

Eugen Brühwiler
Christian Menn

Stahlbetonbrücken

Dritte, aktualisierte
und erweiterte Auflage

SpringerWienNewYork

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Formelzeichen xviii

- 1 Entwicklung des Betonbrückenbaus 1
 - 1.1 Brückenbau bis Ende des 19. Jahrhunderts 1
 - 1.2 Anfänge des Betonbrückenbaus 6
 - 1.3 Stahlbetonbrücken zwischen 1910 und 1940 11
 - 1.3.1 Brücken von Robert Maillart 11
 - 1.3.2 Betonbrücken in verschiedenen Ländern 13
 - 1.3.3 Weiterentwicklungen 21
 - 1.4 Erste Spannbetonbrücken (1930-1955) 21
 - 1.5 Entwicklung der Baumethoden zwischen 1950 und 1985 25
 - 1.6 Schrägkabelbrücken 32
 - 1.7 Neuester Stand und Tendenzen (1985-2000) 37
 - 1.7.1 Balken-, Rahmen- und Bogenbrücken 37
 - 1.7.2 Kabelverspannte Brücken 44
- 2 Entwurf 53
 - 2.1 Entwurfsziel 53
 - 2.1.1 Einleitung 53
 - 2.1.2 Zielsetzung 53
 - 2.1.3 Ästhetik und Wirtschaftlichkeit 54
 - 2.2 Entwurfsgrundlagen 55
 - 2.2.1 Einleitung 55
 - 2.2.2 Bauwerkspezifische, verkehrstechnische Vorgaben 56
 - 2.2.3 Ortspezifische Randbedingungen 57
 - 2.2.4 Umfeldbezogene Anforderungen 57
 - 2.2.5 Allgemeine funktionelle Anforderungen 58
 - 2.2.6 Kulturelle Anforderungen und immaterielle Werte 58
 - 2.2.7 Nutzungsplan und Sicherheitsplan 59
 - 2.2.8 Projektorganisation 60
 - 2.3 Wirtschaftlichkeit 61
 - 2.3.1 Einführung 61
 - 2.3.2 Baukosten von ausgeführten Brücken 62
 - 2.3.3 Abschätzung der Baukosten 64

- 2.3.4 Kosten für Überwachung und Unterhalt 66
- 2.3.5 Abbruchkosten 67
- 2.4 Ästhetik 68
 - 2.4.1 Grundsätzliches 68
 - 2.4.2 Brücke und Umfeld 69
 - 2.4.3 Gestaltung der Brücke 69
- 2.5 Überlegungen beim konzeptionellen Entwurf 73
 - 2.5.1 Einleitung 73
 - 2.5.2 Konzeptioneller Entwurf der Salginatobelbrücke 74
 - 2.5.3 Generelle Tragsysteme 76
 - 2.5.4 Mutationen von Tragsystemen 77
- 3 Baustoffe 81
 - 3.1 Beton 81
 - 3.1.1 Herstellung 81
 - 3.1.2 Festigkeit und kurzzeitiges Verformungsverhalten 86
 - 3.1.3 Ermüdungsfestigkeit 90
 - 3.1.4 Langzeitiges Verformungsverhalten 91
 - 3.2 Bewehrung 95
 - 3.2.1 Betonstahl 95
 - 3.2.2 Spannstahl 97
 - 3.2.3 Spannsysteme 100
 - 3.2.4 Ermüdung 102
 - 3.3 Beständigkeit von Stahlbeton 106
 - 3.3.1 Schadensbilder 106
 - 3.3.2 Beton und seine Poren 107
 - 3.3.3 Transportvorgänge 109
 - 3.3.4 Risse 111
 - 3.3.5 Bewehrungskorrosion 114
 - 3.3.6 Gefügeschädigung infolge Frost- und Frost-Tausalz-Einwirkung 117
 - 3.3.7 Gefügeschädigung infolge Alkali-Aggregat- und Sulfat-Reaktion 119
 - 3.4 Neuartige Baustoffe und Tendenzen 120
 - 3.4.1 Einleitende Bemerkung 120
 - 3.4.2 Hochleistungsfähiger Beton 120
 - 3.4.3 Hochleistungsfähiger Betonstahl 122
 - 3.4.4 Faserverbundwerkstoffe 123
 - 3.4.5 Beurteilung 124
- 4 Einwirkungen 125
 - 4.1 Arten von Einwirkungen 125
 - 4.1.1 Lasten und Kräfte 125

