

Inhaltsverzeichnis Teil 1

I	Beton 1		
	Frank Dehn, Udo Wiens		
1	Einführung und Definition 5	4.5	Bestimmung der Festigkeit von jungem Beton 55
1.1	Allgemeines 5	5	Lastunabhängige Verformungen 56
1.2	Definition 5	5.1	Allgemeines 56
1.3	Klassifizierung von Beton 7	5.2	Temperaturdehnung 56
1.3.1	Betonarten 7	5.3	Schwinden 57
1.3.2	Betonklassen 7	5.3.1	Ursachen 57
1.3.3	Betonfamilie 9	5.3.2	Mathematische Beschreibung 58
2	Ausgangsstoffe 10	6	Festigkeit und Verformung von Festbeton 60
2.1	Zement 10	6.1	Strukturmerkmale 60
2.1.1	Arten und Zusammensetzung 10	6.2	Druckfestigkeit 60
2.1.2	Bautechnische Eigenschaften 14	6.2.1	Spannungszustand und Bruchverhalten von Beton bei Druckbeanspruchung 60
2.1.3	Bezeichnung, Lieferung und Lagerung 16	6.2.2	Einflüsse auf die Druckfestigkeit 61
2.1.4	Anwendungsbereiche 17	6.2.2.1	Ausgangsstoffe und Betonzusammensetzung 61
2.1.5	Zemehydratation 21	6.2.2.2	Erhärtungsbedingungen und Reife 62
2.1.6	Der Zementstein 21	6.2.2.3	Prüfeinflüsse 65
2.2	Gesteinskörnungen für Beton 24	6.2.3	Festigkeitsklassen 66
2.2.1	Allgemeines 24	6.3	Zugfestigkeit 67
2.2.2	Art und Eigenschaften des Gesteins 24	6.3.1	Bruchverhalten und Bruchenergie 67
2.2.3	Schädliche Bestandteile 26	6.3.2	Einflüsse auf die Zugfestigkeit 68
2.2.4	Kornform und Oberfläche 30	6.3.3	Zentrische Zugfestigkeit 68
2.2.5	Größtkorn und Kornzusammensetzung 30	6.3.4	Biegezugfestigkeit 68
2.3	Betonzusatzmittel 32	6.3.5	Spaltzugfestigkeit 68
2.3.1	Definition 32	6.3.6	Verhältniswerte für Druck- und Zugfestigkeit 69
2.3.2	Arten von Betonzusatzmitteln 32	6.4	Festigkeit bei mehrachsiger Beanspruchung 70
2.3.3	Anwendungsregeln für Betonzusatzmittel 36	6.5	Spannungs-Dehnungsbeziehungen 70
2.4	Betonzusatzstoffe 36	6.5.1	Elastizitätsmodul und Querdehnzahl 71
2.4.1	Definitionen 36	6.6	Einfluss der Zeit auf Festigkeit und Verformung 72
2.4.2	Inerte Stoffe und Pigmente 37	6.6.1	Die zeitliche Entwicklung von Druckfestigkeit und Elastizitätsmodul 72
2.4.3	Puzzolanische Stoffe 37	6.6.2	Verhalten bei Dauerstandsbeanspruchung 73
2.4.4	Latent-hydraulische Stoffe 42	6.6.3	Zeitabhängige Verformungen 73
2.4.5	Kunststoffdispersionen 43	6.6.3.1	Definitionen 73
2.4.6	Fasern 43	6.6.3.2	Kriechverhalten von Beton 74
2.5	Zugabewasser 43	6.6.3.3	Vorhersageverfahren 76
3	Frischbeton und Nachbehandlung 44	6.6.4	Verhalten bei dynamischer Beanspruchung 77
3.1	Allgemeine Anforderungen 44	6.6.5	Ermüdung 78
3.2	Mehlkorngehalt 44	7	Dauerhaftigkeit 81
3.3	Rohdichte und Luftgehalt 45	7.1	Überblick über die Umweltbedingungen, Schädigungsmechanismen und Mindestanforderungen 82
3.4	Verarbeitbarkeit und Konsistenz 45		
3.5	Transport und Einbau 47		
3.6	Entmischen 49		
3.7	Nachbehandlung 50		
3.7.1	Nachbehandlungsarten 50		
3.7.2	Dauer der Nachbehandlung 51		
3.7.3	Zusätzliche Schutzmaßnahmen 52		
4	Junger Beton 53		
4.1	Bedeutung und Definition 53		
4.2	Hydratationswärme 53		
4.3	Verformungen 53		
4.4	Dehnfähigkeit und Rissneigung 54		

-
- 7.2 Widerstand gegen das Eindringen aggressiver Stoffe 83
 - 7.3 Korrosionsschutz der Bewehrung im Beton 89
 - 7.3.1 Allgemeine Anforderungen 89
 - 7.3.2 Karbonatisierung 90
 - 7.3.3 Eindringen von Chloriden 92
 - 7.4 Frostwiderstand und Frost-Taumittel-Widerstand 93
 - 7.5 Widerstand gegen chemische Angriffe 96
 - 7.6 Verschleißwiderstand 96
 - 7.7 Feuchtigkeitsklassen nach Alkali-Richtlinie 97

 - 8 Selbstverdichtender Beton 97
 - 8.1 Allgemeines 97
 - 8.2 Mischungsentwurf 98
 - 8.3 Frischbetonprüfverfahren an Mörtel 99
 - 8.4 Prüfungen am Beton 100
 - 8.5 Eigenschaften 102
 - 9 Sichtbeton 103
 - 9.1 Einführung 103
 - 9.2 Planung und Ausschreibung 103
 - 9.3 Betonzusammensetzung und Betonherstellung 104
 - 9.4 Einbau und Nachbehandlung 105
 - 9.4.1 Schalung und Trennmittel 105
 - 9.4.2 Ausführung und Nachbehandlung 105
 - 9.5 Beurteilung 106
 - 9.6 Mängel und Mängelbeseitigung 106
 - 9.6.1 Sichtbetonmängel 106
 - 9.6.2 Mängelbeseitigung bei Sichtbeton 107
 - 9.6.3 Architektonisch bedeutsame Bausubstanz 108
 - 9.7 Sonder-Sichtbetone 108
 - 10 Leichtbeton 109
 - 10.1 Einführung und Überblick 109
 - 10.2 Konstruktionsleichtbeton nach DIN EN 1992-1-1 110
 - 10.2.1 Grundlegende Eigenschaften 110
 - 10.2.2 Leichte Gesteinskörnung 110
 - 10.2.3 Betonzusammensetzung 112
 - 10.2.4 Herstellung, Transport und Verarbeitung 114
 - 10.2.5 Festbetonverhalten von Konstruktionsleichtbeton 115
 - 10.2.6 Zur Planung von Bauwerken aus Konstruktionsleichtbeton 118
 - 10.2.7 Selbstverdichtender Konstruktionsleichtbeton 118
 - 10.3 Porenbeton 119
 - 10.4 Haufwerksporiger Leichtbeton 120
 - 11 Faserbeton 121
 - 11.1 Allgemeines 121
 - 11.2 Zusammenwirken von Fasern und Matrix 122
 - 11.2.1 Ungerissener Beton 122
 - 11.2.2 Gerissener Beton 123
 - 11.3 Fasern 127
 - 11.3.1 Stahlfasern 129
 - 11.3.2 Glasfasern 129
 - 11.3.3 Organische Fasern 130
 - 11.3.3.1 Kunststofffasern (Polymerfasern) 130
 - 11.3.3.2 Kohlenstofffasern 131
 - 11.3.3.3 Fasern natürlicher Herkunft – Zellulosefasern 131
 - 11.4 Zusammensetzung 131
 - 11.4.1 Beton 131
 - 11.4.2 Fasern 132
 - 11.5 Eigenschaften 132
 - 11.5.1 Verhalten bei Druckbeanspruchung 132
 - 11.5.2 Verhalten bei Zugbeanspruchung und bei Biegebeanspruchung 133
 - 11.5.3 Verhalten bei Querkraft- und Torsionsbeanspruchung 133
 - 11.5.4 Verhalten bei Explosions-, Schlag- und Stoßbeanspruchung 134
 - 11.5.5 Kriechen und Schwinden 134
 - 11.5.6 Dauerhaftigkeit 134
 - 11.5.7 Frost- und Taumittel-Widerstand 135
 - 11.5.8 Verhalten bei hoher Temperatur 135
 - 11.5.9 Verschleißwiderstand 135
 - 11.6 Normen und Grundlagen 136
 - 12 Ultrahochfester Beton 136
 - 13 Carbonbeton 136
 - 14 Betone unter Verwendung von Geopolymeren und alkalisch-aktivierten Bindemitteln 137
 - 15 Nachhaltigkeit im Betonbau 139
 - 15.1 Einführung 139
 - 15.2 Nachhaltigkeitsbewertung 140
 - 15.3 Klinkereffiziente Zemente 141
 - 15.4 Ökobetone 141
 - 15.5 Neue Bindemittel 142
 - 16 Betonrecycling 143
 - 16.1 Allgemeines 143
 - 16.2 Rezyklierte Gesteinskörnungen aus Betonbruch 143
 - 16.3 Betonbrechsande als Bindemittelkomponente 144
 - 16.4 Frischbetonrecycling 145
 - 17 Numerische Simulation des Betonverhaltens 145
 - 18 Normative Entwicklungen und neue Richtlinien 147
 - 18.1 Die neue Normenreihe DIN 1045 – Weiterentwicklung der Betonbauqualität (BBQ) 147
 - 18.1.1 Hintergrund 147
 - 18.1.2 DAfStb-Richtlinie zur Betonbauqualität 148
 - 18.1.3 Zuordnungsbeispiele 149

