

**Deutsche  
Demokratische  
Republik**

**Betonbau  
Nachweis der Trag- und Nutzungsfähigkeit  
Konstruktionen aus Spannbeton**

**TGL  
33405/02**

Gruppe 20000

Бетонное и железобетонное строительство  
**Расчет по предельным  
состояниям несущей  
способности и эксплуатации**  
Предварительно напряженные железобетонные  
конструкции

Concrete Construction  
**Ultimate and Serviceability  
Limit State Design**  
Prestressed Concrete Structures

Deskriptoren: Betonbau; Tragfaehigkeit; Nutzungsfahigkeit; Spannbeton; Spannleichtbeton

Für neu auszuarbeitende Projektlösungen und Angebotsprojekte, ausgenommen für Straßen- und Eisenbahnbrücken sowie Betondeckschichten für Straßen, verbindlich ab 1.7.1981

Für bestehende Angebotsprojekte und wiederverwendungsfähige Projektlösungen verbindlich ab deren planmäßiger Überarbeitung, spätestens jedoch ab 1.1.1986

Verbindlich ab 1.1.1986

Abweichungen von diesem Standard sind zulässig, wenn sie durch Theorie oder Versuche ausreichend begründet sind und der Nachweis dafür erbracht wurde.

Dieser Standard gilt für die Nachweisführung nach Grenzzuständen und die bauliche Durchbildung von Bauteilen aus Spannbeton und Spannleichtbeton.

In diesem Standard sind die Festlegungen des  
ST RGW 1406-78<sup>\*1)</sup>

enthalten entsprechend der Konvention über die Anwendung der Standards des Rates für Gegenseitige Wirtschaftshilfe.

Weitere Informationen hierzu siehe Abschnitt "Hinweise".

Vorbemerkung

Für die Umrechnung der bisher gebräuchlichen Einheiten gilt folgende Beziehung:

$$10 \text{ kp/cm}^2 = 1 \text{ N/mm}^2 \text{ (gerundeter Wert)}$$

## 1. BEGRIFFE UND FORMELZEICHEN

Tabelle 1 Begriffe

Benennung  
Erklärung

**Spannbeton**

bewehrter Beton, bei dem die Bewehrung teilweise oder vollständig aus vorgespannter Bewehrung besteht

**Spannleichtbeton**

bewehrter gefügedichter Leichtbeton mit Zementbindemittel, bei dem die Bewehrung teilweise oder vollständig aus vorgespannter Bewehrung besteht

**Vorspannung**

Beanspruchungszustand in der Konstruktion, hervorgerufen durch die Übertragung der Vorspannkräfte aus der vorgespannten Bewehrung auf den Beton

**Vorspannung mit sofortigem Verbund**

Das Vorspannen der Spannbewehrung erfolgt vor dem Erhärten des Betons. Verbundwirkung ist bei Übertragung der Vorspannkräfte auf die Konstruktion vorhanden.

Fortsetzung der Tabelle Seite 2

\*1) für die vertragsrechtlichen Beziehungen zur ökonomischen und wissenschaftlich-technischen internationalen Zusammenarbeit verbindlich ab 1.7.1981

Verantwortlich: VEB Betonleichtbaukombinat, Dresden

Fortsetzung Seite 2 bis 22

Bestätigt: 27.10.1980, Amt für Standardisierung, Meßwesen und Warenprüfung, Berlin

**Benennung**  
**Erklärung**

**Vorspannung mit nachträglichem Verbund**

Das Vorspannen der Spannbewehrung erfolgt nach dem Erhärten des Betons. Der Verbund wird durch geeignete Maßnahmen, z. B. Auspressen der Spankanäle mit Einpreßmörtel, hergestellt. Für alle nach dem Erhärten des Einpreßmörtels auftretenden Beanspruchungszustände ist Verbundwirkung vorhanden.

**Vorspannung ohne Verbund**

Das Vorspannen der Spannbewehrung erfolgt nach dem Erhärten des Betons. Es wird kein Verbund zwischen Beton und Spannbewehrung hergestellt. Die Spannbewehrung kann sowohl innerhalb als auch außerhalb des Betonquerschnittes angeordnet sein.

