

Fritz Leonhardt

Vorlesungen über Massivbau

Fünfter Teil

Spannbeton

Von F. Leonhardt

mit Beiträgen über

Nachweise der Schwind- und Kriecheinflüsse
von D. Schade

Grenznachweise mit der Plastizitätstheorie
von R. Walther



Springer-Verlag

Berlin · Heidelberg · New York 1980

HLuHB Darmstadt



13808449

Inhaltsverzeichnis

<u>0.</u>	<u>Besondere Zeichen im Spannbetonbau</u>	1
<u>1.</u>	<u>Schrifttum und Vorschriften</u>	3
1.1	Aus den Anfängen des Spannbetons	3
1.2	Neueres Schrifttum	3
1.3	Vorschriften	4
<u>2.</u>	<u>Grundgedanke und Begriffe</u>	5
2.1	Der Grundgedanke der Vorspannung	5
2.2	Besondere Vorteile des Spannbetons	8
2.3	Zum Spannbeton gehörende Begriffe	8
2.3.1	Mittel zur Vorspannung	8
2.3.2	Arten der Vorspannung	9
2.3.3	Arten der Verankerung der Spannglieder	9
2.3.4	Grad der Vorspannung	10
2.3.5	Grad der Federung der Vorspannung	10
2.3.6	Verformungsabhängige Begriffe	10
2.3.7	Die von den Spanngliedern auf den Beton ausgeübten äußeren Kräfte	11
<u>3.</u>	<u>Geschichtliches</u>	13
<u>4.</u>	<u>Baustoffe und Bauteile</u>	17
4.1	Beton	17
4.2	Spannstähle	18
4.2.1	Anforderungen an Spannstähle	18
4.2.2	Erforderliche Prüfung der Spannstähle	19
4.2.3	Arten der Spannstähle	20
4.2.3.1	Naturharte Stabstähle	20
4.2.3.2	Spannstahl-Drähte	20
4.2.4	Korrosion der Spannstähle	24
4.2.5	Kriechen und Relaxation der Spannstähle	25
4.2.6	Einfluß hoher und niedriger Temperaturen auf Spannstähle	29
4.2.7	Einfluß der Querpressung auf die Festigkeit der Spannstähle	31
4.2.8	Biegespannungen in Spanngliedern	31
4.2.9	Die Dauerschwingfestigkeit der Spannstähle	33
4.3	Hüllrohre	35
4.4	Einpreßmörtel	36

<u>5. Verbund</u>	39
5.1 Verbundfestigkeit	39
5.2 Verbundspannungen	44
<u>6. Tragverhalten von Spannbetonträgern</u>	47
6.1 Tragverhalten bei Biegebeanspruchung	47
6.2 Tragverhalten bei Querkraft-Schubbeanspruchung	57
6.3 Einfluß gekrümmter Spannglieder auf die Schubtragfähigkeit	62
6.4 Tragverhalten bei Torsion	64
6.5 Tragverhalten bei mittigem Zug	65
<u>7. Wahl des Vorspanngrades</u>	69
7.1 Definition des Vorspanngrades	69
7.2 Beurteilung des Vorspanngrades	69
7.3 Kriterien zur Beurteilung des Vorspanngrades	71
7.3.1 Einfluß des Vorspanngrades auf die Stahlspannungen	71
7.3.2 Einfluß des Vorspanngrades auf Rißbreiten und Durchbiegungen	73
7.4 Wie wählt man den Vorspanngrad?	77
7.5 Zur Situation der Vorschriften	78
<u>8. Beständigkeit der Spannbetontragwerke gegen Korrosion</u>	79
8.1 Erfahrungen	79
8.2 Vorspanngrad und Korrosionsgefahr	79
8.3 Regeln zur Sicherung der Beständigkeit gegen Korrosion	80
<u>9. Ermüdungs- und Betriebsfestigkeit der Spannbetontragwerke</u>	83
<u>10. Verankerungen und Stöße der Spannstähe und Spannglieder</u>	87
10.1 Verankerungen durch Verbund	87
10.1.1 Spannungen am gerippten Einzeldraht	87
10.1.2 Verbundverankerung für Drahtbündel	90
10.1.3 Fächerverankerungen	90
10.2 Verankerung von glatten Spanndrähten unmittelbar im Beton durch Krümmung und Reibung	92
10.3 Schlaufenverankerungen	94
10.4 Verankerungen mit Gewinden und Muttern	96
10.5 Verankerung mit Keilen	98
10.6 Verankerung mit Ziehhülsen und Preßhülsen	103
10.7 Verankerung mit angestauchten Köpfen	104
10.8 Stoßen und Koppeln von Spanngliedern	106
10.8.1 Gewindemuffen und Preßmuffen	106
10.8.2 Stöße mit Keilverbindungen	107
10.8.3 Schraubstöße	108
10.8.4 Zur Ermüdungsfestigkeit der Verankerungen und Koppelungen	108
10.9 Anordnung der Spanngliedanker	111
10.9.1 Feste Anker	111
10.9.2 Spannbare Anker	111