18.1.4	Überführung der BBQ-Richtlinie in eine neue Normenreihe DIN 1045	150	18.2.2	Expositions-Widerstandsklassen	151
18.2	Dauerhaftigkeitskonzept im neuen Eurocode 2 – Expositions-Widerstandsklassen	151	18.3	Neue DAfStb-Richtlinien	153
18.2.1	Allgemeines	151	18.3.1	Umweltverträglichkeit von Beton	153
			18.3.2	Betonausgangsstoffe	156
			19	Literatur	156

II Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen in Deutschland 173

Heinrich Bastert, Hans-Carsten Kühne, Christoph Dauberschmidt, Stephan Vestner, Hendrik Morgenstern, Michael Raupach, Lars Wolff, Bernd Schwamborn, Angelika Eßer, Ingo Schachinger

1	Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen – Aktueller Stand der Regelwerke	177	2.1	Hintergrund der aktuellen Regelwerkssituation	185
1.1	Regelungsbereiche und Regelsetzer in Deutschland	177	2.2	Vorgehensweise gemäß deutschen Regelwerken	186
1.1.1	Allgemeiner Hochbau	177	2.3	Prinzip der Darstellungen in den Regelwerken bzw. den Planungs-Hinweisen bzw. -Empfehlungen	187
1.1.2	Bauliche Anlagen der öffentlichen Verkehrsträger	177	2.4	Zusammenfassung	188
1.2	Das öffentliche Baurecht	177	3	Bauwerksdiagnose bei chloridbelasteten Stahlbetonbauteilen – mit einer zielgerichteten Konzeption zu einer erfolgreichen Instandsetzungsplanung	189
1.2.1	Landesbauordnung und Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen	178	3.1	Einleitung	189
1.2.2	Hersteller- und Anwenderverordnung	178	3.2	Chloridbelastung von Stahlbetonbauwerken	190
1.2.2.1	Anforderungen nach HAVO	178	3.2.1	Einleitungsphase	190
1.2.2.2	Nachweise nach HAVO	178	3.2.2	Ansatz des kritischen Chloridgehalts	190
1.2.3	Verordnung über die Überwachung von Tätigkeiten mit Bauprodukten und bei Bauarten	178	3.2.3	Schädigungsphase	192
1.2.4	Qualifikation für die Erbringung von Planungsleistungen	179	3.3	Instandsetzungsprinzipien nach TR IH	192
1.3	Geltende Regelwerke	179	3.4	Methoden der Bauwerksdiagnose für chloridbelastete Bauteile	194
1.3.1	Regelwerke für den allgemeinen Hochbau	179	3.4.1	Inaugenscheinnahme	194
1.3.1.1	Technische Regel Instandhaltung von Betonbauwerken (Stand: Mai 2020)	180	3.4.2	Potentialfeldmessung	194
1.3.1.2	DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (RL SIB von 2001)	180	3.4.3	Betondeckungsmessung	196
1.3.1.3	DAfStb-Richtlinie Instandhaltung von Betonbauteilen (IH-RL, Entwurf)	181	3.4.4	Bestimmung der Elektrolytwiderstände	196
1.3.2	ATV DIN 18349 Betonerhaltungsarbeiten als Bestandteil der VOB/C	181	3.4.5	Bestimmung von Chloridtieftiefenprofilen	197
1.3.3	Regelwerke für bauliche Anlagen der öffentlichen Verkehrsträger	182	3.4.6	Erstellung von Sondierungsöffnungen	198
1.3.3.1	ZTV-ING	182	3.4.7	Monitoring	198
1.3.3.2	ZTV-W	183	3.5	Prinzip des abgestuften Vorgehens bei der Bauwerksdiagnose	198
1.4	Normen	183	3.6	Bauwerksdiagnose in der Einleitungsphase	200
1.4.1	Baustoffnormen	183	3.6.1	Bestimmung des Abnutzungsvorrates nach TR IH/IH-RL	200
1.4.1.1	Instandsetzungsbaustoffe mit bekannter Zusammensetzung	183	3.6.1.1	Aufgabe des Sachkundigen Planers	200
1.4.1.2	Instandsetzungsbaustoffe mit unbekannter Zusammensetzung	183	3.6.1.2	Nachweisverfahren nach IH-RL für Chloridbelastung	200
1.4.1.3	Normenreihe DIN EN 1504	183	3.6.2	Bauwerksdiagnose bei Verfahren 7.7	204
1.5	Zusammenfassung	185	3.6.3	Bauwerksdiagnose bei Verfahren 7.1	204
2	Regelkonforme Produktauswahl und Nachweise der Verwendbarkeit in Deutschland	185	3.7	Bauwerksdiagnose in der Schädigungsphase	205
			3.7.1	Untersuchungskonzepte bei Anwendung des Verfahrens 7.2 (Entfernen des chloridbelasteten Betons)	205
			3.7.1.1	Ungerissene Bereiche	205
			3.7.1.2	Vorgehen bei chloridbelasteten Rissen	205

