

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung und Begriffe	1
1.1	Prinzip und Ziel der Vorspannung	1
1.2	Begriffe.....	5
1.2.1	Übersicht	5
1.2.2	Vorspannung mit sofortigem Verbund	6
1.2.3	Vorspannung mit nachträglichem Verbund	8
1.2.4	Vorspannung ohne Verbund	8
1.2.5	Vorspanngrad	9
1.3	Vor- und Nachteile zwischen Spannbeton und Stahlbeton	9
1.4	Geschichtliche Entwicklung des Spannbetons	12
1.5	Querschnittswerte	12
1.5.1	Bruttoquerschnitt.....	12
1.5.2	Nettoquerschnitt.....	13
1.5.3	Ideeller Querschnitt.....	13
2	Vorspanntechnologie.....	14
2.1	Spannglieder und Spannverfahren.....	14
2.1.1	Bestandteile und Ausführungsform	14
2.1.2	Hüllrohre	15
2.1.3	Anker.....	16
2.1.4	Kopplungen	18
2.2	Fertigung und Einbau der Spannglieder	19
2.2.1	Erforderliche Angaben.....	19
2.2.2	Baustellengefertigte Spannglieder	20
2.2.3	Werksgefertigte Spannglieder.....	21
2.2.4	Einschieben des Spannstahls.....	21
2.3	Einbringen des Betons	21
2.4	Spannvorgang	22
2.4.1	Regelungen.....	22
2.4.2	Spannbettvorspannung	22
2.4.3	Vorspannen von Spanngliedern in Hüllrohren.....	22
2.5	Einpressen des Mörtels.....	23
3	Baustoffe des Spannbetonbaus.....	25
3.1	Unterschiede zum Stahlbetonbau	25
3.2	Beton.....	25
3.2.1	Druckfestigkeit.....	25
3.2.2	Kriechen und Schwinden	26
3.2.3	Kriechzahl	29
3.2.4	Schwindmaß.....	32
3.3	Betonstahl	38
3.4	Spannstahl.....	39

3.4.1	Werkstoffkennwerte	39
3.4.2	Werkstoffgesetze	41
3.4.3	Spannungsrissskorrosion.....	42
4	Spanngliedführung.....	44
4.1	Bemessung von Spannbetontragwerken	44
4.2	Rand- und Achsabstände von Spanngliedern	44
4.2.1	Betondeckung.....	44
4.2.2	Abstände zwischen Spanngliedern.....	47
4.3	Spanngliedverlauf.....	50
4.3.1	Krümmung von Spanngliedern bei unterschiedlichen Verbundarten	50
4.3.2	Länge von Spanngliedern.....	51
4.3.3	Mathematische Beschreibung von Spannsträngen	51
5	Spannkraft und Spanngliedreibung	59
5.1	Differentialgleichung der Spanngliedreibung.....	59
5.2	Umlenkwinkel.....	61
5.2.1	Planmäßiger Umlenkwinkel	61
5.2.2	Ungewollter Umlenkwinkel	62
5.3	Reibungsbeiwert	63
5.4	Spannkraftverlauf.....	64
5.4.1	Planmäßige Spannkräfte.....	64
5.4.2	Spannkraftfehler	65
5.5	Optimierung der Spanngliedführung	67
5.5.1	Anordnung von Spann- und Festankern.....	67
5.5.2	Reibungsverluste und Spanngliedlänge.....	68
5.5.3	Empfehlungen für die konstruktive Bearbeitung	70
5.6	Vorspannung ohne Verbund	71
5.7	Vorspannung mit sofortigem Verbund	71
6	Spannweg und Spannprotokoll.....	73
6.1	Berechnung für ein Spannglied.....	73
6.1.1	Spannweg	73
6.1.2	Nachlassweg.....	75
6.2	Kontrollen und Maßnahmen bei Abweichungen	81
6.2.1	Maßnahmen der Bauausführung	81
6.2.2	Ermöglichen des Überspannens	84
6.2.3	Planung einer robusten Spanngliedführung	84
6.3	Berechnung für mehrere Spannglieder	87
6.4	Spannanweisung und Spannprotokoll.....	87
6.4.1	Spannanweisung.....	87
6.4.2	Spannprotokoll	88
7	Schnittgrößen	96
7.1	Vorspannkraft für Schnittgrößenermittlung.....	96