**Vorspanngrad I**

In den Grenzzuständen der Tragfähigkeit tritt keine Rißbildung auf. Die Nachweisführung hat für Zugversagen des Betons im Zustand I zu erfolgen.

**Vorspanngrad II**

In den Grenzzuständen der Nutzungsfähigkeit tritt keine Rißbildung auf. Unter dem langfristig wirkenden Anteil der Schnittgrößen darf in Normalschnitten keine Zugbeanspruchung des Betons auftreten.

**Vorspanngrad III**

In den Grenzzuständen der Nutzungsfähigkeit tritt Rißbildung auf (Zustand II). Für die Rißbreite sind festgelegte Grenzwerte einzuhalten.

**Spannstahl**

hochfeste Drahtbewehrung, Litze, hochfester Stabstahl

**Spannglied**

Zugglied aus Spannstahl, das zur Erzeugung der Vorspannung dient

**Einstabspannglied**

Spannglied bestehend aus einem Spannstahl

**Bündelspannglied**

Spannglied bestehend aus mehreren Spannstählen gleicher Stahlmarke

**massige Konstruktion**

Konstruktion, die durch ihre Eigenlast keine oder nur geringfügige Biegebeanspruchung erhält, z. B. Gründungsplatte, Strahlenschutzwand, Stütz- oder Stauwand, Widerlager, Flügelwand

**Spannbettspannung**

Spannung in der Spannbewehrung bei Vorspannung mit sofortigem Verbund vor dem Umspannen

**Vordehnungsspannung**

Spannung in der Spannbewehrung, die der Dehnungsdifferenz zwischen Spannstahl und Beton in der Spanngliedfaser des untersuchten Schnittes zum Betrachtungszeitpunkt zugeordnet ist  
Sie ergibt sich aus der Wirkung der Vorspannkraft, der Belastung sowie des Kriechens und Schwindens zum Zeitpunkt  $t$

**Rechenwert der Vordehnungsspannung**

Vordehnungsspannung, berechnet unter Berücksichtigung des Lastfaktors für die Vorspannkraft

**rißerzeugende Stahlspannung**

Differenz aus der im Zustand II in den Grenzzuständen der Nutzungsfähigkeit berechneten Spannung im Spannglied und dem zugeordneten Rechenwert der Vordehnungsspannung  
Sie ist unter Berücksichtigung ungünstiger Einflüsse aus Vorspann- und Lasteinwirkungen sowie infolge Kriechens und Schwindens zu berechnen.

**Spannprogramm**

Zusammenstellung aller Forderungen und Angaben für die Einleitung der Vorspannkraft

**Spannstufe**

Teilgröße der Vorspannkraft eines oder mehrerer Spannglieder, nach deren Aufbringen der Spannvorgang zunächst unterbrochen wird (Teilvorspannung)

**Spannkanal**

Hohlraum im Betonquerschnitt der zur Aufnahme eines Spanngliedes bei Vorspannung mit nachträglichem Verbund oder ggf. auch bei Vorspannung ohne Verbund dient

Tabelle 2 Formelzeichen

Formelzeichen; FormelnErklärung

$$\sigma, \tau, \sigma_I \text{ oder } \sigma_{II}$$

Normalspannung, Schubspannung, Hauptzug- oder Hauptdruckspannung; Zugspannungen sind positiv definiert

$$\sigma_{pi} \text{ oder } \sigma_{si}$$

Spannung der vorgespannten oder nichtvorgespannten Bewehrung der Faser "i" in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit

$$\sigma_{p,p}^{(0)} \text{ oder } \sigma_{p,p+f+\psi}^{(0)}$$

Spannbettspannung oder Vordehnungsspannung

$$\sigma_p^{(0)}$$

Rechenwert der Vordehnungsspannung

$$\sigma_{p,np+f+\psi}$$

Spannung im Spannglied infolge n-facher Vorspannkraft, äußerer Belastung sowie Kriechens und Schwindens

$$\Delta\sigma_{p,np+f+\psi}$$

rißerzeugende Stahlspannung infolge n-facher Vorspannkraft, äußerer Belastung sowie Kriechens und Schwindens

$$\sigma_{bp,p}$$

Betonspannung in Höhe der Spanngliedfaser infolge Vorspannung

$$b \text{ oder } b_{ef}$$

Querschnittsbreite bei Rechteckquerschnitten oder mitwirkende Druckplattenbreite bei Plattenbalkenquerschnitten, siehe TGL 33404/01 und /02