3.7.2	Untersuchungskonzeption bei Instandsetzungsverfahren 8.3 (W-CI)	206	6	Übersicht zum Betonersatz in der stand- sicherheitsrelevanten Instandsetzung	229
3.7.3	Untersuchungskonzept bei Instandsetzungsverfahren 10.1 (Kathodischer Korrosionsschutz)	207	6.1	Einleitung	229
3.8	Zusammenfassung	209	6.2	Planungsgrundlagen für die Instandhaltung	230
4	Sachkundige Planung der Betoninstand- setzung mit dem System von Prinzipien und Verfahren	210	6.3	Zur aktuellen Situation der harmonisierten Produktnormen insbesondere der DIN EN 1504-3:2006	232
4.1	Grundlagen der sachkundigen Instandsetzungsplanung	210	6.4	Instandsetzungsmörtel und -betone – Inhalte der DIN EN 1504-3:2006	233
4.2	Prinzipien nach RL SIB	211	6.4.1	Hinweise zu Betonersatz nach der DIN EN 1504-3:2006	235
4.2.1	Prinzip R	211	6.4.2	Vergleich PCC-R4 (DIN EN 1504-3) – RM-A4 und RC-A4 (TR IH)	236
4.2.2	Prinzip C	212	6.4.3	PCC-R1, PCC-R2, PCC-R3 DIN EN 1504-3:2005	237
4.2.3	Prinzip K	212	6.4.4	RM-A5 und RC-A5 (TR IH)	237
4.2.4	Prinzip W	213	6.4.5	PC, PRM und PRC (TR IH)	237
4.3	Prinzipien und Verfahren nach TR IH, Teil 1 und DIN EN 1504-9 bzw. ISO 16311-3	213	6.4.6	SRM, SRC nach TR IH	238
4.3.1	Prinzipien und Verfahren bei Schäden im Beton	214	6.5	Verfahren zur Sicherstellung der Zuver- lässigkeit und Genauigkeit der erklärten Leistung	247
4.3.1.1	Prinzip 1 – Schutz gegen das Eindringen von Stoffen	214	6.5.1	Abweichende Regelungen für Betonersatz nach den Regelwerken der BAST und der BAW	247
4.3.1.2	Prinzip 2 – Regulierung des Wasserhaushaltes des Betons	216	6.6	Zusammenfassung	248
4.3.1.3	Prinzip 3 – Reprofilierung oder Querschnittsergänzung	216	7	Rissfüllstoffe in der Betoninstandsetzung – Hinweise und Praxisbeispiele zur Produktauswahl und Verwendung	249
4.3.1.4	Prinzip 4 – Verstärken des Betontragwerks	217	7.1	Rissfüllstoffe nach aktuellen Regelwerken	249
4.3.1.5	Prinzip 5 – Erhöhung des physikalischen Widerstands	218	7.2	Instandsetzungsprinzipien, Verfahren und Ziele zur Instandsetzung von Rissen	249
4.3.1.6	Prinzip 6 – Erhöhung des Widerstandes gegen chemischen Angriff	219	7.2.1	Instandsetzungsprinzipien zur Instandsetzung von Rissen	249
4.3.2	Prinzipien und Verfahren bei Bewehrungskorrosion	219	7.2.2	Instandsetzungsverfahren zur Instandsetzung von Rissen	250
4.3.2.1	Prinzip 7 – Erhalt oder Wieder- herstellung der Passivität	219	7.2.3	Instandsetzungsziele zur Instandsetzung von Rissen	250
4.3.2.2	Prinzip 8 – Erhöhung des elektrischen Widerstandes	221	7.3	Planungsgrundlagen	252
4.3.2.3	Prinzip 9 – Kontrolle kathodischer Bereiche	221	7.3.1	Projektspezifische Auswahlkriterien	252
4.3.2.4	Prinzip 10 – Kathodischer Schutz	221	7.3.2	Feststellung und Bewertung von Riss-/Hohlraummerkmalen	252
4.3.2.5	Prinzip 11 – Kontrolle anodischer Bereiche	222	7.4	Rissfüllstoffe	254
5	Oberflächenschutzsysteme – Hinweise und Praxisbeispiele zur Produktauswahl und Verwendung	222	7.4.1	Anforderungen an Rissfüllstoffe und Systeme	254
5.1	Einleitung	222	7.4.2	Rissfüllstoffe zum kraftschlüssigen Füllen (F)	254
5.2	Kriterien für die Auswahl der relevanten Regelwerke	223	7.4.3	Rissfüllstoffe zum dehnbaren Füllen (D)	256
5.3	TR Instandhaltung (TR IH)	224	7.4.4	Rissfüllstoffe zum Schließen von Rissen und Abdichten	256
5.4	Abwasseranlagen	226	7.4.5	Verwendung von Rissfüllstoffen in Abhängigkeit von Füllzielen, Verfahren, Füllarten, Feuchtezustand und Einwirkungen	256
5.5	Trinkwasseranlagen	227	7.4.6	Übereinstimmungsnachweis	257
5.6	Kühltürme und Schornsteine	227			
5.7	Gewässerschutz – allgemeine und spezielle Zulassungs- und Prüfgrundsätze des DIBt	228			
5.8	Zusammenfassung und Ausblick	229			

7.5	Typische Verwendungsbeispiele für die Praxis 260	8.2.8	Nachbearbeitung von Betonoberflächen im Anschluss an mechanische Abtragsverfahren 268
7.5.1	Verwendungsbeispiel zum Schließen von Rissen 260	8.3	Betonabtrag 269
7.5.2	Verwendungsbeispiel Abdichten von Rissen 260	8.3.1	Im Handlänzeinsatz 269
7.5.3	Verwendungsbeispiel kraftschlüssiges Verbinden 260	8.3.2	Automatisiert mit Abtragsrahmen und Kleinrobotern 270
7.5.4	Verwendungsbeispiel dehnbares Verbinden 260	8.3.3	Automatisiert mit Großrobotern 270
7.6	Überwachung auf der Baustelle 262	8.3.4	Nacharbeiten 271
7.7	Zusammenfassung 263	8.3.4.1	Abtrag der Strahlschatten 271
8	Ausführung – Untergrundvorbereitung und Betonabtrag mittels Hochdruckwasserstrahlen (kurz: HDWS) 263	8.3.4.2	Grobreinigung 271
8.1	Allgemeines 263	8.3.4.3	Feinreinigung 272
8.1.1	Wirkungsweise des Hochdruckwasserstrahls auf den Betonuntergrund 263	8.4	Arbeits- und Lärmschutz 272
8.1.2	Vorzüge des Hochdruckwasserstrahlens bei der Instandsetzung von Betonbauteilen 264	8.4.1	Arbeitsschutz Baustellen- und Bedienpersonal 272
8.2	Untergrundvorbereitung mittels HDWS 265	8.4.2	Lärmschutz Bedienpersonal und Umgebung 272
8.2.1	Allgemeines 265	8.5	Umweltschutz und Entsorgung 273
8.2.2	Reinigen von Oberflächen 266	8.5.1	Aufbereitung des Strahlwassers 273
8.2.3	Entfernen von Anstrichen und Beschichtungen (OS-Systeme) 266	8.5.2	Entwässerung Betonschlamm 274
8.2.4	Entfernen der Zementhaut und Öffnen von Poren und Lunkern 266	8.5.3	Betonabbruch 274
8.2.5	Abtrag von mineralischen und/oder kunststoffmodifizierten Schichten 266	9	Instandhaltungsplan für Betonbauwerke 274
8.2.6	Dekontamination von Oberflächen und Abtrag von schadstoffhaltigen Beschichtungen 267	9.1	Begriffe und Definitionen 274
8.2.7	Aufräuen von Betonoberflächen 268	9.1.1	Normen und Regelwerke 274
		9.1.2	Begriffsdefinitionen 275
		9.1.3	Forderung der Instandhaltung in Vorschriften und Regelwerken 275
		9.2	Grundsätze für die Instandhaltungsplanung von Betonbauwerken 275
		9.3	Inspektion 277
		9.4	Wartung 278
		9.5	Bauwerksbuch 278
		9.6	Zusammenfassung 279
		10	Literatur 279
III	Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen in Österreich 287		
	Reinhard Pammlinger		
1	Einleitung 289	3.2.2	Ist-Zustandserhebung (Bauwerksprüfung) 292
2	Grundlegende Regelwerke hinsichtlich des Schutzes und der Instandsetzung von Betonbauteilen in Österreich 289	3.2.2.1	Organoleptische Prüfung des Bauwerkszustands 292
2.1	Anwendungsbereich und Gliederung der öbv-Richtlinie „Erhaltung und Instandsetzung von Bauten aus Beton und Stahlbeton“ und der ÖNORM B 4706 – „Instandsetzung von Betonbauwerken“ 290	3.2.2.2	Zerstörungsfreie Prüfverfahren 292
		3.2.2.3	Bauteilgefügestörende Prüfverfahren 295
		3.2.3	Dokumentation der Bauwerksprüfungen 298
		3.2.4	Bewertung der Ist-Zustandserhebung/ Bewertung des Bauwerkszustands 298
3	Festlegungen hinsichtlich der Bewertung des Bauwerkszustands/Bestandsanalyse 290	4	Grundsätze der Instandsetzung in Österreich 300
3.1	Qualifikation der Prüfer/ Gutachter/Planer 290	4.1	Beurteilung der Korrosionsgefahr 300
3.2	Durchführung der Bestandsanalyse 291	4.1.1	Korrosionsgefährdung durch karbonatisierten Beton 300
3.2.1	Sichtung und Bewertung der Bestandsunterlagen 291	4.1.2	Korrosionsgefährdung durch chloridkontaminierten Beton 301