Inhaltsverzeichnis

- 4.1.2 Vorspannung 126
- 4.1.3 Zwängungen 127
- 4.1.4 Einwirkungen aus Umgebungseinflüssen 127
- 4.2 Ständige Lasten 129
- 4.3 Verkehrslasten 130
 - 4.3.1 Grundsätzliches 130
 - 4.3.2 Straßenlasten 131
 - 4.3.3 Bahnlasten 133
 - 4.3.4 Nutzlasten für Fußgänger und Radfahrer 135
 - 4.3.5 Anprall 136
- 4.4 Wind 138
 - 4.4.1 Grundsätzliches 138
 - 4.4.2 Statische Ersatzkräfte 139
 - 4.4.3 Kräfte aus dynamischen Effekten 142
- 4.5 Temperatur 142
- 4.6 Erdbeben 144
 - 4.6.1 Grundsätzliches 144
 - 4.6.2 Verfahren zur Ermittlung von Kräften und Verschiebungen 145
 - 4.6.3 Hinweise für Bemessung und konstruktive Durchbildung 148
- 4.7 Einwirkungen aus Baugrund 149
- 4.8 Brand 150
- 4.9 Weitere Einwirkungen 150

- 5 Grundlagen der Tragwerksanalyse, Bemessung und konstruktiven Durchbildung 151
 - 5.1 Grundsätze 151
 - 5.1.1 Einleitung 151
 - 5.1.2 Nachweis der Tragsicherheit 151
 - 5.1.3 Nachweis der Gebrauchstauglichkeit 153
 - 5.1.4 Gewährleistung der Dauerhaftigkeit 154
 - 5.1.5 Vorgehen bei der Bemessung 155
 - 5.2 Ermittlung der Schnittkräfte 155
 - 5.2.1 Grundlagen der Schnittkraftermittlung 155
 - 5.2.2 Schnittkräfte aus Lasten, Vorspannung und Zwängung 156
 - 5.3 Ermittlung des Querschnitts Widerstands 161
 - 5.3.1 Grundlagen 161
 - 5.3.2 Querschnittswiderstand bei Biegung und Normalkraft 165
 - 5.3.3 Querschnittswiderstand von Balken bei Querkraft 167
 - 5.3.4 Querschnittswiderstand von Balken bei Torsion 170
 - 5.3.5 Biege- und Zugwiderstand von Platten und Zugwiderstand von Scheiben 171
 - 5.4 Tragsicherheit von Balken, Platten und Scheiben 173
 - 5.4.1 Tragsicherheit von Balken 173