<u>11. Spannverfahren und ihre Wahl</u>	117
<u>12. Spannweisen und Spanngeräte</u>	121
12.1 Das Spannen mit hydraulischen Pressen	121
12.1.1 Allgemeines	121
12.1.2 Beispiele hydraulischer Pressen	123
12.2 Besondere Vorspannweisen	128
12.2.1 Spannfuge	128
12.2.2 Spannen quer zur Spannrichtung	128
12.2.3 Bewickeln unter Vorspannung	129
<u>13. Spannglieder in Gleitkanälen, Reibung und Aufbau</u>	131
13.1 Ursachen der Reibung	131
13.2 Der Reibungsbeiwert	133
13.3 Reibungsmindernde Maßnahmen	135
13.4 Berechnung der Spannkraftverluste infolge Reibung	137
13.5 Verlauf der Spannkraft infolge Reibung	139
13.6 Aufbau der Spannglieder	141
<u>14. Das Vorspannen, Spannweg-Berechnung und Herstellen des nachträglichen Verbundes</u>	145
14.1 Vorspannen mit sofortigem Verbund	145
14.2 Vorspannen mit nachträglichem Verbund	145
14.2.1 Vorbereitung	145
14.2.2 Zeitlicher Ablauf des Vorspannens	146
14.2.3 Örtlicher Ablauf des Vorspannens	146
14.3 Der Spannvorgang	147
14.3.1 Messungen beim Spannen	147
14.3.2 Unregelmäßigkeiten des Spannweges	149
14.4 Rechnerische Ermittlungen des Spannweges	150
14.5 Herstellung des nachträglichen Verbundes mit Einpreßmörtel	152
<u>15. Aufzählung der erforderlichen Nachweise</u>	155
15.1 Erforderliche Nachweise	155
15.2 Hinweise für die Berechnungsannahmen	157
<u>16. Schnittkräfte und Spannungen infolge Vorspannung</u>	159
16.1 Die Wirkung der Vorspannung auf den Beton	159
16.2 Schnittkräfte und Spannungen am statisch bestimmten Träger	161
16.2.1 Schnittkräfte im Beton	161
16.2.2 Ermittlung der Spannungen für Gebrauchslast	164
16.2.3 Ermittlung der Längsspannungen σ_x bei Spannbettvorspannung	166
16.2.4 Gebrauchslastspannungen im Zustand II	168
16.3 Schnittkräfte in vorgespannten, statisch unbestimmt gelagerten Tragwerken und Folgerungen für die Spanngliedführung	169
16.3.1 Grundsätzliches zur Wirkungsweise	169
16.3.2 Berechnungsverfahren zur Ermittlung von Zwangs-Schnittkräften infolge Vorspannung	171

16.3.3	Grundsätzliche Erkenntnisse am Zweifeldbalken mit parabolischem Spannglied	173
16.3.3.1	Berechnung mit Schnittkraft M als Unbekannte	173
16.3.3.2	Berechnung mit Umlenkkraften	178
16.3.3.3	Spannkraft greift am Balkenende außerhalb der Schwerlinie an (parabolisches Spannglied)	180
16.3.3.4	Sonderfall: feldweise gerade Spannglieder	183
16.3.4	Balken mit mehr als zwei Feldern und allgemeine Fälle	184
16.3.5	Der eingespannte Balken als Grundlage für Ausgleichsverfahren	188
16.3.5.1	Beidseitige Einspannung	188
16.3.5.2	Einseitige Einspannung	190
16.3.6	Anwendung der Momentenausgleichsverfahren	192
<u>17.</u>	<u>Ermittlung der Vorspannkraft</u>	<u>197</u>
17.1	Erforderliche Vorspannkraft bei statisch bestimmten Trägern	197
17.2	Erforderliche Vorspannkraft für statisch unbestimmte Träger	200
17.3	Zur zulässigen Spannstahlspannung beim Vorspannen = $zul \sigma_{z, vo}$	200
17.4	Spannkraftverluste durch Schwinden und Kriechen - Gebrauchsformeln	201
17.4.1	Vorbemerkung	201
17.4.2	Gebrauchsformeln für Spannkraftverluste	201
17.4.3	Einfluß von Betonstahleinlagen auf die Spannkraftverluste	203
17.4.4	Maßgebende Schnitte für Spannkraftverluste	203
<u>18.</u>	<u>Bemessung für die Tragfähigkeit</u>	<u>205</u>
18.1	Biegung ohne Zwangsmomente	205
18.2	Biegung mit Zwangsmomenten	208
18.2.1	Stand des Wissens	208
18.2.2	Derzeitige Regel des Nachweises	209
18.3	Biegung ohne Verbund	210
18.4	Querkraft - Schub	210
18.4.1	Platten ohne Schubbewehrung	211
18.4.2	Träger mit Schubbewehrung	212
18.4.2.1	Die erweiterte Fachwerkanalogie	212
18.4.2.2	Bemessung der Schubbewehrung mit Abzugswerten Q_D	213
18.4.2.3	Auswirkungen der Querkraften auf den Zuggurt	216
18.4.2.4	Nachweis der Druckstreben	218
18.5	Torsion	219
<u>19.</u>	<u>Bemessung für die Gebrauchsfähigkeit</u>	<u>223</u>
19.1	Begrenzung der Verformungen	223
19.2	Begrenzung der Rißbreiten	223
19.2.1	Anforderungen	223
19.2.2	Mindestbewehrungen	224
19.2.3	Rißbreitenbegrenzung, wenn Bewehrung für die Tragfähigkeit erforderlich ist	228
<u>20.</u>	<u>Verformungen und Umlagerung von Schnittkräften</u>	<u>229</u>
20.1	Verformungen	229
20.2	Umlagerung von Schnittkräften	230

