

Gert König, Nguyen Viet Tue, Martin Zink

Hochleistungsбетон

Bemessung, Herstellung und Anwendung

10

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
1 Einführung	1
2 Technologie	5
2.1 Allgemeines	5
2.2 Ausgangsstoffe	8
2.2.1 Zement	8
2.2.2 Zuschläge	10
2.2.3 Anmachwasser	12
2.2.4 Zusatzstoffe	12
2.2.4.1 Steinkohlenflugasche	13
2.2.4.2 Silikastaub	13
2.2.4.3 Nanosilika	17
2.2.4.4 Metakaolin	17
2.2.5 Zusatzmittel	18
2.2.5.1 Fließmittel	18
2.2.5.2 Luftporenbildner	21
2.2.5.3 Verzögerer	21
2.3 Betonzusammensetzung und Mischungsentwürfe	22
2.4 Herstellung, Verarbeitung und Nachbehandlung von Hochleistungsbeton	24
2.4.1 Herstellung	24
2.4.2 Verarbeitung	25
2.4.3 Nachbehandlung	25
2.5 Besonderheiten beim Erhärten von Hochleistungsbeton	27
2.5.1 Hydratation von Portlandzementen unter Normalbedingungen	27
2.5.2 Rücksteifen von Hochleistungsbeton	29
2.5.3 Erhärten von Hochleistungsbeton	30
2.5.3.1 Einfluß des w/b -Wertes	32
2.5.3.2 Einfluß von Silikastaub	32
2.5.3.3 Einfluß von Fließmitteln	33
2.6 Temperaturentwicklung bei Hochleistungsbeton	34
2.7 Festigkeitsentwicklung von Hochleistungsbeton	38
2.8 Schwinden von Hochleistungsbeton	41
2.8.1 Plastisches Schwinden (Kapillarschwinden)	41
2.8.2 Trocknungsschwinden und Karbonatisierungsschwinden	41
2.8.3 Chemisches (autogenes) Schwinden	42
3 Eigenschaften des Festbetons	45
3.1 Mikrostruktur des Hochleistungsbetons	45
3.2 Verhalten unter Druckbeanspruchung	49

3.2.1	Druckfestigkeit	49
3.2.2	E-Modul und Querdehnung	51
3.2.3	Spannungs-Dehnungslinie	53
3.2.4	Betonfestigkeitsklassen	57
3.3	Verhalten unter Zugbeanspruchung	58
3.3.1	Zugfestigkeit	58
3.3.2	Bruchenergie und Sprödigkeit	59
3.4	Zeitabhängige Verformungen	61
3.4.1	Allgemeines	61
3.4.2	Kriechen	62
3.4.3	Schwinden	64
3.5	Wärmedehnzahl	65
3.6	Verhalten bei dynamischer Beanspruchung	65
3.7	Festigkeit unter mehraxialer Belastung und Teilflächenbelastung	67
3.8	Dauerhaftigkeit und besondere Eigenschaften	68
3.8.1	Allgemeines	68
3.8.2	Gas- und Flüssigkeitstransport	69
3.8.3	Widerstand gegen chemischen Angriff	71
3.8.4	Widerstand gegen Frost- und Frost-Taumittel-Einwirkung	73
3.8.5	Korrosionsschutz und Alkalität	76
3.8.6	Verschleißwiderstand	78
4	Verbund zwischen Bewehrung und Hochleistungsbeton	79
4.1	Einflußfaktoren des Verbundes	79
4.2	Beziehung zwischen Verbundspannung und Schlupf	81
4.3	Zusammenwirken zwischen Spannstahl und Betonstahl bei Bauteilen aus Hochleistungsbeton	82
4.4	Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen	84
4.5	Neuentwicklungen von Betonstahl für Hochleistungsbeton	86
5	Grundlagen der Bemessung	89
5.1	Sicherheitskonzept	89
5.2	Bemessungswerte der Materialeigenschaften	92
5.2.1	Druckfestigkeit	93
5.2.2	E-Modul	93
5.2.3	Spannungs-Dehnungslinie	95
5.2.4	Querdehnzahl	96
5.2.5	Zugfestigkeit	96
6	Besonderheiten bei vorgespannten Konstruktionen	99
6.1	Allgemeines	99
6.2	Begrenzung der Zugspannungen	100
6.3	Aufbringen der Vorspannkraft	102
6.4	Einleitung der Vorspannkraft	103
6.4.1	Einleitung der Vorspannkraft bei sofortigem Verbund	103

