Bewehrter Beton“	88
4.3	Verbundmechanismen	90
4.3.1	Verbund innerhalb der nichtmetallischen Bewehrung	91
4.3.2	Verbund zwischen der Betonmatrix und der nichtmetallischen Bewehrung	91
4.3.3	Verbund- und Versagensmechanismen bei Stabbewehrungen	93
4.3.4	Verbund- und Versagensmechanismen bei Gitterbewehrungen	94
4.3.5	Einflussfaktoren auf das Verhalten des VWS-Systems „Bewehrter Beton“	97
	Literatur	97

- 5 Grundlagen des Bewehrens 99**
Josef Hegger, Sergej Rempel, Alexander Schumann, Elisabeth Schütze und Norbert Will
- 5.1 Allgemeine Konstruktionsdetails 99
 - 5.1.1 Allgemeines 99
 - 5.1.2 Wahl der Bewehrung 99
 - 5.1.3 Herstellungsprozess der bewehrten Betonbauteile 103
 - 5.2 Textile Bewehrung 107
 - 5.2.1 Betondeckung und Einbautoleranzen 107
 - 5.2.2 Allgemeine Bewehrungsregeln für textile Bewehrungen 109
 - 5.3 Stabförmige Bewehrung 120
 - 5.3.1 Vorbemerkung 120
 - 5.3.2 Betondeckung 121
 - 5.3.3 Biegen von nichtmetallischen Stäben 123
 - 5.3.4 Endverankerung 124
 - 5.3.5 Stöße 130
 - 5.3.6 Sonstige Konstruktionsdetails und offene Fragestellungen 131
 - Literatur 132
- 6 Verarbeitung und Produktion 135**
Klaus Holschemacher, Stefan Käseberg, Sebastian May, Egbert Müller, Silke Scheerer, Alexander Schumann und Christian Wagner
- 6.1 Einleitung 135
 - 6.2 Herstellung und Transport des Betons 135
 - 6.3 Verarbeitung der Bewehrung 137
 - 6.3.1 Lagerung auf der Baustelle und im Fertigteilwerk 137
 - 6.3.2 Verarbeitung der Bewehrung 137
 - 6.3.3 Automatisierung 140
 - 6.4 Lagesicherung beim Bewehrungseinbau 140
 - 6.5 Schalung 143
 - 6.6 Beton-Einbautechnologien 144
 - 6.7 Nachbehandlung 147
 - 6.7.1 Allgemeines zur Nachbehandlung 147
 - 6.7.2 Beginn und Dauer der Nachbehandlung 148
 - 6.7.3 Besonderheiten beim Carbonbeton 149
 - 6.8 Transport- und Montagezustände bei Fertigteilen 151
 - 6.9 Weiterverarbeitung von Halbfertigteilen in der Elementbauweise 153
 - 6.10 Verstärkung und Instandsetzung 154
 - 6.10.1 Einführung 154
 - 6.10.2 Untergrund vorbereiten 154
 - 6.10.3 Spritz- und Laminierverfahren 156
 - 6.10.4 Nachbehandlung 160
 - 6.10.5 Eigen- und Fremdüberwachung 160
 - Literatur 160

7	Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	163
	<i>Sarah Bergmann, Jan Bielak, Sven Bosbach, Josef Hegger, Sebastian May, Egbert Müller, Eric Mündecke, Jan Philip Schulze-Ardey, Alexander Schumann, Arne Spelter und Norbert Will</i>	
7.1	Sicherheitskonzept	163
7.2	Ermittlung der Bemessungswerte	168
7.3	Teilsicherheitsbeiwerte	171
7.4	Mindestbewehrung	175
7.5	Neubau	177
7.5.1	Biegung mit/ohne Normalkraft	177
7.5.2	Querkraft	189
7.5.3	Torsion	206
7.5.4	Durchstanzen	212
7.5.5	Bauteile unter Normalkraft nach Theorie II. Ordnung	216
7.6	Verstärkung/Instandsetzung von Stahlbetonbauteilen	222
7.6.1	Biegung	222
7.6.2	Querkraft	228
7.6.3	Torsionsverstärkung mit Carbonbeton	237
7.6.4	Normalkraftbeanspruchte Bauteile	242
7.7	Bemessungshilfen	246
	Literatur	251
8	Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	263
	<i>Ulrich Häußler-Combe</i>	
8.1	Allgemeines	263
8.2	Einführung zum fortlaufenden Berechnungsbeispiel	264
8.3	Dehnungs- und Spannungsverhältnisse des Biegequerschnitts	266
8.3.1	Querschnittswerte im Zustand I	266
8.3.2	Dehnungs- und Spannungsverhältnisse im Zustand II	268
8.3.3	Beispiel	270
8.4	Spannungsnachweise	272
8.4.1	Allgemeines	272
8.4.2	Berechnungsansätze	273
8.4.3	Beispiel	274
8.5	Berechnung der Rissbreiten	277
8.5.1	Allgemeines	277
8.5.2	Berechnungsansätze	277
8.5.3	Beispiel	279
8.6	Direkte Berechnung der Verformungen	281
8.6.1	Allgemeines	281
8.6.2	Berechnungsansätze	282
8.6.3	Beispiel	285
	Literatur	288

