

2. Auflage

Spannbetonbau

Günter Rombach

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 2. Auflage	V
Vorwort zur 1. Auflage	VII
Inhaltsverzeichnis	IX
Formelzeichen	XV
1 Allgemeines	1
1.1 Grundgedanke der Vorspannung	1
1.2 Anwendungsgebiete des Spannbetons	6
1.3 Besonderheiten von Spannbetonbauwerken	9
1.4 Vor- und Nachteile von vorgespannten Betontragwerken	13
1.4.1 Vorteile einer Vorspannung	13
1.4.2 Nachteile einer Vorspannung	15
1.5 Entwicklung des Spannbetonbaus	16
1.6 Definitionen – Begriffe	27
1.6.1 Querschnittsbereiche	27
1.6.2 Querschnittswerte	28
1.6.3 Grad der Vorspannung	37
1.6.4 Lage und Verlauf eines Spanngliedes	45
1.6.5 Spannungsarten	47
1.7 Spannverfahren – Art der Verbundwirkung	48
1.7.1 Spannbettvorspannung – Vorspannung mit sofortigem Verbund	48
1.7.2 Vorspannung gegen den erhärteten Beton	51
1.7.3 Sonstige Spannverfahren	52
1.7.4 Vor- und Nachteile der verschiedenen Spannverfahren	53
2 Baustoffe	57
2.1 Beton	57
2.2 Betonstahl	63
2.3 Spannstahl	64
2.3.1 Anforderungen an den Spannstahl	66
2.3.2 Materialkennwerte	72
2.4 Spannglieder aus Faserverbundwerkstoffen	85
2.5 Hüllrohre	96
2.6 Einpressmörtel	98
2.7 Verankerungen	102

2.8	Kopplungen	114
2.9	Elektrisch isolierte Spannsysteme	116
2.10	Schwachstellen von Spannsystemen – Schäden	117
2.11	Zugelassene Spannstähle und Spannsysteme	119
3	Bauausführung bei Vorspannung mit nachträglichem Verbund	129
3.1	Fertigung und Einbau der Spannglieder	129
3.2	Spannvorgang	132
3.3	Einpressvorgang	140
4	Schnittgrößen infolge P bei statisch bestimmten Systemen	145
4.1	Polygonale Spanngliedführung	145
4.2	Träger mit veränderlicher Höhe	156
4.3	Kontinuierlich gekrümmtes Spannglied ohne Reibung	157
4.4	Spannkraftverluste infolge Reibung	164
4.4.1	Ermittlung des planmäßigen Umlenk winkels θ	166
4.4.2	Zusätzliche Exzentrizitäten	170
4.4.3	Ungewollter Umlenk Winkel k	172
4.4.4	Reibungskoeffizient μ	175
4.5	Zusatzbeanspruchungen im Krümmungsbereich – Mindestkrümmungsradius R_{\min}	183
4.6	Zulässige maximale Spannkraft und Spannstahlspannung	188
4.6.1	Überspanreserve	191
4.7	Einfluss der Spannfolge auf den Spannkraftverlauf	195
4.7.1	Einseitiges Spannen – ohne Nachlassen	196
4.7.2	Zweiseitiges Spannen eines Spanngliedes – ohne Nachlassen	196
4.7.3	Spannkraftverlauf beim Nachlassen	198
4.7.4	Keilschlupf	199
4.8	Berechnung der Spannkraft bei mehreren Spanngliedlagen	200
4.8.1	Ohne Berücksichtigung des Momentenanteils	200
4.8.2	Mit Berücksichtigung des Vorspannmomentes	204
4.8.3	Beispiel: Fertigteilträger	208
4.9	Spannwegberechnung	213
4.9.1	Keilschlupf	215
4.9.2	Ursachen für Abweichungen der gemessenen und rechnerischen Spannwege beim Vorspannen gegen den erhärteten Beton	219
5	Schnittgrößen infolge P bei statisch unbestimmten Systemen	225
5.1	Allgemeines	225
5.2	Berechnung der Schnittgrößen	227
5.2.1	Äquivalente Ersatzlasten	228

5.2.2	Kraftgrößenverfahren	230
5.2.3	Drehwinkelverfahren	238
5.2.4	Auswertung von Einflussflächen	248
5.3	Schnittgrößen infolge Vorspannung – Grundsätze	248
5.3.1	Zweifeldträger mit unterschiedlichen Stützweiten und parabolischer Spanngliedführung	248
5.3.2	Beidseitig eingespannter Träger	251
5.3.3	Einfeldträger – gelenkig gelagert und einseitig eingespannt	253
5.3.4	Folgerungen aus den Berechnungen	254
5.4	Einfluss einer veränderlichen Trägerhöhe	255
5.5	Bauzustände – Rückfedern von Lehrgerüsten	257
6	Spanngliedführung	261
6.1	Allgemeines	261
6.2	Vorbemessung	266
6.3	Kriterien für die Spanngliedführung	269
6.3.1	Allgemein	269
6.3.2	Unempfindliche Spanngliedführung	277
6.4	Spanngliedführung bei Einfeldträgern	284
6.5	Spanngliedführung bei Durchlaufträgern	286
6.6	Spanngliedführung bei Rahmen	287
6.7	Analytische Beschreibung des Spanngliedverlaufes	289
6.7.1	Polynome	289
6.7.2	Spline-Funktionen	297
7	Zeitabhängige Spannkraftverluste – Kriechen, Schwinden, Relaxation	303
7.1	Allgemeines	303
7.2	Allgemeiner Ansatz für die zeitabhängigen Betonverformungen	310
7.3	Rheologische Modelle zur Beschreibung des Kriechens und der Relaxation	311
7.3.1	Feder-Dämpfer-Element – Serienschaltung (Maxwell-Element)	312
7.3.2	Feder-Dämpfer-Modell – Parallelschaltung (Kelvin-Voigt-Element)	313
7.3.3	Serienschaltung von Feder- und Kelvin-Voigt-Element	315
7.4	Bestimmung der zeitabhängigen Betondehnungen bei konstanten Spannungen	315
7.4.1	Kriechen und Schwinden nach DIN 4227-1	316
7.4.2	Kriechen und Schwinden nach DIN 1045-1	318
7.4.3	Kriech- und Schwindverläufe nach DAfStb Heft 525	327
7.4.4	Nichtlineares Kriechen	329
7.5	Kriech- und Schwinddehnungen bei zeitlich veränderlichen Betonspannungen	329
7.5.1	Kriechansätze von Dischinger	331
7.5.2	Ansatz von Trost et al.	332
7.5.3	Kriechmodell nach DIN 1045-1	336