4.1.3	Beeinträchtigung von Anstrichen oder Beschichtungen durch Chloridkontamination im (unbewehrten) Betonuntergrund	303	4.3.1.8	Oberflächenschutz	314
4.2	Anwendung der Schutzprinzipien in Österreich	303	4.3.1.9	Risse und Hohlräume	314
4.2.1	Wiederherstellen des aktiven Korrosionsschutzes der Bewehrung durch einen hydraulisch gebundenen Mörtel ausreichender Dicke und Dichte – Aktiver Korrosionsschutz	304	4.3.1.10	Umbau, Teilerneuerung, Verstärkung	315
4.2.1.1	Karbonatisierungsbedingte Bewehrungskorrosion	304	5	Instandsetzungsprodukte	315
4.2.1.2	Chloridinduzierte Bewehrungskorrosion	304	5.1	Eignungs- und Gütenachweise für Instandsetzungsprodukte	316
4.2.2	Sicherstellung des aktiven Korrosionsschutzes der Bewehrung durch einen hydraulisch gebundenen Mörtel ausreichender Dicke und Dichte oder durch einen Oberflächenschutz – Passiver Korrosionsschutz	305	5.1.1	CE-Kennzeichnung, Leistungserklärung, wPk	316
4.2.3	Wiederherstellen des aktiven Korrosionsschutzes der Bewehrung, wenn die ausreichende Betonüberdeckung mit einem Mörtel nicht hergestellt werden kann	306	5.1.2	Typprüfung	317
4.3	Instandsetzungskonzept	306	5.1.3	Einbauprüfung	317
4.3.1	Untergrundvorbereitung, Freilegen und Reinigen der Bewehrung, Korrosionsschutz	306	5.1.4	Gütezeichenprüfung (GP) und Regelprüfung (RP)	317
4.3.1.1	Untergrundvorbereitung	306	5.1.5	öbv-Gütezeichen für Instandsetzungsprodukte	317
4.3.1.2	Freilegen und Reinigen der Bewehrung	307	5.2	Anforderungen an die Instandsetzungsprodukte	317
4.3.1.3	Korrosionsschutz	309	5.2.1	Oberflächenschutzsystem (OFS)	318
4.3.1.4	Feuchtezustand Untergrundbeton und Haftbrücke	310	5.2.1.1	Hydrophobierung	318
4.3.1.5	Reprofilieren der Ausbruchstellen	311	5.2.1.2	Imprägnierung	318
4.3.1.6	(Punktuelle) Erhöhung der Betonüberdeckung	311	5.2.1.3	Anstrich und Beschichtung	319
4.3.1.7	Nacharbeiten, Nachbehandlung	314	5.2.2	Instandsetzungsmörtel	320
			5.2.3	Korrosionsschutz	321
			6	Instandsetzungsarbeiten	321
			6.1	Anforderungen an die Instandsetzungsfachbetriebe	321
			6.1.1	öbv-Gütezeichen für Instandsetzungsfachbetriebe	322
			6.2	Überwachung der Instandsetzungsarbeiten	322
			6.2.1	Prüfungen bei der Anwendung	322
			6.2.2	Eigenüberwachung während der Instandsetzungsarbeiten	322
			6.2.3	Fremdüberwachung der Instandsetzungsarbeiten	322
			7	Literatur	323

IV Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen in der Schweiz 325
 Raphael List, Yves Schiegg, Björn Mühlán

1	Schweizer Normen und Regelwerke	327	4	Injektionen an Betonbauteilen und Rissanierung	338
1.1	Regeln der Baukunde	327	4.1	Normative Bestimmungen	338
1.2	Übersicht Regelwerke Schweiz	327	4.2	Praxis Schweiz	338
1.3	Norm SIA 469: Erhaltung von Bauwerken	328	5	Korrosionsschutz der Bewehrung	338
1.4	Norm SIA 269	328	5.1	Normative Bestimmungen	338
1.5	Normenwerk SN EN 1504	332	5.2	Kathodischer Korrosionsschutz (KKS) und dessen Anwendung in der Schweiz	338
2	Oberflächenschutzsysteme für Beton	333	6	Ultra-Hochleistungs-Faserbeton – eine steigende Tendenz	340
2.1	Normative Bestimmungen	333	7	Erhaltungsplanung der Nationalstraßen	340
2.2	Praxis Schweiz	334	7.1	ASTRA	340
3	Statisch und nicht statisch relevante Instandsetzung	335	7.2	Prozess Erhaltungsplanung	340
3.1	Normative Bestimmungen	335			
3.2	Praxis Schweiz – konventionelle Instandsetzung	336			

7.3	Beispiel: Erhaltungsprojekt A4 Küssnacht-Brunnen 341	8.2	Anwendung in der Schweiz 343
8	Qualitätssicherung 342	9	Trend und Entwicklung 344
8.1	Normative Bestimmungen 342	10	Literatur 345

V Die neue Erhaltungsstrategie für Brücken der Bundesfernstraßen 347

Andreas Jackmuth, Wilfried König, Gero Marzahn, Olaf Mertzsch, René Pinnel

1	Einleitung 349	4.4.3	Kombinierte Strategien 361
2	Brückenbestand der Bundesfernstraßen 349	4.5	Berücksichtigung der Brücken- modernisierung 362
3	Erhalt und Modernisierung von Brücken 351	4.6	Berücksichtigung exponierter Bauwerke 362
3.1	Grundlagen und Systematik der Bauwerkserhaltung 351	5	Anwendung der neuen Strategie 363
3.2	Erhaltungsmanagement im konstruktiven Ingenieurbau 352	5.1	Erhaltungsbedarfsprognose 363
3.3	Brückenmodernisierung als Teil der Erhaltung 354	5.1.1	Objektbezogene Bestandsdaten 364
3.4	Exponierte Bauwerke in der Bauwerkserhaltung 355	5.1.2	Standarderhaltungsstrategie 364
4	Erhaltungsstrategie für Bauwerke der Bundesfernstraßen 355	5.1.3	Schadensentwicklung 364
4.1	Erhaltungsziele 355	5.1.4	Baukostenfunktion 364
4.1.1	Zielkriterium „Verkehrssicherheit“ 355	5.2	Maßnahmenempfehlungen 365
4.1.2	Zielkriterium „Bauwerkszustand und Tragfähigkeit“ 357	5.3	Investitionsprogramme 365
4.1.3	Zielkriterium „Wirtschaftlichkeit“ 358	6	Entwicklung eines Programmsystems zur Erhaltungsbedarfsprognose von Ingenieurbauwerken 365
4.1.4	Zielkriterium „Verfügbarkeit“ 358	6.1	Beispielrechnung 1: Reaktive Erhaltungs- strategie mit kontrollierter Schadens- entwicklung und kontrollierter Alterung in der zweiten Nutzungsphase 367
4.2	Leitsätze 359	6.2	Beispielrechnung 2: Präventive Erhaltungs- strategie mit kontrollierter Schadens- entwicklung und kontrollierter Alterung in der zweiten Nutzungsphase 369
4.3	Kennzahlen 359	7	Zusammenfassung und Ausblick 372
4.4	Erhaltungsstrategien 359	8	Literatur 373
4.4.1	Erhaltungsstrategie mit kontrollierter Schadensentwicklung 359		
4.4.2	Erhaltungsstrategie mit regelmäßigen Intervallen 360		

VI Robustheit von Ingenieurstrukturen 375

Alfred Strauss, Andreas Pürgstaller, Stefano Pampanin, Panos Spyridis, Konrad Bergmeister