$$b_w$$

Stegbreite bei Plattenbalkenquerschnitten

$$b_0$$

kleinste Querschnittsbreite in der Zugzone zwischen dem Schwerpunkt der Zugbewehrung und der Betondruckzone

$$h \text{ oder } h_0$$

Querschnittsdicke oder Druckplattendicke bei Plattenbalken

$$h_{pi} \text{ oder } h_{si}$$

Abstand der vorgespannten oder nicht vorgespannten Bewehrung in der Faser "i" vom Druckrand oder stärker gedrückten Rand

$$h_p$$

Nutzhöhe, Abstand der Zugbewehrung vom Druckrand

$$h'_p$$

Abstand der Druckbewehrung vom Druckrand

$$x$$

größter senkrechter Abstand der Nulllinie vom Druckrand

$$k_x = \frac{x}{h_p}$$

auf die Nutzhöhe bezogener größter senkrechter Abstand der Nulllinie vom Druckrand

$$x_R$$

rechnerische Höhe der Betondruckzone

$$k_{xR} = \frac{x_R}{h_p}$$

auf die Nutzhöhe bezogene rechnerische Höhe der Betondruckzone

$$k_0 = \frac{x_R}{x}$$

Verhältnis aus rechnerischer Höhe der Betondruckzone und größtem Abstand der Nulllinie vom Druckrand

Fortsetzung der Tabelle 2

Formelzeichen; Formeln  
Erklärung $s_d$   
Abstand der Schrägstäbe, gemessen in Richtung der Trägerlängsachse $s_v$   
Abstand der Bügel $l_0$   
Knicklänge $e$   
Summe aus planmäßiger Ausmittigkeit ( $e_0$ ) und zufälliger Ausmittigkeit ( $e_a$ ) $l_{b,p}$   
Übertragungslänge bei Vorspannung mit sofortigem Verbund, Abstand vom Ende der vorgespannten Bewehrung bis zu dem Schnitt in dem angenommen werden kann, daß die Vorspannung im Spannstahl ihren Rechenwert erreicht hat. $l_s$   
Störlänge; Bereich, in dem die lineare Verteilung der Spannungen über den Betonquerschnitt erfolgt. $l_p$   
Eintragungslänge. Abstand vom Ende der vorgespannten Bewehrung bis zu dem Schnitt, für den lineare Verteilung der Normalspannungen aus Vorspannung im Querschnitt angenommen werden kann $A_{b0}$   
Fläche des Betonquerschnitts $A'_b$   
Querschnittsfläche der Betondruckzone $A_{bt}$   
Querschnittsfläche der Betonzugzone $A_s$  oder  $A'_s$   
Querschnittsfläche der nicht vorgespannten Bewehrung in der Zug- oder Druckzone

$$\mu_s = \frac{A_s}{b h_p} \text{ oder } \frac{A_s}{b_{ef} h_p} ; \frac{A_s}{b_w h_p}$$

Bewehrungsverhältnis der nicht vorgespannten Bewehrung in der Zugzone für Rechteckquerschnitte oder Plattenbalkenquerschnitte mit  $x_R \leq h_0$ ;  $x_R > h_0$ 

$$\mu'_s = \frac{A'_s}{b h_p} \text{ oder } \frac{A'_s}{b_{ef} h_p} ; \frac{A'_s}{b_w h_p}$$

Bewehrungsverhältnis der nicht vorgespannten Bewehrung in der Druckzone für Rechteckquerschnitte oder Plattenbalkenquerschnitte mit  $x_R \leq h_0$ ;  $x_R > h_0$ 

$$\mu_p = \frac{A_p}{b h_p} \text{ oder } \frac{A_p}{b_{ef} h_p} ; \frac{A_p}{b_w h_p}$$

Bewehrungsverhältnis der vorgespannten Bewehrung in der Zugzone für Rechteckquerschnitte oder Plattenbalkenquerschnitte mit  $x_R \leq h_0$ ;  $x_R > h_0$ 

$$\mu'_p = \frac{A'_p}{b h_p} \text{ oder } \frac{A'_p}{b_{ef} h_p} ; \frac{A'_p}{b_w h_p}$$