- 9 Dauerstand und Ermüdung 289**
Josef Hegger, Steffen Müller, Arne Spelter, Juliane Wagner und Norbert Will
- 9.1 Grundlagen des Dauerstand- und Ermüdungsverhaltens 289
- 9.2 Materialverhalten unter Dauerbeanspruchung 292
- 9.2.1 Dauerstandverhalten von Carbon/CFK 292
- 9.2.2 Dauerstandverhalten der zementgebundenen Matrix 293
- 9.2.3 Dauerstandverhalten von Carbonbeton 296
- 9.2.4 Dauerstandverhalten von Carbonbetonbauteilen 300
- 9.2.5 Nachweise 303
- 9.3 Materialverhalten bei Ermüdungsbeanspruchung 305
- 9.3.1 Ermüdungsverhalten von Carbon/CFK 305
- 9.3.2 Ermüdungsverhalten der zementgebundenen Matrix 307
- 9.3.3 Ermüdungsverhalten von Carbonbeton 310
- 9.3.4 Ermüdungsverhalten von Carbonbetonbauteilen 313
- 9.3.5 Nachweise 316
- Literatur 316
- 10 Dauerhaftigkeit 323**
Philipp Kunz und Viktor Mechtcherine
- 10.1 Einführung 323
- 10.2 Mechanismen der Schädigung 325
- 10.3 Grundlagen der Dauerhaftigkeitsbewertung und Konzept 326
- 10.3.1 Allgemeine Bemerkungen 326
- 10.3.2 Korrosionsschutz der Stahlbewehrung 327
- 10.3.3 Dauerhaftigkeit der Matrix 328
- 10.3.4 Dauerhaftigkeit von Faser und Polymertränkung 329
- 10.3.5 Dauerhaftigkeit des Faser-Matrix-Verbundes 329
- 10.4 Charakteristische Materialeigenschaften für die Vorhersage von Langzeitdauerhaftigkeit und Lebensdauer 330
- 10.4.1 Allgemeine Bemerkungen 330
- 10.4.2 Transporteigenschaften 330
- 10.4.3 Dehnvermögen von Carbonbeton 333
- 10.4.4 Selbstheilung von Rissen 334
- 10.5 Zusammenfassung und Ausblick 336
- Literatur 337
- 11 Vorspannung 341**
Andreas Apitz, Alex Hückler, Juan P. Osman-Letelier und Mike Schlaich
- 11.1 Einleitung 341
- 11.1.1 Allgemeines 341
- 11.1.2 Stand der Forschung 342
- 11.1.3 Anwendungen 342
- 11.2 Biegebemessung 348
- 11.2.1 Einleitung und Stand der Normung 348

- 11.2.2 Konzept für eine Bemessung von Bauteilen aus vorgespanntem Carbonbeton 349
- 11.2.3 Grenzzustand der Tragfähigkeit 350
- 11.2.4 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit 350
- 11.2.5 Sonstige Nachweise 351
- 11.3 Beispiel Biegebemessung 351
- 11.3.1 System: Plattenbalken mit sofortigem Verbund vorgespannt 351
- 11.3.2 Tragfähigkeitskriterien 353
- 11.3.3 Verformungskriterien 355
- 11.4 Technologie und Herstellung 356
- 11.4.1 Schlaffe Stabbewehrung 356
- 11.4.2 Spannglied 358
- 11.4.3 Vorspannen von Gelegen 358
- 11.4.4 Bewehren 359
- 11.4.5 Spannglied – Transport, Montage und Vorspannen 361
- 11.4.6 Fertigstellung 362
- 11.5 Zusammenfassung und Ausblick 362
- Literatur 364

12 Einbauteile 367

Matthias Roik und Frank Schladitz

- 12.1 Befestigungs- und Verbindungsmittel 367
- 12.1.1 Einleitung 367
- 12.1.2 Versagensarten 368
- 12.2 Verbindungsmittel 372
- 12.3 Abstandhalter 372
- 12.4 Transportankersysteme 375
- 12.4.1 Einleitung 375
- 12.4.2 Versagensarten 377
- 12.4.3 Transportanker für dünne, textilbewehrte Betonelemente 378
- 12.5 Auswahl der auf dem Markt erhältlichen Produkte 379
- 12.5.1 Vertikalverankerung, Fassadenplattenanker 379
- 12.5.2 Horizontalverankerungen 380
- 12.5.3 Verstiftungen 381
- 12.5.4 Transportanker 382
- Literatur 383