6.4.2	Einleitung der Vorspannkraft bei nachträglichem Verbund	104
6.5	Spannkraftverluste infolge Bauteilverformungen	106
6.5.1	Verkürzungen während der Hydratation	106
6.5.2	Zeitabhängige Verkürzungen nach der Hydratation	108
7	Bemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit	109
7.1	Bemessung für Biegung mit und ohne Normalkraft	109
7.1.1	Allgemeines	109
7.1.2	Querschnittstragfähigkeit von Bauteilen aus Hochleistungsbeton unter Biegung	110
7.1.3	Bemessung bei ausmittigem Druck	114
7.1.4	Besonderheiten bei vorgespannten Bauteilen	115
7.1.5	Bauteilverhalten unter Biegebeanspruchung	115
7.1.6	Erhöhung der Duktilität der Biegedruckzone	120
7.2	Bemessung für Querkraft und Torsion	123
7.2.1	Einleitung	123
7.2.2	Querschnitte ohne rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung	124
7.2.2.1	Querschnitte mit Biegung und Querkraft	124
7.2.2.2	Querschnitte mit Biegung, Normalkraft und Querkraft	126
7.2.3	Mindestquerkraftbewehrung	129
7.2.4	Bemessung der Querkraftbewehrung	131
7.2.5	Tragfähigkeit der Druckstreben	136
7.3	Durchstanzen	138
7.3.1	Anwendung von hochfestem Beton im Durchstanzbereich	138
7.3.2	Durchstanztragfähigkeit von Platten aus Hochleistungsbeton	139
7.3.3	Bemessungsansatz nach DIN 1045-1	141
7.3.3.1	Nachweiskonzept	141
7.3.3.2	Tragfähigkeit bei Platten ohne Querkraftbewehrung	143
7.3.3.3	Durchstanztragfähigkeit mit Durchstanzbewehrung	144
7.4	Stützen	146
7.4.1	Tragfähigkeit von Stützen	146
7.4.2	Tragverhalten von Stützen	149
7.4.3	Konstruktive Durchbildung von Stützen	151
7.4.4	Bemessung und konstruktive Durchbildung des Fertigteilstützenstoßes	153
7.4.5	Anschluß zwischen Stützen und Decken	156
7.5	Wände aus Hochleistungsbeton	158
7.6	Brandschutz	160
8	Bemessung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	165
8.1	Allgemeines	165
8.2	Begrenzung der Spannungen	165
8.3	Begrenzung der Durchbiegung	166
8.3.1	Durchbiegung von Bauteilen aus Hochleistungsbeton	166
8.3.2	Biegesteifigkeit von Bauteilen aus Hochleistungsbeton	166

8.4	Begrenzung der Rißbreite	168
8.4.1	Anforderungen an die Rißbreite	168
8.4.2	Phasen der Rißbildung und rechnerische Rißbreite	169
8.4.3	Durchmessertabelle für die Begrenzung der Rißbreiten	173
8.5	Mindestbewehrung bei vorwiegend zwangbeanspruchten Bauteilen ..	175
8.5.1	Oberflächenbewehrung	175
8.5.2	Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rißbreite unter Zwang	176
8.5.2.1	Zwangkräfte in Bauteilen aus Hochleistungsbeton	176
8.5.2.2	Bestimmung der Rißkraft	177
8.5.2.3	Ermittlung der Mindestbewehrung	182
9	Voraussetzungen für die erfolgreiche Anwendung von Hochleistungsbeton	183
9.1	Allgemeines	183
9.2	Eignungsprüfung	184
9.3	Qualitätssicherungsplan	190
9.4	Verarbeitungsversuch	197
9.5	Einbau und Nachbehandlung	205
10	Anwendungsbeispiele	209
10.1	Hochbau	209
10.1.1	Hochhaus Trianon – Erstanwendung in Deutschland	209
10.1.2	Hochhaus Taunustor Japan Center	213
10.1.3	Forum Frankfurt: Kastor und Pollux	217
10.1.4	Commerzbank Zentrale	222
10.1.5	Der Main Tower	225
10.2	Brückenbau	229
10.2.1	Die zweite Stichtse Brücke und andere Pilotprojekte in Holland	229
10.2.2	Brücke Sasbach – Spannbetonpremiere in Deutschland	235
10.2.3	Fußgängerbrücke Rudisleben – Betonstäbe in Leichtbeton	240
10.2.4	Betriebsbrücke Weißeritz – Spannbetonpremiere in Sachsen	246
10.2.5	Der Karl-Heine-Bogen: eine hybride Brückenkonstruktion	251
10.2.6	Muldebrücke Glauchau	257
10.2.7	Rheinbrücke Altenheim–Eschau	261
11	Betone mit besonderen Eigenschaften	267
11.1	Hochleistungsleichtbetone	267
11.1.1	Bandbreite des Leichtbetons	267
11.1.2	Konstruktive Leichtbetone	268
11.1.2.1	Klassifizierung konstruktiver Leichtbetone	268
11.1.2.2	Definition von Hochleistungsleichtbeton	270
11.1.3	Eigenschaften von Hochleistungsleichtbeton	271
11.1.3.1	Grundlagen	271
11.1.3.2	E-Modul	277
11.1.3.3	Spannungs-Dehnungslinie	278