Bewehrungsverhältnis der vorgespannten Bewehrung in der Druckzone für Rechteckquerschnitte oder Plattenbalkenquerschnitte mit  $x_R \leq h_0$ ;  $x_R > h_0$

Fortsetzung der Tabelle 2

Formelzeichen; FormelnErklärung

$$\min. \mu_p = \frac{\min. A_p}{b h_p} \text{ oder } \frac{\min. A_p}{b_w h_p}$$

Mindestbewehrungsverhältnis der vorgespannten Bewehrung bei Rechteck- oder Plattenbalkenquerschnitten  
Für allgemeine Querschnitte ist die größte Querschnittsbreite in der Zugzone zwischen dem Schwerpunkt der  
Zugbewehrung und der Begrenzung der rechnerischen Betondruckzone in Rechnung zu stellen. Bei mittiger  
Zugbeanspruchung ist  $\min. A_p$  auf  $A_{b0}$  zu beziehen.

 $A_q$ 

Querschnittsfläche der Querkraftbewehrung (Bügel und Schrägstäbe) für den untersuchten Bereich

 $A_v$  oder  $A_d$ 

Querschnittsfläche der Bügelbewehrung oder von Schrägstäben

$$\mu_d = \frac{A_d}{b_0 \cdot s_d}$$

Bewehrungsverhältnis von Schrägstäben

Für Rechteckquerschnitte entspricht  $b_0$  der Querschnittsbreite  $b$ , für Plattenbalkenquerschnitte der Steg-  
breite  $b_w$

$$\mu_v = \frac{A_v}{b_0 \cdot s_v}$$

Bewehrungsverhältnis der Bügelbewehrung

Für Rechteckquerschnitte entspricht  $b_0$  der Querschnittsbreite  $b$ , für Plattenbalkenquerschnitte der Stegbreite  
 $b_w$

$$\min \mu_v = \frac{\min. A_v}{b_0 \cdot s_v}$$

Mindestwert des Bewehrungsverhältnisses der Querkraftbewehrung (Bügelbewehrung)

 $S'_{b, 0}$  oder  $S'_{b, 1}$ 

statisches Moment des Betonquerschnittes der Druckzone in bezug auf die Nulllinie oder die zur Biegeebene  
senkrechte Achse 1-1 durch die Bewehrung in der Zugzone

 $S_{bt, 0}$ 

für Schnitte im Zustand I zu berechnendes statisches Moment des Betonquerschnitts der Zugzone in bezug auf  
die Nulllinie

 $S_{s, 0}$  oder  $S_{s, 1}$ 

statisches Moment der im Querschnitt angeordneten nicht vorgespannten Bewehrung in bezug auf die Nulllinie  
oder die zur Biegeebene senkrechte Achse 1-1 durch die Bewehrung in der Zugzone

 $S_{p, 0}$  oder  $S_{p, 1}$ 

statisches Moment der im Querschnitt angeordneten vorgespannten Bewehrung in bezug auf die Nulllinie oder  
die zur Biegeebene senkrechte Achse 1-1 durch die Bewehrung in der Zugzone

 $J'_{b, 0}$ 

Flächenträgheitsmoment der Betondruckzone in bezug auf die Nulllinie

 $J_{s, 0}$  oder  $J_{p, 0}$ 

Summe der Flächenträgheitsmomente der nicht vorgespannten oder vorgespannten Bewehrung in bezug auf die  
Nulllinie

$$\alpha_s = \frac{E_s}{E_b} \text{ oder } \alpha_p = \frac{E_p}{E_b}$$

Verhältnis der Elastizitätsmoduln von nicht vorgespannter oder vorgespannter Bewehrung und Beton

 $k_p$ 

Korrekturbeiwert zur Ermittlung des Lastfaktors für die Vorspannkraft

 $R_E^n(t_0)$ 

Normwert der Erhärtungs-Würfeldruckfestigkeit des Betons zum Zeitpunkt des völligen oder teilweisen Ein-  
tragens der Vorspannkraft

Fortsetzung der Tabelle 2

Formelzeichen; Formeln  
Erklärung

 $R_b(t_0)$  oder  $R_{bt}(t_0)$ 

Rechenwert der Druckfestigkeit oder Zugfestigkeit des Betons zum Zeitpunkt des Eintragens der Vorspannkraft in die Konstruktion