7.6	Relaxation des Spannstahls	337
7.7	Berechnung der Spannkraftverluste	338
7.7.1	Kriechverluste bei Vorspannung ohne Verbund	338
7.7.2	Kriechverluste bei Vorspannung mit Verbund	342
7.7.3	Näherungsverfahren der mittleren kriecherzeugenden Spannung	342
7.7.4	Superposition der Spannkraftverluste	348
7.7.5	Einfluss der Bewehrung	351
7.7.6	Mehrsträngige Vorspannung	352
7.8	Schnittgrößenumlagerungen infolge Kriechen	353
7.8.1	Zwei nachträglich gekoppelte Einfeldträger (langsame Zwängung)	355
7.8.2	Plötzliche Senkung der Mittelstütze eines Zweifeldträgers um δ_0	356
7.8.3	Langsame Senkung der Mittelstütze eines Zweifeldträgers um δ_0	356
7.8.4	Schwinden eines Zweigelenkrahmens	357
7.8.5	Beispiel: Stützensenkung eines Zweifeldträgers	359
8	Bemessung vorgespannter Konstruktionen	363
8.1	Einwirkungen	364
8.1.1	Bemessungswerte der Einwirkungen	364
8.1.2	Charakteristischer Wert der Vorspannkraft P_k	366
8.1.3	Teilsicherheitsbeiwerte	367
8.2	Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit	368
8.2.1	Bemessung für Biegung mit Längskraft	369
8.2.2	Bemessung für Querkräfte	383
8.2.3	Robustheit	396
8.2.4	Ermüdung	403
8.3	Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit	415
8.3.1	Begrenzung der Spannungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	415
8.3.2	Rissbildung in Spannbetonbauteilen	420
8.3.3	Mindestbewehrung nach DIN 1045-1	423
8.3.4	Rissbreitenbegrenzung ohne direkte Berechnung	427
8.3.5	Rechnerische Ermittlung der Rissbreite	429
8.3.6	Ermittlung der Spannungen im Gebrauchszustand	435
8.3.7	Beschränkung der Durchbiegung	442
9	Bauliche Durchbildung	443
10	Verankerung und Kopplung	447
10.1	Verankerungssysteme	447
10.1.1	Nachweis der Ankerkonstruktion	449
10.1.2	Teilflächenbelastung	450
10.2	Nachweis der Krafteinleitung	456
10.2.1	Allgemeines	456
10.2.2	Bestimmung der Spalt- und Randzugkräfte	457
10.2.3	Verankerung im Bauteil	463
10.3	Verankerung durch Verbund	465
10.3.1	Verbundverhalten	466
10.3.2	Nachweis einer Verbundverankerung	472

10.4	Koppelfugen	478
10.4.1	Probleme	479
10.4.2	Nichtlinearer Spannungsverlauf bei abschnittweisem Vorspannen	484
10.4.3	Temperaturbeanspruchungen	487
10.4.4	Erhöhte Spannkraftverluste	488
10.4.5	Sonstiges	489
11	Verbundlose Vorspannung	491
11.1	Allgemeines	491
11.2	Externe Spanngliedführung	495
11.2.1	Aufbau externer Spannsysteme	495
11.2.2	Vor- und Nachteile der externen Vorspannung	503
11.2.3	Spanngliedführung	511
11.2.4	Mischbauweise	511
11.2.5	Ausgeführte Bauwerke	512
11.3	Interne Spannglieder ohne Verbund	520
11.3.1	Spanngliedführung – ausgeführte Tragwerke	523
11.3.2	Verbundlose Quervorspannung von Fahrbahnplatten	529
11.4	Tragverhalten	529
11.5	Schnittgrößenermittlung	532
11.5.1	Schnittgrößenermittlung bei externer Spanngliedführung	532
11.5.2	Umlenk- und Verankerungsstellen bei externen Spanngliedern	546
11.6	Bemessung	550
11.6.1	Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	552
11.6.2	Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	552
12	Vorgespannte Flachdecken	553
12.1	Allgemeines	553
12.2	Vor- und Nachteile vorgespannter Flachdecken	554
12.3	Spannsysteme	556
12.4	Plattendicke	558
12.5	Anordnung und Verlauf der Spannbewehrung	560
12.5.1	Spanngliedführung im Grundriss	560
12.5.2	Spanngliedverlauf im Aufriss	565
12.6	Wahl des Vorspanngrades	570
12.7	Schnittgrößenermittlung	570
12.7.1	Näherungsberechnung nach DIN 4227-6	575
12.7.2	Bruchlinientheorie	576
12.7.3	Ersatzrahmenverfahren	578
12.7.4	Finite-Elemente-Berechnungen	579
12.8	Bemessung von vorgespannten Flachdecken	580
12.9	Sonstiges	581
	Literaturverzeichnis	585
	Stichwortverzeichnis	599