

Günter Rombach

Spannbetonbau

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeines	1
1.1	Grundgedanke der Vorspannung	1
1.2	Anwendungsgebiete des Spannbetons	5
1.3	Besonderheiten von Spannbetontragwerken	8
1.4	Vor- und Nachteile des Spannbetons	12
1.4.1	Vorteile des Spannbetons	12
1.4.2	Nachteile des Spannbetons	14
1.5	Entwicklung des Spannbetonbaus.	14
1.6	Definitionen – Begriffe	22
1.6.1	Querschnittsbereiche	22
1.6.2	Querschnittswerte	23
1.6.3	Grad der Vorspannung	31
1.6.4	Lage und Verlauf eines Spanngliedes	38
1.6.5	Spannungsarten.	39
1.7	Spannverfahren – Art der Verbundwirkung	40
1.7.1	Spannbettvorspannung – Vorspannung mit sofortigem Verbund	40
1.7.2	Vorspannung gegen den erhärteten Beton	42
1.7.3	Sonstige Spannverfahren	44
1.7.4	Vor- und Nachteile der verschiedenen Spannverfahren	45
2	Baustoffe	49
2.1	Beton	49
2.2	Betonstahl	55
2.3	Spannstahl	56
2.3.1	Anforderungen an den Spannstahl	58
2.3.2	Materialkennwerte	64
2.3.3	Spannglieder aus Faserverbundwerkstoffen	77
2.4	Hüllrohre	86
2.5	Einpressmörtel	89
2.6	Verankerungen	92
2.7	Kopplungen	104
2.8	Zugelassene Spannverfahren.	106
3	Bauausführung bei Vorspannung mit nachträglichem Verbund	111
3.1	Fertigung und Einbau der Spannglieder	111
3.2	Spannvorgang	114
3.3	Einpressvorgang	120

4	Schnittgrößen infolge P bei statisch bestimmten Systemen	127
4.1	Abschnittsweise geradlinige Spanngliedführung	127
4.2	Träger mit veränderlicher Höhe	137
4.3	Kontinuierlich gekrümmtes Spannglied ohne Reibung	138
4.4	Spannkraftverluste infolge Reibung	145
4.4.1	Ermittlung des planmäßigen Umlenk winkels ϑ	147
4.4.2	Zusätzliche Exzentrizitäten	150
4.4.3	Ungewollter Umlenk winkel k	151
4.4.4	Reibungskoeffizient μ	152
4.5	Zusatzbeanspruchungen im Krümmungsbereich – R_{\min}	157
4.6	Zulässige Spannkraft	162
4.7	Einfluss der Spannfolge auf den Spannkraftverlauf	167
4.7.1	Einseitiges Spannen – ohne Nachlassen	168
4.7.2	Zweiseitiges Spannen eines Spanngliedes – ohne Nachlassen	168
4.7.3	Spannkraftverlauf beim Nachlassen	170
4.7.4	Keilschlupf	171
4.8	Berechnung der Spannkraft bei mehreren Spanngliedlagen	171
4.8.1	Ohne Berücksichtigung des Momentenanteils	172
4.8.2	Mit Berücksichtigung des Vorspannmomentes	176
4.8.3	Beispiel: Fertigteilträger	180
4.9	Spannwegberechnung	185
4.9.1	Keilschlupf	187
4.9.2	Ursachen für Abweichungen der gemessenen und rechnerischen Spannwege beim Vorspannen gegen den erhärteten Beton	190
5	Schnittgrößen infolge P bei statisch unbestimmten Systemen	195
5.1	Allgemeines	195
5.2	Berechnung der Schnittgrößen	197
5.2.1	Äquivalente Ersatzlasten	197
5.2.2	Kraftgrößenverfahren	200
5.2.3	Drehwinkelverfahren	208
5.2.4	Auswertung von Einflussflächen	217
5.3	Schnittgrößen infolge Vorspannung – Grundsätze	218
5.3.1	Zweifeldträger mit unterschiedlichen Stützweiten und parabolischer Spanngliedführung	218
5.3.2	Beidseitig eingespannter Träger	222
5.3.3	Einfeldträger – gelenkig gelagert und einseitig eingespannt	224
5.3.4	Folgerungen aus den Berechnungen	224
5.4	Einfluss einer veränderlichen Trägerhöhe	226
5.5	Bauzustände – Rückfedern von Lehrgerüsten	228