 $R_p$  oder  $R_s$ 

Rechenwert der Betonstahl- oder Spannstahlfestigkeit

 $R_{sv}$  oder  $R_{sd}$ 

Rechenwert der Festigkeit des Bügel- oder Schrägstabes

 $M_u$  oder  $M$ 

Biegemoment infolge äußerer Belastung im Grenzzustand der Tragfähigkeit oder der Nutzungsfähigkeit

 $N_u$  oder  $N$ 

Längskraft infolge äußerer Belastung im Grenzzustand der Tragfähigkeit oder der Nutzungsfähigkeit (Zugkräfte positiv)

 $Q_u$  oder  $Q$ 

Querkraft infolge äußerer Belastung im Grenzzustand der Tragfähigkeit oder der Nutzungsfähigkeit

 $T_u$  oder  $T$ 

Torsionsmoment infolge äußerer Belastung im Grenzzustand der Tragfähigkeit oder der Nutzungsfähigkeit

 $P_v^{(0)}$ mit dem Rechenwert der Vordehnungsspannung berechnete Komponente der Vorspannkraft, die in Richtung der Querkraft wirkt  
Sie ist positiv bei gleichem und negativ bei der Querkraft entgegengerichtetem Richtungssinn. $P_h^{(0)}$ 

mit dem Rechenwert der Vordehnungsspannung berechnete Komponente der Vorspannkraft, die senkrecht zum untersuchten Normalschnitt wirkt

## 2. NACHWEIS DER TRAGFÄHIGKEIT

### 2.1. Grundsätze

2.1.1. Nachweise ausreichender Tragfähigkeit sind für die in der TGL 33402 angegebenen Stadien und Beanspruchungen zu führen. Der Beanspruchungszustand unmittelbar nach Eintragung der Vorspannkraft ist in die Untersuchungen mit einzuschließen. Wird die Vorspannung in Stufen aufgebraucht, sind gesonderte Nachweise erforderlich.

2.1.2. Die Schnittgrößen sind unter Berücksichtigung von TGL 33404/01 und /02 mit den Rechenwerten der Einwirkungen zu berechnen.

2.1.3. Mitwirkende Plattenbreite nach TGL 33404/01 und /02

2.1.4. Festigkeits- und Formänderungskennwerte nach TGL 33403  
Für Belastungsalter unter 28 Tagen sind die Festigkeits- und Formänderungskennwerte anhand der zum betreffenden Zeitpunkt erforderlichen Norm-Würfeldruckfestigkeit unter Verwendung der analytischen Beziehungen wie für ein Belastungsalter von 28 Tagen zu berechnen. Der Normwert der Erhärtungs-Würfeldruckfestigkeit darf bei Teilvorspannung  $10 \text{ N/mm}^2$  nicht unterschreiten.

2.1.5. Die Vorspannverluste aus Reibung bei Vorspannung mit nachträglichem Verbund und infolge Nachgiebigkeit der Widerlager bei Vorspannung mit sofortigem Verbund sind zu berücksichtigen. Berechnung der Vorspannverluste aus Reibung, siehe Abschnitt 3.4.  
In Abhängigkeit von den speziellen Ausführungsbedingungen sind diese Verluste auch bei Vorspannung ohne Verbund zu berücksichtigen.

2.1.6. Den Tragfähigkeitsnachweisen sind die Vorspannkraft unter Berücksichtigung der bis zum jeweiligen Nachweiszeitpunkt eingetretenen Verluste aus Kriechen und Schwinden des Betons zugrunde zu legen. Die Abweichungen der Vorspannkraft von ihren Sollwerten sind durch den Lastfaktor für die Vorspannkraft zu berücksichtigen. Hinweise für die Ermittlung der Spannungsumlagerungen infolge Kriechens und Schwindens, siehe Abschnitt 3.3.