7.2	Äußerlich statisch bestimmte Systeme	98
7.2.1	Übersicht	98
7.2.2	Beschreibung der Vorspannwirkung durch Anker- und Umlenkkräfte	98
7.2.3	Beschreibung durch die Kraft im freigeschnittenen Strang (Hebelarmmethode)	100
7.2.4	Grundsätze für Schnittgrößen aus Vorspannung statisch bestimmter Systeme	101
7.2.5	Schnittgrößen im Spannbett	103
7.2.6	Einfluss des Spannstrangs auf die Schnittgrößen	105
7.3	Äußerlich statisch unbestimmte Systeme	107
7.3.1	Übersicht	107
7.3.2	Grundsätze für Schnittgrößen aus Vorspannung statisch unbestimmter Systeme	107
7.3.3	Konkordante Vorspannung	109
7.3.4	Formtreue Vorspannung	110
7.3.5	Einfluss von Vouten	110
7.3.6	Rahmentragwerke	111
7.4	Praktische Schnittgrößenermittlung	119
7.4.1	Verfahren zur Schnittgrößenermittlung	119
7.4.2	Hilfsmittel zur Schnittgrößenermittlung	120
7.5	Mehrsträngige Vorspannung	121
8	Auswirkungen von Kriechen und Schwinden	122
8.1	Allgemeines	122
8.2	Verformungen infolge Kriechen	122
8.2.1	Kriechen unter konstanten Spannungen	123
8.2.2	Kriechen unter variablen Spannungen	124
8.3	Einfach statisch unbestimmte Kopplung	132
8.4	Erweiterte Kriechgleichungen nach DISCHINGER	133
8.4.1	Allgemeines	133
8.4.2	Kontinuierliche Kopplung	134
8.4.3	Örtliche Kopplung	145
8.5	Kriechgleichungen nach TROST	147
8.5.1	Algebraisches Werkstoffgesetz nach TROST	147
8.5.2	Ableitung der Kriechgleichung nach TROST	148
8.5.3	Berechnung der Spannkraftverluste infolge Kriechen, Schwinden und Relaxation gemäß DIN 1045-1	150
8.6	Zweifach statisch unbestimmte Kopplung	157
8.6.1	Grundlagen	157
8.6.2	Glieder der Kontinuitätsbedingungen	159
8.6.3	Gleichgewichtsbedingungen	160
8.6.4	Bestimmungsgleichungen	160
9	Grundlagen der Bemessung	166
9.1	Unterschiede zum Stahlbeton	166

9.2	Bemessungswerte im Grenzzustand der Tragfähigkeit	167
9.3	Bemessungswerte im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	169
9.4	Zeitpunkte für die Bemessung	170
10	Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.....	171
10.1	Nachweis der Dekompression	171
10.2	Begrenzung der Spannungen	174
10.2.1	Erfordernis.....	174
10.2.2	Höhe der Betondruckzone	174
10.2.3	Berücksichtigung von Langzeiteinflüssen.....	177
10.2.4	Begrenzung der Betondruckspannung.....	178
10.2.5	Begrenzung der Betonstahlspannung	179
10.2.6	Begrenzung der Spannstahlspannung.....	179
10.3	Begrenzung der Rissbreite.....	183
10.3.1	Erfordernis.....	183
10.3.2	Berechnung der Rissbreite.....	184
10.3.3	Beschränkung der Rissbreite ohne direkte Berechnung.....	190
10.3.4	Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite.....	196
10.4	Begrenzung der Verformungen	202
10.4.1	Anforderungen.....	202
10.4.2	Vereinfachter Nachweis ohne direkte Berechnung	202
10.4.3	Direkte Berechnung der Verformungen	203
11	Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit.....	204
11.1	Biegebemessung bei Vorspannung ohne Verbund	204
11.2	Biegebemessung bei Vorspannung mit Verbund.....	204
11.2.1	Allgemeines.....	204
11.2.2	Einsträngige Vorspannung ohne Druckbewehrung.....	208
11.2.3	Einsträngige Vorspannung mit Druckbewehrung	215
11.2.4	Mehrsträngige Vorspannung	215
11.3	Robustheitsbewehrung.....	216
11.3.1	Vereinfachter Nachweis (Oberer Grenzwert).....	216
11.3.2	Genauerer Nachweis (Unterer Grenzwert).....	217
11.4	Querkraftbemessung bei Vorspannung ohne Verbund.....	219
11.5	Querkraftbemessung bei Vorspannung mit Verbund	219
11.5.1	Grundbemessungswert der auf den Querschnitt einwirkenden Querkraft.....	219
11.5.2	Bauteile ohne Querkraftbewehrung.....	220
11.5.3	Bauteile mit Querkraftbewehrung	226
11.6	Bemessung bei Torsion.....	230
11.7	Bemessung auf Durchstanzen.....	230
11.8	Nachweis gegen Ermüdung	231
11.8.1	Besonderheiten vorgespannter Bauteile gegenüber Stahlbetonbauteilen	231
11.8.2	Möglichkeiten der Nachweisführung	233
11.8.3	Vereinfachter Nachweis	233