1	Was ist Robustheit? 377	3.1	Allgemeines 389
1.1	Allgemeines 377	3.2	Bekannte Ereignisse mit zufälliger Eintrittswahrscheinlichkeit 389
1.2	Extremereignisse im Bauwesen 377	3.3	Unbekannte Ereignisse 390
1.3	Resilienz – eine Systembetrachtung 378	3.3.1	Fiktive Schadensszenarien 390
2	Entwurf und Konstruktion 378	3.3.2	Ausfall von tragenden Bauteilen 390
2.1	Allgemeines 378	3.3.3	Verschlechterungsszenarien an Tragsystemen 390
2.2	Konstruktive Robustheit – Schlüsselemente 384	3.3.4	Lasten für fiktive Schadensszenarien 390
2.3	Schadensbasierte Robustheit 385	4	Bewertungsmethoden zur Ermittlung der Robustheit 391
2.4	Risikobasierte Robustheit 386	4.1	Allgemeines 391
2.5	Tragstrukturanalyse für eine konstruktive Robustheit 386	4.2	Lastpfadstrategie 391
2.6	Robustheit bei redundanten Systemen 388	4.3	Folgenreduktions-Strategie 392
2.7	Robustheit bestehender Strukturen 388	4.4	Ereignissteuerungsstrategie 392
3	Einwirkungsszenarien 389		

4.5	Quantifizierung der Einwirkungen und des Widerstands: Methode der Schlüsselemente	392	6.5.1	Einführung	399
5	Quantifizierung der Robustheit	392	6.5.2	Übersicht über das Verfahren	400
5.1	Allgemeines	392	6.5.3	Kapazitätsmodelle	401
5.2	Quantifizierungsarten	393	6.5.4	Hierarchie der Beanspruchbarkeiten	402
5.2.1	Deterministische Quantifizierung	393	6.5.5	Globale Kapazität	403
5.2.2	Schadensbasierte Quantifizierung	394	6.5.6	Kapazität versus Einwirkung	405
5.2.3	Risikobasierte Quantifizierung	394	6.6	Ableiten von Ertüchtigungsmaßnahmen – Robustheits- und Redundanzsteigerungen	405
5.2.4	Redundanzindexbasierte Quantifizierung	395	6.7	Zusammenfassung	409
5.2.5	Empfehlungen	395	7	Konzeptionelle Robustheitsbewertung und Robustheitsquantifizierung	410
6	Konzepte zur seismischen Robustheit	396	7.1	Konzeptionelle Robustheitsmaßnahmen	410
6.1	Kapazitätsbemessung	397	7.1.1	Empfehlungen und Richtlinien	410
6.2	Reduktion des seismischen Risikos	397	7.1.2	Ablauf der Robustheitsbewertung	410
6.3	Paradigmenwechsel: weg von einer reinen Kollapsvermeidung hin zu einer verhaltensbasierten Bemessung	398	7.1.3	Mikroebene	410
6.4	Numerische Berechnungsmethoden	399	7.1.4	Mesoebene	410
6.5	Vereinfachte Mechanismusmethode (SLaMA)	399	7.1.5	Makroebene	414
			7.2	Zusammenfassung	414
			8	Literatur	415

VII Nachhaltig konstruieren und bauen mit Beton 421

Michael Haist, Konrad Bergmeister, Manfred Curbach, Patrick Forman, Georgios Gaganelis, Jesko Gerlach, Peter Mark, Jack Moffatt, Christoph Müller, Harald S. Müller, Jochen Reiners, Christoph Scope, Matthias Tietze, Klaus Voit

1	Einführung	424	4.2.3.3	Optimierung der Kornverteilungskurve des Korngemischs	458
2	Anforderungen an das Bauen von Morgen	426	4.2.3.4	Berechnung der Packungsdichte des Korngemischs	458
2.1	Ausgangssituation	426	4.2.3.5	Berechnung der Mischungszusammensetzung	460
2.2	Zielszenario	427	4.2.4	Eigenschaften ökologisch optimierter Betone	460
3	Nachhaltigkeitsbewertung	427	4.2.4.1	Frischbetoneigenschaften	461
3.1	Ökobilanzierung von Baustoffen und Bauwerken	428	4.2.4.2	Mechanische Eigenschaften	466
3.2	Nachhaltigkeitszertifizierungssysteme	431	4.2.4.3	Dauerhaftigkeit	469
3.3	Umweltverträglichkeit	433	4.2.4.4	Umweltwirkungen	474
4	Nachhaltigkeit auf der Baustoffebene	434	4.3	Bewehrung	476
4.1	Einführung	434	4.3.1	Einführung	476
4.2	Beton	435	4.3.2	Betonstahl	476
4.2.1	Grundsätze zur Herstellung umwelt- und ressourceneffizienter Betone	435	4.3.3	Carbonfasern für Carbonbeton	479
4.2.2	Betonausgangsstoffe und deren Verfügbarkeit	437	4.3.3.1	Herstellprozess Carbonfasern	479
4.2.2.1	Bindemittel und Betonzusatzstoffe	440	4.3.3.2	Carbonbewehrung und deren Herstellung	480
4.2.2.2	Gesteinskörnungen	446	4.3.3.3	Ökobilanzielle Betrachtung des Herstellprozesses von Carbonfasern	480
4.2.2.3	Betonzusatzmittel	456	4.3.3.4	Ökobilanzielle Betrachtungen anderer relevanter Prozesse und Materialien für die Herstellung von carbonbasierten Bewehrungen	481
4.2.3	Mischungsentwicklung umwelt- und ressourceneffizienter Betone	456	4.3.3.5	Einordnung und Vorteilhaftigkeit der Carbonbewehrung	481
4.2.3.1	Prinzipielles Vorgehen	457	4.3.4	Sonstige alternative Bewehrungssysteme	482
4.2.3.2	Experimentelle Bestimmung der Packungsdichte der einzelnen Ausgangsstoffe	458			

4.4	Einflüsse aus Herstellung, Transport und Einbau des Betons	483	6.1	Grundlagen	501
5	Nachhaltigkeit auf der Bauteil- und Bauwerksebene	485	6.2	Klimaverträglichkeit auf der Baustoffebene	501
5.1	Einführung	485	6.3	Grenzzustand der Klimaverträglichkeit auf der Bauteilebene	502
5.2	Optimierungsgestütztes Entwerfen und Bemessen	487	6.3.1	Grundlegendes Nachweisformat	502
5.2.1	Topologische Optimierung	488	6.3.2	Eingangsgrößen des Bemessungsansatzes	505
5.2.2	Materialgerechte Steuerung	489	6.3.2.1	Planmäßige Nutzungsdauer und rechnerische Lebensdauer	505
5.2.3	Innere Bewehrungsfindung	490	6.3.2.2	Umweltwirkungen $GWP_{eco, BM}$ und $GWP_{ref, BM}$	507
5.2.4	Hohlkörper in Platten und Wänden	491	6.3.2.3	Grenzzustand α_{GWP}	508
5.3	Aspekte der Herstellung und Bauverfahren	492	6.3.3	Anwendungsbeispiel	509
5.4	Bauteile aus Carbonbeton	492	6.4	Grenzzustand der Klimaverträglichkeit auf Tragwerks- bzw. Bauwerksebene	514
5.4.1	Einführung in die Carbonbetonbauweise	492	7	Konsequenzen	515
5.4.2	Abgrenzung Carbonbeton zu Stahl- und Faserbetonen	493	7.1	Konsequenzen für das Bauen	515
5.4.3	Regulatorischer Druck	494	7.2	Konsequenzen für die Ausbildung von Studierenden und PraktikerInnen	516
5.4.4	Ausgewählte Fallstudienresultate für Carbonbeton	495	7.2.1	GeologInnen und MineralogInnen	516
5.4.5	Carbonbeton als kreislauffähiges Material	498	7.2.2	Baustoff- und BetontechnologInnen	516
5.5	Gesetzliche und normative Regelungen	499	7.2.3	BauingenieurInnen	517
6	Bemessung im Grenzzustand der Klimaverträglichkeit	501	8	Danksagung	517
			9	Literatur	518