- 5.4.2 Tragsicherheit biegebeanspruchter Platten 173
- 5.4.3 Tragsicherheit von Scheiben 175
- 5.5 Mindestbewehrung 176
 - 5.5.1 Allgemeines 176
 - 5.5.2 Risschnittkräfte bei Biegung mit Normalkraft 177
 - 5.5.3 Beispiele 181
- 5.6 Anordnung der Bewehrung 192
 - 5.6.1 Allgemeines 192
 - 5.6.2 Verankerungen und Bewehrungsstöße 192
 - 5.6.3 Bewehrungsanordnung in Rahmenknoten 194
 - 5.6.4 Kraftfluss in Scheiben 197
 - 5.6.5 Kraftfluss in einem Träger mit aufgelöstem Querschnitt 199
- 5.7 Vorspannung 200
 - 5.7.1 Ziel der Vorspannung und Spannverfahren 200
 - 5.7.2 Vorspannkonzepte 201
 - 5.7.3 Konstruktive Hinweise 203
 - 5.7.4 Berechnung vorgespannter Querschnitte 207
 - 5.7.5 Stahlspannungen bei typischen Beanspruchungszuständen 211
 - 5.7.6 Vorspannung ohne Verbund 216
 - 5.7.7 Spannkraftverluste 220
- 5.8 Langzeiteinwirkungen 223
 - 5.8.1 Grundlagen 223
 - 5.8.2 Verformungsberechnungen 224
 - 5.8.3 Schnittkraftumlagerung bei Systemwechseln 225
 - 5.8.4 Spannungsumlagerung bei Zwängungen und Eigenspannungen 230
- 5.9 Tragsicherheit unter Ermüdungseinwirkungen 235
 - 5.9.1 Allgemeines 235
 - 5.9.2 Nachweis für Bewehrung aus Stahl 236
 - 5.9.3 Nachweis für Beton 238
- 5.10 Gebrauchstauglichkeit 239
 - 5.10.1 Funktionstüchtigkeit und Benutzerkomfort 239
 - 5.10.2 Aussehen 241
 - 5.10.3 Rissverhalten 241
 - 5.10.4 Verformungsverhalten 242
- 5.11 Gewährleistung der Dauerhaftigkeit 246
 - 5.11.1 Grundsätzliches 246
 - 5.11.2 Materialtechnologische Maßnahmen 247
 - 5.11.3 Konstruktive Maßnahmen 247
 - 5.11.4 Betonwiderstand 248
 - 5.11.5 Korrosionsschutz der Bewehrung 250
 - 5.11.6 Ausrüstungsteile 253

- 6 Bemessung von Brückenträgern 257
 - 6.1 Modellbildung und Lastverteilung 257
 - 6.1.1 Allgemeine Gesichtspunkte 257
 - 6.1.2 Lasteintragung und Torsion bei einzelligen Kastenquerschnitten 261
 - 6.1.3 Lasteintragung und Torsion bei zweistegigen Plattenbalken 273
 - 6.1.4 Modellbildung bei mehrzelligen Kastenquerschnitten, mehrstegigen Plattenbalken und Platten 280
 - 6.2 Tragfunktion der Querschnittselemente 281
 - 6.3 Berechnung und Bemessung der Querschnittselemente 285
 - 6.3.1 Fahrbahnplatte 285
 - 6.3.2 Trägerstege 297
 - 6.3.3 Untere Kastenplatte 304
 - 6.3.4 Querträger 305

- 7 Brückenunterbau 315
 - 7.1 Brückenpfeiler 315
 - 7.1.1 Allgemeines 315
 - 7.1.2 Analyse von Stahlbetonstützen nach Theorie 2. Ordnung 316
 - 7.1.3 Bruchwiderstand bei Biegung mit Normalkraft 329
 - 7.1.4 Biegesteifigkeit von Stahlbetonquerschnitten 333
 - 7.1.5 Zwängungen 338
 - 7.1.6 Tragsicherheitsnachweis 341
 - 7.1.7 Spezialfälle 343
 - 7.1.8 Stützenberechnung bei verschieblichen Systemen, „schwimmend gelagerte“ Brückenträger 345
 - 7.2 Foundationen 356
 - 7.2.1 Allgemeines 356
 - 7.2.2 Flachfundamente 356
 - 7.2.3 Schachtfundamente 358
 - 7.2.4 Senkkastenfundamente 363
 - 7.2.5 Pfahlfundamente 364
 - 7.3 Brückenpfeiler in Gewässern 367
 - 7.3.1 Allgemeines 367
 - 7.3.2 Kolkarten und Kolkbildung 367
 - 7.3.3 Maßnahmen gegen Kolkbildung 370

- 8 Ausrüstungsteile 371
 - 8.1 Allgemeines 371
 - 8.2 Lager 371
 - 8.2.1 Funktionsweise und Bezeichnung der Lager 371
 - 8.2.2 Lagertypen 373