6	Spanngliedführung	231
6.1	Vorbemessung	235
6.2	Kriterien für die Spanngliedführung	238
6.2.1	Allgemein	238
6.2.2	Unempfindliche Spanngliedführung	246
6.3	Spanngliedführung bei Einfeldträgern	253
6.4	Spanngliedführung bei Durchlaufträgern	255
6.5	Spanngliedführung bei Rahmen	256
6.6	Analytische Beschreibung des Spanngliedverlaufs	258
6.6.1	Polynome	258
6.6.2	Spline-Funktionen	265
7	Zeitabhängige Spannkraftverluste – Kriechen, Schwinden, Relaxation	271
7.1	Allgemeines.	271
7.2	Allgemeiner Ansatz für die Betonverformungen	278
7.3	Rheologische Modelle zur Beschreibung des Kriechens und der Relaxation.	279
7.3.1	Feder–Dämpfer-Element – Serienschaltung (Maxwell-Element)	280
7.3.2	Feder–Dämpfer-Modell – Parallelschaltung (Kelvin-Voigt Element)	281
7.3.3	Feder–Dämpfer-Modell – Parallel- + Serienschaltung (Kelvin-Element)	282
7.4	Bestimmung der zeitabhängigen Betondehnungen bei konstanten Spannungen	283
7.4.1	Kriechen und Schwinden nach DIN 4227 Teil 1	284
7.4.2	Kriechen und Schwinden nach EC2 Teil 1	286
7.4.3	Kriechen und Schwinden nach DIN 1045-1.	294
7.4.4	Nichtlineares Kriechen	299
7.5	Kriech- und Schwinddehnungen bei zeitlich veränderlichen Betonspannungen	299
7.5.1	Kriechansätze von Dischinger	301
7.5.2	Ansatz nach Trost	302
7.5.3	Kriechmodell nach EC2 Teil 1	307
7.6	Relaxation des Spannstahls.	308
7.7	Berechnung der Spannkraftverluste.	308
7.7.1	Kriechverluste bei Vorspannung ohne Verbund	309
7.7.2	Kriechverluste bei Vorspannung mit Verbund	313
7.7.3	Näherungsverfahren der mittleren kriecherzeugenden Spannung	313
7.7.4	Superposition der Spannkraftverluste	319
7.7.5	Einfluss der Bewehrung	322
7.7.6	Mehrsträngige Vorspannung	322
7.8	Schnittgrößenumlagerungen infolge Kriechens.	323
7.8.1	Zwei nachträglich gekoppelte Einfeldträger (langsame Zwängung)	326
7.8.2	Plötzliche Senkung der Mittelstütze eines Zweifeldträgers um δ_{10}	327
7.8.3	Langsame Senkung der Mittelstütze eines Zweifeldträgers um δ_0	327
7.8.4	Schwinden eines Zweigelenrahmens	328
7.8.5	Beispiel: Stützensenkung eines Zweifeldträgers	330

8	Bemessung vorgespannter Konstruktionen	335
8.1	Einwirkungen	336
8.1.1	Bemessungswerte der Einwirkungen	336
8.1.2	Charakteristischer Wert der Vorspannkraft P_k	338
8.1.3	Teilsicherheitsbeiwerte	338
8.2	Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit	339
8.2.1	Bemessung für Biegung mit Längskraft	340
8.2.2	Bemessung für Querkräfte	355
8.2.3	Robustheit	364
8.2.4	Ermüdung	371
8.3	Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit	382
8.3.1	Begrenzung der Spannungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	382
8.3.2	Rissbildung in Spannbetonbauteilen	385
8.3.3	Mindestbewehrung nach DIN 1045-1	388
8.3.4	Rissbreitenbegrenzung ohne direkte Berechnung	393
8.3.5	Rechnerische Ermittlung der Rissbreite	394
8.3.6	Ermittlung der Spannungen im Gebrauchszustand	399
8.3.7	Beschränkung der Durchbiegung	405
9	Bauliche Durchbildung	407
10	Verankerung und Kopplung	409
10.1	Verankerungssysteme	409
10.1.1	Nachweis der Ankerkonstruktion	411
10.1.2	Teilflächenbelastung	412
10.2	Nachweis der Krafteinleitung	417
10.2.1	Allgemeines	417
10.2.2	Bestimmung der Spalt- und Randzugkräfte	417
10.2.3	Festanker im Bauteil	423
10.3	Verankerung durch Verbund	426
10.3.1	Verbundverhalten	427
10.3.2	Nachweis der Verbundverankerung	430
10.4	Koppelfugen	436
10.4.1	Probleme	437
10.4.2	Eigenspannungen	441
10.4.3	Temperaturbeanspruchungen	442
10.4.4	Erhöhte Spannkraftverluste	444
10.4.5	Sonstiges	445
11	Vorspannung ohne Verbund und externe Vorspannung	447
11.1	Allgemeines	447
11.2	Aufbau externer Spannsysteme	450
11.2.1	Spannglied	451
11.2.2	Umlenkkonstruktion	453
11.2.3	Verankerung der Spannglieder	455

11.3	Vor- und Nachteile der Vorspannung ohne Verbund bzw. externe Vorspannung	455
11.4	Tragverhalten.	462
11.5	Schnittgrößenermittlung	464
11.5.1	Spannungszuwachs unter den äußeren Einwirkungen	467
11.5.2	Umlenk- und Verankerungsstellen	477
11.6	Bemessung	480
11.6.1	Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit.	481
11.6.2	Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	483
11.7	Externe Spanngliedführung	483
11.8	Mischbauweise.	484
11.9	Ausgeführte Bauwerke	484
11.9.1	Längsvorspannung bei Brücken.	484
11.9.2	„Extradosed“ Brücken	487
11.9.3	Segmentäre Hohlkastenbrücken.	488
11.9.4	Verbundlose Quervorspannung von Fahrbahnplatten	490
12	Vorgespannte Flachdecken.	491
12.1	Allgemeines.	491
12.2	Vor- und Nachteile vorgespannter Flachdecken	491
12.3	Spannsysteme.	493
12.4	Plattendicke.	495
12.5	Anordnung und Verlauf der Spannbewehrung	497
12.5.1	Spanngliedführung im Grundriss	497
12.5.2	Spanngliedverlauf im Aufriss	501
12.6	Wahl des Vorspanngrades	504
12.7	Schnittgrößenermittlung	504
12.7.1	Näherungsberechnung nach DIN 4227 Teil 6.	507
12.7.2	Bruchlinientheorie	508
12.7.3	Ersatzrahmenverfahren	510
12.8	Bemessung von vorgespannten Flachdecken	512
12.9	Sonstiges	512
	Literaturverzeichnis.	515
	Stichwortverzeichnis	527