Stichwortverzeichnis XXXI

Inhaltsverzeichnis Teil 2

VIII	Digitale Zustandserfassung von Gebäuden, Infrastrukturbauwerken und Naturgefahren	533
	Konrad Bergmeister, Alfred Strauss, Markus Hoffmann	
1	Einleitung	535
2	Aktueller Stand der Technik	536
2.1	Schallemissionsverfahren	536
2.2	Impuls-Echo	537
2.3	Radar	537
2.4	Georadar	538
2.5	Infrarot-Verfahren	540
2.6	Elektromagnetische Verfahren	540
2.7	Laserscan	541
2.8	LiDAR	541
2.9	Infrarotkamera	541
2.10	Hyperspektralkamera	543
2.11	Sensoren für Drohnen	545
2.12	Sensoren für die Navigation	545
2.13	Digitale Bilderfassung mit Drohnen und Sensoren	546
2.14	Radarinterferometrie	550
2.15	Übersicht über digitale Zustandserfassungsmethoden und Sensoren mittels Drohnen	551
2.16	Digitale Zustandserfassungsmethoden für Bauwerke und Naturgefahren	554
2.17	Automatisierte Schadensdetektion	555
3	Datenmanagement bei der digitalen Zustandserhebung	556
3.1	Einführung	556
3.2	Datenformate	558
3.3	Digitale Erfassung mit Drohnen	559
3.3.1	Erfassung	559
3.3.2	Flugplanung	559
3.3.3	Fotogrammetrische Erfassung	561
3.3.4	Laserscanning	561
3.3.5	Weitere Erfassungsmethoden	562
3.4	Prozessierung der Daten	563
3.5	Visualisierung der Ergebnisse	563
3.6	Datenauswertung und Aufbereitung	567
3.7	Georeferenzierung	570
3.8	Tiles, Clipping und Layering	570
3.9	Punktwolke, Tin, Mesh, 3D-Objekte, Textur	571
3.10	Filterung, Editierung und Visualisierung	571
3.11	Datenbankkonzept	572
3.12	Lebenszyklus-Management auf digitaler Basis	573
4	Beispiele einer digitalen Zustandserfassung von Bauwerken	575
4.1	Konzeption einer Zustandserfassung	575
4.2	Bestandserfassung eines Gebäudes	576
4.3	Digitale Zustandserfassung einer Bogenbrücke	580
4.4	Datenauswertung am Beispiel von Schutzbauwerken	584
4.5	Zustandsanalyse mit digitalen, mobilen Methoden	588
5	Digitale Zustandserfassung von Naturgefahren	592
5.1	Einleitung	592
5.2	Konzeption einer Zustandserfassung	593
5.3	Einsatzplanung und Sicherheitsvorkehrung am Beispiel einer Mure	594
5.4	Einsatzplanung und Sicherheitsvorkehrungen bei Schneemächtigkeitserfassungen und Lawinensprengung	595
5.5	Datenauswertung UAS	596
5.5.1	Schüttmuren	596
5.5.2	Schneezustandserfassung	599
5.6	Empfehlungen	603
6	Zusammenfassung und Ausblick	604
7	Literatur	604
IX	Künstliche Intelligenz – multiskale und cross-domäne Synergien von Raumfahrt und Bauwesen	607
	Michael A. Kraus, Michael Drass, Bianca Hörsch, Jens Schneider, Walter Kaufmann	
1	Einleitung und Motivation	614
2	Digitale Transformation als Voraussetzung für den Einsatz von künstlicher Intelligenz – Status quo und aktuelle Trends in der Raumfahrt und dem Bauwesen	615
2.1	Allgemeines	615
2.2	Building Information Modeling (BIM)	615
2.2.1	Definitionen und Hintergrund	615
2.2.2	Industry Foundation Class (IFC)	617
2.2.3	Level of Development, Detail, Geometry, Information, Information Need	617
2.2.4	Vergleich von Product Lifecycle Management und BIM	619
2.3	Digitaler Zwilling/Digital Twin	620
2.3.1	Überblick und Definitionen	620
2.3.2	Wechselbeziehung der BIM- und Digitaler-Zwilling-Technologie	620
2.4	Internet der Dinge/Internet of Things (IoT) und Bauen/Construction 4.0	620

2.5	Digitale Bauproduktion, Automatisierung und Robotik	622	4.5.5	Telekommunikationsdaten	649
3	Künstliche Intelligenz – Einführung und Grundlagen	624	4.6	Digitale Zwillinge in der Raumfahrt	650
3.1	Allgemeine KI-Methodik aus der Raumfahrt	624	4.6.1	Konzeption aus der Raumfahrt	650
3.2	Wahrnehmung und Lernen/Perception und Learning	625	4.6.2	Digitaler Zwilling „Weltraum-Mission“ in der Entwicklungsphase	651
3.2.1	Allgemeines	625	4.6.3	Digitaler Zwilling „Erde“	653
3.2.2	Grundlagen zu KI-Algorithmen, Modellen und Daten	625	5	Anwendungsbeispiele zum Einsatz von künstlicher Intelligenz bei Brücken	654
3.2.3	Maschinelles Lernen/Machine Learning	630	5.1	Hintergrundinformationen zu Lebenszyklusphasen von Brücken	654
3.2.4	Tiefes Lernen/Deep Learning	634	5.2	Lebenszyklusphase „Entwurf“	655
3.2.5	Prädiktion und Vorhersage/Prediction and Forecasting	636	5.2.1	Konzeptionelle Idee	655
3.2.6	Textanalyse/Text Mining	636	5.2.2	KI-FEM-Hybride zur Analyse und Bemessung von Stahlbetonstrukturen	656
3.2.7	Sprachverarbeitung/Natural Language Processing	637	5.2.3	Pareto-optimales generatives Design für Stahlbetonbrücken	659
3.3	Wissensrepräsentation und Schlussfolgerung/ Knowledge Representation and Reasoning	637	5.3	Lebenszyklusphase „Konstruktion“	663
3.3.1	Hintergrund zur Wissensrepräsentation	637	5.4	Lebenszyklusphasen „Betrieb und Instandhaltung“	666
3.3.2	Wissensmodellierung/Knowledge Engineering	637	5.4.1	Lebenszykluskosten einer baulichen Anlage	666
3.3.3	Erklärbare künstliche Intelligenz/ Explainable Artificial Intelligence	638	5.4.2	Beispiel – Deep Learning zur Schadensdetektion von Bahnbrücken	666
3.3.4	Planung und Terminierung/Planning and Scheduling	638	6	Zusammenfassung, Synopse und Epilog	670
4	Status quo und Zukunftsagenda von künstlicher Intelligenz in der Raumfahrt	639	6.1	Allgemeine Hinweise	670
4.1	KI-Strategie der Europäischen Weltraumorganisation	639	6.2	Zusammenfassung	670
4.2	Design und Planung	639	6.3	Synopse und Resümee	671
4.2.1	System Engineering	639	6.3.1	Allgemeines	671
4.2.2	Design von Satelliten und Nutzlast-/ Daten-Optimierung	640	6.3.2	Synopse von Raumfahrt und Bauwesen bezüglich des Austauschs von Daten	671
4.2.3	Führung, Navigation und Kontrolle	641	6.3.3	Synopse von Raumfahrt und Bauwesen bezüglich der digitalen Transformation und künstlichen Intelligenz	674
4.2.4	Entwurf operativer Konzepte	643	6.3.4	Implikationen für die Forschung in Architektur und Bauwesen	677
4.3	Bau, Integration und Verifikation	643	6.3.5	Implikationen für die Praxis in Architektur und Bauwesen	679
4.3.1	Entwicklung und Bau	643	6.3.6	Implikationen für die Ausbildung, Lehre und Weiterbildung	679
4.3.2	Zuverlässigkeit und Sicherheit	644	6.4	Ausblick und allgemeine Trends der künstlichen Intelligenz	680
4.4	Operationelle Phase und Betrieb	644	6.4.1	Gartner Hype-Cycle zu emergenten Technologien	680
4.4.1	Allgemeines	644	6.4.2	Erklärbare KI	680
4.4.2	Anomalien im Betrieb	644	6.4.3	Demokratisierung von KI	681
4.4.3	Missionsplanung und Optimierung	645	6.4.4	Automatisierte KI	681
4.4.4	Automatisierter Missionsbetrieb	645	6.4.5	KI-Sprachmodelle	682
4.4.5	Autonomie von Missionen	645	6.4.6	Augmentierte Intelligenz durch KI	682
4.5	Datenauswertung	647	6.5	Epilog der Autoren	682
4.5.1	Allgemeine Informationen	647	7	Danksagung	683
4.5.2	Erdbeobachtungsdaten	647	8	Literatur	683
4.5.3	Weltraumwissenschaftliche Daten	647			
4.5.4	Navigationswissenschaftliche Daten	648			