11.1.3.4	Zugfestigkeit	281
11.1.3.5	Dauerhaftigkeit, Dichtheit und Wärmeleitfähigkeit	282
11.1.4	Besonderheiten bei Herstellung, Verarbeitung und Nachbehandlung von Hochleistungsleichtbeton	283
11.1.4.1	Mischungsentwurf	283
11.1.4.2	Herstellung	286
11.1.4.3	Verarbeitung	287
11.1.4.4	Nachbehandlung	288
11.1.5	Einsatzgebiete der Hochleistungsleichtbetone	289
11.2	Stahlfaserbeton	293
11.2.1	Allgemeines	293
11.2.2	Technologie	295
11.2.2.1	Stahlfasern	295
11.2.2.2	Polypropylenfasern	296
11.2.2.3	Frischbetoneigenschaften	296
11.2.3	Festbetoneigenschaften	297
11.2.3.1	Spannungs-Dehnungslinie	297
11.2.3.2	E-Modul und Querdehnzahl	298
11.2.3.3	Zugfestigkeit	298
11.2.3.4	Schwinden	299
11.2.3.5	Dauerhaftigkeit	299
11.2.4	Zugtragverhalten	299
11.2.5	Tragverhalten unter zentrischem und ausmittigem Druck	301
11.2.6	Tragverhalten unter Biegebeanspruchung	304
11.2.7	Querkrafttragverhalten stahlfaserverstärkter Betone	305
11.3	Ultrahochfeste Betone	307
11.3.1	Herstellung ultrahochfester Betone	308
11.3.1.1	Grundprinzip	308
11.3.1.2	Verbesserung der Homogenität	309
11.3.1.3	Optimierung des Korngemischs	310
11.3.2	Auswahl der Stoffe	312
11.3.2.1	Zuschläge	312
11.3.2.2	Zement	313
11.3.2.3	Silikastaub	314
11.3.2.4	Wasser und Fließmittel	315
11.3.2.5	Stahlfasern	316
11.3.3	Herstellung, Verarbeitung und Nachbehandlung von ultrahochfesten Betonen	317
11.3.3.1	Mischen von ultrahochfesten Betonen	317
11.3.3.2	Verdichtung von ultrahochfesten Betonen	318
11.3.3.3	Nachbehandlung von ultrahochfesten Betonen	318
11.3.4	Mikrostrukturelle und chemische Eigenschaften von <i>UHPC</i>	321
11.3.4.1	Hydratation	321
11.3.4.2	Puzzolanische Reaktion	321

11.3.4.3	Autogenes Schwinden von <i>UHPC</i>	323
11.3.4.4	Porosität	323
11.3.4.5	Dauerhaftigkeit von <i>UHPC</i>	326
11.3.4.6	Mikrostruktur von <i>UHPC</i>	326
11.3.5	Eigene Erfahrungen mit ultrahochfestem Beton	327
11.3.5.1	Mischversuche	327
11.3.5.2	Nachbehandlung und Wärmebehandlung	328
11.3.5.3	Festigkeitsprüfungen	329
11.3.5.4	Ergebnisse	329
11.3.6	Praktische Anwendungen von ultrahochfestem Beton	330
11.3.7	Beispielrezepturen für ultrahochfesten Beton	332
11.4	Selbstverdichtender Beton	333
11.4.1	Einführung	333
11.4.2	Rheologie	335
11.4.2.1	Allgemeines	335
11.4.2.2	Rheologie des Zementleims	337
11.4.2.3	Auswirkungen der Rheologie auf <i>SCC</i>	338
11.4.3	Mischungsentwurf für einen <i>SCC</i> (Puder-Typ)	339
11.4.3.1	Einleitung	339
11.4.3.2	Luftporenvolumen	342
11.4.3.3	Grobzuschlagsvolumen	342
11.4.3.4	Feinzuschlagsvolumen	343
11.4.3.5	Wasser-Mehlkorn-Verhältnis w/m	344
11.4.3.6	Fließmitteldosierung	344
11.4.3.7	Verifizierung der Mischung	344
11.4.3.8	Bestimmung des Wasser-Mehlkorn-Volumenverhältnisses V_w/V_m	344
11.4.3.9	Verifizierung der Mörtel Eigenschaften	345
11.4.3.10	Bestimmung der optimalen Zusatzmitteldosierungen am Beton	346
11.4.4	Mischungsbestandteile zur Herstellung von <i>SCC</i>	346
11.4.4.1	Mehlkorn	346
11.4.4.2	Fließmittel	347
11.4.4.3	Stabilisierer	347
11.4.5	Testverfahren für <i>SCC</i>	348
11.4.5.1	Prüfungen für Leim und Mörtel	348
11.4.5.2	Betonprüfungen	349
11.4.5.3	Weitere Prüfverfahren zur Beurteilung von <i>SCC</i>	351
11.4.6	Festbetoneigenschaften von <i>SCC</i>	352
11.4.7	Mischen, Verarbeiten und Nachbehandeln von <i>SCC</i>	354
11.4.8	Praktische Anwendungsbeispiele	354
Anhang: Bemessungsbeispiele nach DIN 1045-1		357
Literatur		387
Stichwortverzeichnis		409