<u>21. Konstruktive Regeln</u>	233
<u>22. Bemerkungen zur Bauausführung und zur Bauüberwachung.</u>	237
<u>23. Grundlagen für die Schwind- und Kriecheinflüsse</u>	241
23.1 Ermittlung der Schwind- und Kriechmaße nach DIN 4227, Ausgabe 1979	241
23.2 Betondehnungen unter veränderlichen Betonspannungen	247
23.2.1 Bezeichnungen	247
23.2.2 Der allgemeine Ansatz	248
23.2.3 Das Verfahren mit dem Relaxationskennwert (Alterungsbeiwert) nach Trost, Zerna, Bazant	248
23.2.4 Erweiterte Dischinger-Gleichung nach Rüsç, Jungwirth, Kupfer	250
23.3 Berechnung des Spannungsabfalls in Spanngliedern mit Verbund	252
23.3.1 Verfahren mit dem Relaxationskennwert	252
23.3.2 Verfahren mit der erweiterten Dischinger-Gleichung	254
23.4 Einfach statisch unbestimmtes System aus Beton und Stahl	255
23.4.1 Verfahren mit dem Relaxationskennwert	255
23.4.2 Verfahren mit der erweiterten Dischinger-Gleichung	256
23.4.3 Drei Beispiele für die Anwendung der C_g , C_r , C_S -Werte	258
23.4.3.1 Statisch unbestimmtes, homogenes Betontragwerk	258
23.4.3.2 Mittig gedrücktes, bewehrtes Betonprisma	259
23.4.3.3 Spannungsabfall in einem Spannglied	260
23.5 Verfahren mit dem wirksamen Elastizitätsmodul	262
23.5.1 Kraftgrößenverfahren	262
23.5.2 Weggrößenverfahren	263
23.5.3 Verbindung zweier Fertigteilträger, Bauzustände	264
23.6 Verbundquerschnitte mit dehn- und biegesteifen Stahlteilquerschnitt	270
23.6.1 Verschiedene Verbundquerschnitte	270
23.6.2 Ideelle Querschnittswerte, Verteilungsgrößen nach dem Weggrößenverfahren	270
23.6.3 Umlagerungsgrößen infolge Kriechen und Schwinden des Betons bei statisch bestimmtem Stabwerk	273
23.6.4 Verfahren mit Kriechfasern von Busemann	275
23.6.4.1 Homogener Querschnitt als Zweipunktquerschnitt	275
23.6.4.2 Verbundquerschnitt als Zweipunktquerschnitt	277
23.6.5 Kraftgrößenverfahren für die Umlagerungsgrößen	279
<u>24. Nachweis des Grenzzustandes der Tragfähigkeit mit dem Traglastverfahren</u>	281
24.1 Vorbemerkung	281
24.2 Annahmen und Voraussetzungen	281
24.2.1 Allgemeines	281
24.2.2 Theoretische Grundlagen des Traglastverfahrens	282
24.2.3 Rotationsfähigkeit	284
24.2.4 Verformungen und Reißbeschränkung	286
24.2.5 Zwangsschnittgrößen	286
24.3 Anwendung des Traglastverfahrens auf Spannbetontragwerke	287
24.3.1 Stabtragwerke	287
24.3.2 Gegenüberstellung des bisherigen Sicherheitsnachweises und des Traglastverfahrens	289
24.3.3 Flächentragwerke (Platten)	291
Schrifttumverzeichnis	293