X Digitale Fertigung im Betonbau 691

Ksenija Vasilic, Norman Hack, Harald Kloft, Dirk Lowke, Viktor Mechtcherine, Venkatesh Naidu Nerella, Timothy Wangler

- | | | | | | |
|-----|---|-----|-----|---|-----|
| 1 | Einleitung | 693 | 5.1 | Betone für den 3D-Druck – neue Anforderungen | 704 |
| 2 | Digitale Fertigung – Allgemeines | 693 | 5.2 | Kontrolle der Materialeigenschaften (Rheologie) | 706 |
| 3 | Digitale Fertigung in der Architektur- und der Bauindustrie | 694 | 5.3 | Kontrolle der Materialeigenschaften (Hydratation etc.) | 708 |
| 3.1 | Historischer Überblick | 694 | 6 | Integration von Bewehrung | 709 |
| 3.2 | Potenziale der digitalen Fertigung für das Bauwesen | 696 | 6.1 | Statisch-konstruktive Anforderungen und prozessspezifische Funktionen | 709 |
| 3.3 | Klassifizierung | 696 | 6.2 | Repräsentative Bewehrungsstrategien | 710 |
| 4 | Digitale Fertigungsverfahren im Betonbau | 698 | 6.3 | Bewehrungsintegration als automatisierter Prozessschritt | 712 |
| 4.1 | Auf Extrusion basierende Fertigungsverfahren | 698 | 7 | Industrielle Implementierung der additiven Fertigung im Bauwesen | 715 |
| 4.2 | Partikelbett-3D-Drucken | 699 | 8 | Herausforderungen und Perspektiven | 718 |
| 4.3 | Spritzbetonverfahren | 701 | 9 | Schlussfolgerungen und Ausblick | 718 |
| 4.4 | Digital Casting | 702 | 10 | Literatur | 719 |
| 5 | Materialaspekte | 704 | | | |

XI Die Digitalisierung des Planens und Bauens – Ansätze und Ziele 725

Lucio Blandini, Roland Bechmann, Matteo Brunetti

- | | | | | | |
|-------|---|-----|-------|---|-----|
| 1 | Einleitung | 727 | 4.4 | Engineering | 743 |
| 2 | Die BIM-Methode: Einfluss beim Planen und Bauen | 727 | 4.4.1 | Allgemeines | 743 |
| 3 | Das Bahnprojekt Stuttgart 21 | 731 | 4.4.2 | Vorgespannte Bogenträger | 744 |
| 3.1 | Projektbeschreibung und Tragwerk | 731 | 4.4.3 | Schalentragwerk | 744 |
| 3.2 | Prozesse und Engineering | 733 | 4.4.4 | Einbauteile | 747 |
| 3.2.1 | Genehmigungsplanung | 733 | 4.5 | Fertigung | 748 |
| 3.2.2 | Ausführungsplanung | 734 | 5 | Forschung und Entwicklung | 751 |
| 3.3 | Fertigung | 736 | 5.1 | Gradientenbeton | 751 |
| 4 | Kuwait International Airport, Terminal 2 | 737 | 5.2 | Digital gestützte Fertigungsmethoden | 753 |
| 4.1 | Das Projekt – Struktur und Kontext | 737 | 5.3 | Adaptivität | 755 |
| 4.2 | Tragwerksbeschreibung | 738 | 5.4 | Prozessoptimierung durch digitale Werkzeuge | 756 |
| 4.3 | Prozesse | 740 | 5.5 | Kreislaufwirtschaft und Emissionsvermeidung | 757 |
| 4.3.1 | Allgemeines | 740 | 6 | Zusammenfassung und Ausblick | 758 |
| 4.3.2 | BIM-Modell | 741 | 7 | Danksagung | 758 |
| 4.3.3 | Berechnungsmodell | 742 | 8 | Literatur | 759 |

XII Verstärken mit Carbonbeton 761

Manfred Curbach, Sebastian May, Egbert Müller, Alexander Schumann, Elisabeth Schütze, Juliane Wagner

- | | | | | | |
|-------|-------------------------------|-----|---------|------------------------------------|-----|
| 1 | Allgemeines/Einführung | 763 | 1.2.3.1 | Dauerhaftigkeit | 765 |
| 1.1 | Motivation für diesen Beitrag | 763 | 1.2.3.2 | Dauerstandfestigkeit | 765 |
| 1.2 | Eigenschaften von Carbonbeton | 764 | 1.2.3.3 | Ermüdungsfestigkeit | 766 |
| 1.2.1 | Zugtragverhalten | 764 | 1.2.4 | Brand- und Hochtemperaturverhalten | 766 |
| 1.2.2 | Verbundverhalten | 764 | 1.3 | Nachhaltigkeit | 767 |
| 1.2.3 | Langzeitverhalten | 765 | | | |

2	Verstärkung	767	2.3.4	Längskraft	781
2.1	Einführung	767	2.3.4.1	Modellvorstellung für textilbetonverstärkte Stützen	781
2.2	Vorteile, Verfahrensschritte und Anwendungspotenziale von Carbonbeton in der Verstärkung	768	2.3.4.2	Hinweise zur Längskraftverstärkung	782
2.2.1	Verfahrensschritte bei der Verstärkung oder Sanierung	769	2.4	Regelwerke	782
2.2.2	Carbonbeton im Denkmalschutzbereich	770	2.4.1	abZ/aBG	783
2.2.2.1	Hochbau	770	2.4.2	ZiE/vBG	785
2.2.2.2	Brückenbau	771	2.4.3	Zukünftiges	785
2.2.2.3	Instandsetzung von Fahrbahndecken und -platten	772	2.5	Ausgeführte Projekte	787
2.2.2.4	Sonstige Anwendungsbereiche	772	2.5.1	Instandsetzung der Hyparschale Magdeburg	787
2.3	Berechnungsgrundlagen	773	2.5.2	Verstärkung des Beyer-Baus der TU Dresden	789
2.3.1	Biegung	773	2.5.3	Verstärkung der Brücken über die Nidda im Zuge der BAB A 648	791
2.3.1.1	Allgemeines	773	2.5.4	Verstärkung der Brücke Donauwörth	793
2.3.1.2	Herleitung des Berechnungsansatzes	774	2.5.5	Verstärkung einer Plattenbrücke in Kleinsaubernitz	793
2.3.1.3	Versagensmechanismen und weitere Bemessungsschritte	776	3	Neubau	794
2.3.2	Querkraft	777	3.1	CUBE	794
2.3.2.1	Allgemeines	777	3.2	S111	795
2.3.2.2	Berechnungsmodelle	778	3.3	Carport	796
2.3.3	Torsion	779	3.4	Brückenprojekte	796
2.3.3.1	Berechnungsmodell	779	3.5	Fassaden	797
2.3.3.2	Hinweise zur Verstärkung von torsionsbeanspruchten Bauteilen	780	4	Literatur	798

