

Fritz Leonhardt

---

# Vorlesungen über Massivbau

---

Fünfter Teil

Spannbeton

Von F. Leonhardt

mit Beiträgen über

Nachweise der Schwind- und Kriechinflüsse  
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 Spannbetonsträgern</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 Spannstäbe 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 Zieh- 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. Spanverfahren 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 $\sigma_x$ 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 Umlenkkräften . . . . .	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 Vorspannkräfte . . . . .</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 Querkräfte 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 Rißbeschränkung . . . . .	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