11.8.4	Nachweise auf Basis der Betriebsfestigkeit	235
12	Bauliche Durchbildung	236
12.1	Oberflächenbewehrung.....	236
12.2	Verankerung von Spanngliedern	238
12.2.1	Verankerung durch Verbund.....	238
12.2.2	Verankerung mit Ankerkörpern am Bauteilende	241
12.2.3	Verankerung mit Ankerkörpern im Bauteil bei internen Spanngliedern.....	242
12.2.4	Verankerung mit Ankerkörpern im Bauteil bei externen Spanngliedern.....	244
12.2.5	Spanngliedkopplungen.....	245
12.3	Umlenkstellen von externen Spanngliedern	248
12.4	Planunterlagen	249
13	Vorbemessung.....	251
13.1	Notwendigkeit	251
13.2	Teilschritte der Vorbemessung	251
13.2.1	Vorgehensweise	251
13.2.2	Festlegen der Querschnittsform	252
13.2.3	Festlegen der Spannstrangführung.....	252
13.2.4	Vorbemessung der Betondruckzone	253
13.2.5	Vorbemessung des Spannstahlquerschnitts	255
13.2.6	Wahl der Spannglieder	256
13.2.7	Überprüfung der vorgedrückten Zugzone.....	256
14	Vorspannung von Flächentragwerken	258
14.1	Vorgespannte Flachdecken.....	258
14.1.1	Vergleich von vorgespannten und nicht vorgespannten Flachdecken	258
14.1.2	Wahl der Vorspannart und Spanngliedführung	258
14.1.3	Vorspanngrad und Verteilung der Vorspannung auf x - und y -Richtung.....	262
14.1.4	Schnittgrößen und Bemessung.....	263
14.1.5	Konstruktive Durchbildung.....	263
14.2	Vorgespannte Flachgründungen	264
14.3	Vorgespannte Behälter	264
15	Komplexbeispiel Zweifeldträger	266
15.1	Statisches System, Querschnittswerte und Baustoffkenngrößen.....	266
15.2	Schnittgrößen infolge Lasten.....	267
15.3	Vorspannung.....	267
15.3.1	Vorbemessung.....	267
15.3.2	Spanngliedführung	270
15.3.3	Spannkraftverlauf.....	273
15.3.4	Schnittgrößen infolge Vorspannung	275

15.3.5	Zeitabhängige Spannkraftverluste.....	277
15.4	Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit.....	281
15.4.1	Biegebemessung.....	281
15.4.1.1	Biegebemessung Zeitpunkt $t = 0$	281
15.4.1.2	Biegebemessung zum Zeitpunkt $t = \infty$	283
15.4.2	Querkraftbemessung.....	286
15.4.2.1	Bemessung des Plattenbalkensteges.....	286
15.4.2.2	Schubkräfte zwischen Balkensteg und Gurten.....	289
15.4.3	Oberflächenbewehrung	291
15.4.4	Zusatzbewehrung im Bereich der Spannanker.....	291
15.5	Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.....	293
15.5.1	Spannungsbegrenzung.....	293
15.5.1.1	Nachweis unter der seltenen Lastkombination.....	294
15.5.1.2	Nachweis unter der quasi-ständigen Lastkombination.....	297
15.5.2	Rissbreitenbegrenzung	298
16	Komplexbeispiel Flachdecke	299
16.1	Statisches System, Querschnittswerte und Baustoffkenngrößen.....	299
16.2	Schnittgrößen infolge äußerer Lasten	300
16.3	Spanngliedführung, Spannkraftverlauf und Schnittgrößen infolge Vorspannung.....	302
16.3.1	Allgemeines.....	302
16.3.2	Spanngliedführung	302
16.3.3	Spannkraftverlauf.....	305
16.3.4	Anzahl der erforderlichen Monolitzen	308
16.3.5	Umlenkkräfte.....	310
16.3.6	Schnittgrößen infolge Vorspannung.....	312
16.3.7	Zeitabhängige Spannkraftverluste.....	313
16.4	Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit.....	315
16.4.1	Spannungszuwachs in den Spanngliedern.....	315
16.4.2	Biegebemessung.....	316
16.4.3	Durchstanzen	322
16.5	Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	328
16.5.1	Allgemeines.....	328
16.5.2	Spannungsnachweise.....	328
16.5.3	Verformungsbegrenzung.....	330
	Literatur.....	337
	Bezeichnungen	341
	Anlagen.....	344
	Stichwortverzeichnis	357