13 Materialprüfung 385

Marko Butler, Josef Hegger, Thomas Heiermann, Karoline Holz, Philipp Kunz, Maximilian May, Cynthia Morales Cruz, Stephan Reichel, Silke Scheerer, Jörg Schmidt, Jan Philip Schulze-Ardey, Alexander Schumann, Arne Spelter, Juliane Wagner, Kai Wilhelm und Norbert Will

- 13.1 Ausgangsmaterialien 385
- 13.1.1 Vorbemerkungen 385

- 13.1.2 Chemische Komponenten für Schlichte und Tränkung 385
- 13.1.3 Faser 388
- 13.1.4 Betone 390
- 13.2 Verbundmaterial 393
 - 13.2.1 Zugfestigkeit 394
 - 13.2.2 Verbundverhalten 402
 - 13.2.3 Temperaturbeständigkeit 417
 - 13.2.4 Dauerstand 421
 - 13.2.5 Ermüdung 427
 - 13.2.6 Dauerhaftigkeit 432
 - 13.2.7 Brand 439
 - Literatur 441

- 14 Normen und Richtlinien 449**
Christoph Alfes, Alexander Schumann und Robert Zobel
 - 14.1 Nationale Normen und Richtlinien 449
 - 14.1.1 Technische Baubestimmungen – Grundlagen 449
 - 14.1.2 Aktueller Stand der rechtlichen Grundlage 452
 - 14.1.3 Vorbereitung von Richtlinien für Carbonbeton 454
 - 14.2 Internationale Normen und Richtlinien 457
 - 14.3 Genehmigungen für Bauarten mit Textilbeton/Carbonbeton 459
 - 14.3.1 Zustimmung im Einzelfall – vorhabenbezogene Bauartgenehmigung 459
 - 14.3.2 Zulassung 462
 - 14.4 Zusammenfassung 463
 - Literatur 464

- 15 Bauphysik 467**
John Grunewald, Karoline Holz, Michael Juknat, Alexander Kahnt, Stephan Reichel, Jörg Schmidt und Mario Stelzmann
 - 15.1 Wärme und Feuchte 467
 - 15.1.1 Vergleich Außenwände aus Carbon- und Stahlbeton 468
 - 15.1.2 Tauwasser im Inneren von Baukonstruktionen 470
 - 15.1.3 Nachweis Periodenbilanzverfahren 471
 - 15.1.4 Nachweis hygrothermische Simulation 474
 - 15.1.5 Schlagregenschutz 475
 - 15.1.6 Winterlicher Wärmeschutz 476
 - 15.1.7 Sommerlicher Wärmeschutz 476
 - 15.1.8 Optische Dauerhaftigkeit 476
 - 15.2 Schallschutz 478
 - 15.3 Brand 479
 - Literatur 483

- 16 Recycling 485**
Peter Jehle und Jan Kortmann
 - 16.1 Einleitung 485
 - 16.2 Abbruch und Rückbau 486
 - 16.3 Baustoffaufbereitung 488
 - 16.3.1 Einleitung 488
 - 16.3.2 Zerkleinerung und Aufschluss 489
 - 16.3.3 Sortierung und Klassierung 490
 - 16.3.4 Empfohlener Aufbereitungsprozess 491
 - 16.4 Materialverwertung 492
 - 16.4.1 Einleitung 492
 - 16.4.2 Verwertung mineralische Fraktion 493
 - 16.4.3 Verwertung Faserfraktion 493
 - Literatur 495

- 17 Ökologische Beurteilung von Betonbauteilen mit Bewehrung aus Carbongelegen 497**
Marleen Backes, Carl-Alexander Graubner, Torsten Mielecke, Christoph Müller und Julia Schütz
 - 17.1 Grundlagen der Ökobilanzierung 497
 - 17.2 Umweltwirkungen von C³-Betonen 498
 - 17.2.1 Allgemeines 498
 - 17.2.2 C³-Betonen für neue Bauteile 498
 - 17.2.3 C³-Betonen zur Verstärkung bestehender Bauteile 500
 - 17.3 Umweltwirkungen von Carbongelegen 502
 - 17.4 Vergleichende Ökobilanzierung von Bauteilen 503
 - 17.4.1 Grundlagen 503
 - 17.4.2 Parkhausdecke 503
 - 17.4.3 Fertigteil-Wandsysteme 504
 - 17.5 Umweltverträglichkeit 506
 - 17.5.1 Charakterisierungsversuche und Festlegung der Carbonfaser und des Feinbetons für die weiteren Auslaug- und Berechnungsversuche 506
 - 17.5.2 Herstellung der Feinbetonprüfkörper 507
 - 17.5.3 DSLT-Auslaugung der vier unterschiedlichen Feinbetonprobekörper FB-1 bis FB-1-4-2 508
 - 17.5.4 Zusammenfassung 510
 - Literatur 511