XIII Tragwerksplanung im Bestand in Österreich 805 Walter Potucek, Markus Vill

1	Einleitung	807	4.3.2.1	Mindestabmessungen und Mindestbewehrungen	812
2	Grundsätze	808	4.3.2.2	Mindestgüten von Werkstoffen	812
2.1	Allgemeines	808	4.3.2.3	Konstruktive Regeln	812
2.2	Anwendungsbereich	808	4.3.2.4	Baustoffe und deren Eigenschaften	812
2.3	Vertrauensgrundsatz	808	4.3.2.5	Nachweise für heute nicht mehr übliche Bauverfahren	812
2.4	Bestandserhebung bei Hochbauten	809	4.3.2.6	Nachweise der Gebrauchstauglichkeit	813
2.5	Zustandsbewertung bei Brücken	809	4.4	Nachrechnung mit reduzierter Zuverlässigkeit	813
2.6	Klassifizierung von Bauwerken	809	4.4.1	Allgemeines	813
3	Einwirkungen	810	4.4.2	Außergewöhnliche Beanspruchungen	813
3.1	Allgemeines	810	4.4.3	Erdbeben	814
3.2	Nutzlasten von Hochbauten	810	4.5	Rechnerischer Nachweis der Tragfähigkeit nach Normen, die bei der Errichtung des Bauwerks gültig waren	814
3.3	Verkehrslasten von Brücken	810	5	Rechnerischer Nachweis der Tragfähigkeit von Brücken	814
3.4	Außergewöhnliche Einwirkungen und Erdbeben	811	5.1	Allgemeines	814
4	Rechnerischer Nachweis der Tragfähigkeit von Hochbauten	811	5.2	Rechnerischer Nachweis der Tragfähigkeit	814
4.1	Allgemeines	811	5.3	Berechnung nach dem letztgültigen Normenstand	815
4.2	Nachrechnung nach aktuellem Normenstand	811	5.3.1	Nachrechnung nach Stufe 1	815
4.3	Zulässige Abweichungen vom aktuellen Normenstand	811			
4.3.1	Allgemeines	811			
4.3.2	Konstruktive Regeln und Regeln für die Ausführung	812			

<p>5.3.2 Nachrechnung nach Stufe 2 815</p> <p>5.3.2.1 Allgemeines 815</p> <p>5.3.2.2 Ermüdungsnachweise 816</p> <p>5.3.2.3 Verkehrslasten 816</p> <p>5.3.2.4 Außergewöhnliche Einwirkungen, Erdbeben 816</p> <p>5.3.3 Nachrechnung nach Stufe 3 816</p> <p>5.3.4 Bewertung nach Stufe 4 817</p> <p>6 Qualitative Bewertung der Tragfähigkeit 818</p> <p>6.1 Qualitative Bewertung von Hochbauten 818</p> <p>6.2 Qualitative Bewertung von Brücken 818</p> <p>7 Experimentelle Tragfähigkeitsbewertung am Bauwerk 818</p> <p>7.1 Bewertung von Tragwerken im Hochbau 818</p> <p>7.2 Bewertung von Brücken 819</p> <p>XIV Erläuterungen zur Richtlinie Belastungsversuche 829 Steffen Marx, Guido Bolle, Gregor Schacht</p> <p>1 Vorbemerkungen 831</p> <p>2 Normative Grundlagen und Einordnung in den Planungsprozess 831</p> <p>2.1 Normative Grundlagen 831</p> <p>2.2 Einordnung in die Bestandsbewertung 832</p> <p>2.3 Anwendungsbereich der Richtlinie für Belastungsversuche 833</p> <p>3 Erläuterungen zur neuen Richtlinie „Belastungsversuche an Betonbauwerken“ 834</p> <p>3.1 Begriffe und Versuchsarten 834</p> <p>3.2 Sicherheitskonzept 835</p> <p>3.2.1 Allgemeines 835</p> <p>3.2.2 Neues Konzept zur Bestimmung von Übertragungsbeiwerten 836</p> <p>3.2.3 Ableitung von Übertragungsbeiwerten bei kleiner Grundgesamtheit 837</p> <p>3.2.4 Festlegung der Übertragungsbeiwerte in der Richtlinie 838</p> <p>3.3 Versuchsplanung 840</p> <p>XV Normen und Regelwerke 855 Frank Fingerloos</p> <p>1 Einleitung 857</p> <p>2 Listen und Verzeichnisse 857</p> <p>2.1 Technische Baubestimmungen für den Beton- und Stahlbetonbau 857</p> <p>2.2 Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V. (DAfStb): Richtlinien und Hefte 876</p>	<p>8</p> <p>9</p> <p>9.1</p> <p>9.2</p> <p>10</p> <p>11</p> <p>11.1</p> <p>11.1.1</p> <p>11.1.2</p> <p>12</p> <p>13</p> <p>3.4</p> <p>3.5</p> <p>3.6</p> <p>4</p> <p>4.1</p> <p>4.2</p> <p>4.3</p> <p>4.4</p> <p>4.5</p> <p>5</p> <p>5.1</p> <p>5.2</p> <p>5.3</p> <p>6</p> <p>7</p> <p>2.3</p> <p>2.4</p>	<p>Zustandsaufnahme bestehender Bauwerke 819</p> <p>Mindestwiderstand bestehender Gebäude gegen Erdbeben 820</p> <p>Beanspruchungen infolge Erdbeben 820</p> <p>Widerstand bestehender Gebäude gegen Erdbebenbeanspruchungen 821</p> <p>Hinweise zu Konstruktions- und Berechnungsansätzen älterer Normen für Betonbauwerke 824</p> <p>Ergänzende Festlegungen zu baulichen Maßnahmen an Brücken 824</p> <p>Entscheidungsfindung für geplante bauliche Maßnahmen 824</p> <p>Instandsetzungsmaßnahmen 825</p> <p>Ertüchtigungsmaßnahmen 826</p> <p>Zusammenfassung 826</p> <p>Literatur 827</p> <p>Versuchsdurchführung und Bewertung vor Ort 842</p> <p>Versuchsgrenzlastkriterien 843</p> <p>Versuchsauswertung und -bericht 844</p> <p>Internationaler Stand der Technik 845</p> <p>Vorbemerkungen 845</p> <p>Großbritannien 845</p> <p>United States of America 845</p> <p>Weitere Staaten 846</p> <p>Vergleich und Diskussion 847</p> <p>Beispielberechnungen 848</p> <p>Aufgabenstellung 848</p> <p>Orientierende Berechnungen zur Abschätzung des Tragverhaltens 848</p> <p>Beispielberechnungen zum Sicherheitskonzept 850</p> <p>Schlussbetrachtungen 851</p> <p>Literatur 852</p> <p>Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. (DBV): Merkblätter, Sachstandberichte und Hefte 879</p> <p>Österreichische Bautechnik Vereinigung (ÖBV): Richtlinien, Merkblätter und Sachstandberichte 881</p>
--	--	--

3	DAfStb-Richtlinie Belastungsversuche an Betonbauwerken	883	7.3.2	Versuchslasten	887
	Inhalt	883	7.3.2.1	Tragsicherheitsbewertung (Versuchsart A)	887
	Vorbemerkung	883	7.3.2.2	Systemmessung (Versuchsart B)	888
	Änderungen gegenüber der Ausgabe „September 2000“	883	7.3.2.3	Tragfähigkeitsermittlung (Versuchsart C)	889
1	Anwendungsbereich	883	7.4	Messtechnik	889
2	Normative Verweisungen und ergänzende Regelwerke	884	7.5	Versuchsprogramm	889
3	Begriffe	884	8	Durchführung und Bewertung	889
4	Fachliche und technische Voraussetzungen	884	8.1	Allgemeines	889
5	Versuchsarten	885	8.2	Belastung	889
6	Voruntersuchungen	885	8.2.1	Lasterzeugung und -anordnung	889
6.1	Grundsätzliches	885	8.2.2	Belastungsfolge	889
6.2	Tragsystem, Geometrieparameter und Baustoffkennwerte	885	8.3	Messtechnik	890
6.3	Beurteilung des Erhaltungszustandes	886	8.4	Versuchsgrenzlastkriterien	890
6.4	Beurteilung des Tragverhaltens vor Versuchsdurchführung	886	8.5	Protokoll	892
7	Versuchsplanung	886	9	Auswertung	892
7.1	Allgemeines	886	9.1	Allgemeines	892
7.2	Zuverlässigkeitskonzept	886	9.2	Experimentelle Tragsicherheitsbewertung (Versuchsart A)	892
7.3	Ermittlung der Versuchslasten	887	9.3	Systemmessungen (Versuchsart B)	892
7.3.1	Lastanordnung	887	9.4	Experimentelle Tragfähigkeitsermittlung (Versuchsart C)	892
			9.5	Untersuchungsbericht	892
			Anhang A – Tabellen für die Bestimmung der Übertragungsfaktoren $\gamma_{\text{ÜR}}$ bei anderen Variationskoeffizienten (normativ) 893		
			4	Literatur	895

Stichwortverzeichnis 897