.2.3	Einfluss auf das statische System	375
.2.4	Verschiebungen des Brückenüberbaus	376
.2.5	Anordnung der Lager	379
.3	Dilatationsfugen	380
.4	Übergang von Brücke zu offener Strecke	384
.5	Entwässerung	385
.6	Abdichtung und Belag	386
.7	Randabschluss und Leitschranken	389
9	Entwurf, Konstruktion und Ausführung spezieller Tragsysteme	391
9.1	Übersicht	391
9.2	Balkenbrücken in Ortsbeton	393
9.2.1	Konzeptionelle Aspekte	393
9.2.2	Querschnittsbildung	394
9.2.3	Vorspannkonzepte	397
9.2.4	Vorbemessung	397
9.2.5	Anordnung der Spannbewehrung	398
9.3	Balkenbrücken aus vorgefertigten Elementen	407
9.3.1	Konzeptionelle Aspekte	407
9.3.2	Querschnittsbildung	410
9.3.3	Vorspannkonzepte	412
9.3.4	Vorbemessung	413
9.4	Freivorbaubrücken	416
9.4.1	Konzeptionelle Aspekte	416
9.4.2	Querschnittsbildung	418
9.4.3	Vorspannkonzept	421
9.4.4	Vorbemessung und spezielle Bemessungshinweise	422
9.4.5	Anordnung der Vorspannung	426
9.4.6	Ermittlung der Überhöhungen und Schalungskoten	428
9.5	Bogenbrücken	431
9.5.1	Konzeptionelle Aspekte	431
9.5.2	Querschnittsbildung	434
9.5.3	Vorspannkonzept	435
9.5.4	Vorbemessung	436
9.5.5	Anordnung der Vorspannung	441
9.6	Rahmenbrücken	443
9.6.1	Konzeptionelle Aspekte	443
9.6.2	Vorspannkonzepte und Anordnung der Spannglieder	448
9.7	Plattenbrücken	449
9.7.1	Konzeptionelle Aspekte	449
9.7.2	Querschnittsbildung	453
9.7.3	Vorspannkonzept	454
9.7.4	Bemessung	454

Inhaltsverzeichnis

- 9.7.5 Anordnung der Bewehrung 458
- 9.8 Schiefe Trägerbrücken 461
 - 9.8.1 Konzeptionelle Aspekte 461
 - 9.8.2 Ermittlung der Schnittkräfte 466
 - 9.8.3 Vorspannkonzepte und Anordnung der Spannglieder 479
- 9.9 Gekrümmte Brücken 481
 - 9.9.1 Konzeptionelle Aspekte 481
 - 9.9.2 Berechnung gekrümmter Träger 484
 - 9.9.3 Einleitung der Drehmomente 487
 - 9.9.4 Vorspannung 491
 - 9.9.5 Vörspannkonzept und Anordnung der Spannglieder 494
- 9.10 Schrägkabelbrücken 498
 - 9.10.1 Einleitung 498
 - 9.10.2 Grundlegendes zum Tragverhalten 499
 - 9.10.3 Kabeltragwerk 500
 - 9.10.4 Pylon 504
 - 9.10.5 Träger 508
 - 9.10.6 Kabelverankerungen 511
 - 9.10.7 Grundsätzliche Systemkonzeption 514
 - 9.10.8 Schwingungsverhalten 518
 - 9.10.9 Bauausführung 519
- 10 Erhaltung 523
 - 10.1 Einführung 523
 - 10.2 Überwachung und Instandhaltung 525
 - 10.3 Überprüfung 527
 - 10.3.1 Einleitung 527
 - 10.3.2 Überprüfung des Bauprojekts 528
 - 10.3.3 Überprüfung des Brückenbauwerks 530
 - 10.3.4 Nachweis der Tragsicherheit 534
 - 10.3.5 Prognose der Restnutzungsdauer 535
 - 10.4 Instandsetzung 535
 - 10.4.1 Grundsätzliches 535
 - 10.4.2 Statisch-konstruktive Instandsetzungsmaßnahmen 536
 - 10.4.3 Betoninstandsetzung und Oberflächenschutzmaßnahmen 537
 - 10.5 Bauwerksdokumente 538
- Zitierte und weiterführende Literatur 541
- Sachverzeichnis 545
- Bildnachweis 550