- 18 Arbeits- und Gesundheitsschutz 513**
Peter Jehle, Florian Kopf, Thorsten Streibel und Ralf Zimmermann
 - 18.1 Gesundheitsrisiken bei Tätigkeiten mit Carbonbeton 513
 - 18.1.1 Einleitung 513
 - 18.1.2 Physikalisch-morphologische Analyse 514
 - 18.1.3 Chemische Analyse 514
 - 18.1.4 In-vitro Untersuchungen 515

- 18.1.5 Thermische Beanspruchung 516
- 18.2 Verarbeitung von Carbonbewehrungen 517
 - 18.2.1 Einleitung 517
 - 18.2.2 Be- und Verarbeitungsverfahren und Gefährdungen 518
 - 18.2.3 Schutzmaßnahmen 519
 - 18.2.4 Zusammenfassung 520
- 18.3 Be- und Verarbeitung von Carbonbeton 520
 - 18.3.1 Einleitung 520
 - 18.3.2 Be- und Verarbeitungsverfahren und Gefährdungen 521
 - 18.3.3 Schutzmaßnahmen 522
 - 18.3.4 Zusammenfassung 523
 - Literatur 523
- 19 Multifunktionalität 525**
Klaus Holschemacher, Stefan Käseberg, Tobias Rudloff und Dominik Schlüter
 - 19.1 Designkriterien multifunktionaler Bauteile aus Carbonbeton 525
 - 19.2 Konstruktionsentwicklung multifunktionaler Fertigteile am Beispiel elektrischer Energiespeicherung 528
 - 19.3 Basisstruktur zur Funktionsintegration 533
 - 19.4 Lichtleitung in Carbonbeton 534
 - 19.4.1 Allgemeines 534
 - 19.4.2 Optische Fasern und Lichtwellenleiter 536
 - 19.4.3 Technische Textilien mit aktiven Leuchtfunktionen 536
 - 19.4.4 Transluzenter Beton 537
 - 19.4.5 Lichtleitender Beton 538
 - 19.4.6 Anwendung im Carbonbetonbau 539
 - 19.5 Strukturüberwachung 539
 - 19.5.1 Allgemeines 539
 - 19.5.2 Bewehrungen aus Carbonfasergelegen mit Sensorintegration für Betonfertigteile 541
 - Literatur 543
- 20 Praktische Anwendung 545**
Michael Frenzel, Matthias Lieboldt, Stefan Minar, Silke Scheerer und Angela Schmidt
 - 20.1 Neubau 545
 - 20.1.1 Allgemeine Entwicklung in der Bundesrepublik Deutschland 545
 - 20.1.2 Hochbauweise 548
 - 20.1.3 Ingenieurbauweise 550
 - 20.2 Verstärkung und Instandsetzung 552
 - 20.2.1 Allgemeine Entwicklung 552
 - 20.2.2 Hochbau 553
 - 20.2.3 Ingenieurbau 559
 - 20.2.4 Tiefbau/Infrastruktur 564

- 20.3 C³-Ergebnishaus 565
 - 20.3.1 Ziele und Intensionen 565
 - 20.3.2 Entwurf 567
 - 20.3.3 Planung und Ausführung der BOX (Halb-)Fertigteile 567
 - 20.3.4 Planung und Ausführung der TWIST-Schalenelemente 568
 - 20.3.5 Bewertung der Carbonbetonbauweise 570
 - 20.3.6 Danksagung 570
- 20.4 Mehr als ein Baustoff – Carbonbeton in Kunst und Alltag 570
 - 20.4.1 Vorbemerkung 570
 - 20.4.2 Betonboote 571
 - 20.4.3 Kunstwerke 572
 - 20.4.4 Carbonbeton im Innen- und Außenraum 573
 - Literatur 575

21 Ausschreibung und Vergabe für Carbon- und Textilbeton 581

Alexander Kahnt und Matthias Tietze

- 21.1 Ausschreibung, Vergabe, Leistungsbeschreibung 581
 - 21.1.1 Einleitung 582
 - 21.1.2 Verschiedene Verfahren 582
 - 21.1.3 Bauvorhaben mit dem Einsatz von Carbonbeton 584
- 21.2 Ausschreibungsplanung 584
 - 21.2.1 Einleitung 584
 - 21.2.2 Funktionale Ausschreibung 585
 - 21.2.3 Leistungspositionen 585
- 21.3 Ausschreibungstexte Beispiele 585
 - 21.3.1 Verstärkung 586
 - 21.3.2 Fertigteile 588
- 21.4 Ausblick 590
 - Literatur 590

22 Aus- und Weiterbildung 591

Ammar Al-Jamous

Literatur 593

Inserentenverzeichnis 595