2.1.7. Die ungünstige Wirkung von Abweichungen der Vorspannkraft von den unter Berücksichtigung des Abschnittes 2.1.5. ermittelten Sollwerten auf das Tragverhalten ist durch Lastfaktoren nach Gleichung (1) zu berücksichtigen

$$n = 1 \pm k_p$$

$k_p$  nach Tabelle 3

(1)

Tabelle 3 Korrektorbeiwert  $k_p$ 

Spannverfahren	$k_p$		
	bei einer Anzahl der Einzelstab- oder Bündelspannglieder von		
	1	6	16
mechanisches Vorspannen	0,100	0,080	0,065
elektrothermisches	$\leq 3$	0,180	0,145
Vorspannen bei einer	6	0,140	0,110
Bauteillänge in m	$\geq 9$	0,125	0,100
			0,080

Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.

Der Rechenwert der Vordehnungsspannung ist nach Gleichung (2) unter Berücksichtigung des Lastfaktors für die Vorspannkraft zu ermitteln, der den jeweils betrachteten Beanspruchungszustand ungünstig beeinflusst:

$$\sigma_p^{(0)} = \sigma_{p, np+f+\varphi} - \alpha \cdot \sigma_{p, bp, np+f+\varphi} \quad (2)$$

## 2.2. Biegung, Biegung mit Längskraft, mittlerer Zug

2.2.1. Spannbetonbauteile müssen eine Mindestbewehrung erhalten, die beim Übergang von Zustand I in Zustand II das Sprödbruchversagen ausschließt. Diese Forderung gilt für biegebeanspruchte Bauteile als erfüllt, wenn die Werte nach Tabelle 4 eingehalten sind.

Bei mittlerer Zugbeanspruchung sind die Zahlenwerte nach Tabelle 4 zu verdoppeln.  
Druckbeanspruchte Querschnitte mit Ausmittigkeiten kleiner als  $2,5 \cdot h$ , siehe TGL 33405/01.

Tabelle 4 Mindestbewehrungsverhältnis

Stahlmarke	$\sigma_p^{(0)}$ N/mm <sup>2</sup>	min. $\mu_p$ in % für die Betonklasse								
		Bk 15 <sup>x2)</sup>	Bk 20 <sup>x3)</sup>	Bk 25	Bk 30	Bk 35	Bk 40	Bk 45	Bk 50	Bk 60
St 140/160	300	0,030	0,035	0,045	0,050	0,055	0,060	0,065	0,065	0,075
	500	0,035	0,045	0,050	0,055	0,065	0,070	0,075	0,080	0,090
	700	0,045	0,055	0,060	0,070	0,075	0,085	0,090	0,095	0,110
	800	0,050	0,060	0,070	0,080	0,085	0,095	0,100	0,110	0,120
	900	0,060	0,070	0,080	0,090	0,100	0,110	0,115	0,125	0,140
	1000	0,070	0,085	0,095	0,105	0,115	0,130	0,135	0,145	0,165
	1100	0,090	0,105	0,120	0,130	0,145	0,155	0,170	0,180	0,200
St 60/90	300	0,105	0,125	0,145	0,165	0,180	0,195	0,215	0,225	0,255
	400	0,145	0,175	0,200	0,225	0,250	0,270	0,290	0,310	0,350
	450	0,185	0,220	0,250	0,280	0,305	0,335	0,360	0,380	0,425
	500	0,270	0,310	0,350	0,385	0,415	0,450	0,480	0,505	0,565
analytische Beziehung <sup>4)</sup>	Gleichung 3 $\min \mu_p = \frac{R_b^0}{R_p^0} \left( 1 - 0,73 \frac{\sigma_p^{(0)}}{R_p^0} \right) \left[ 1 - \sqrt{1 - 0,81 \frac{R_{bt}^0}{R_b^0} \cdot \frac{1}{\left( 1 - 0,73 \frac{\sigma_p^{(0)}}{R_p^0} \right)^2}} \right]$									

Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.  $R_p^0$ ;  $R_{bt}^0$ ;  $R_b^0$  nach TGL 33403

x2) nur für massige Konstruktionen zulässig.

x3) Bk 20 darf mit Ausnahme massiger Konstruktionen nur dann angewendet werden, wenn Beanspruchungsgrad I (nicht aggressive Bedingungen) vorliegt und die Nutzungsbedingungen denen des trockenen Innenraums entsprechen.

4) für Spannbetonkonstruktionen sind die Rechenwerte der Betondruck- und Betonzugfestigkeit wie für Beton anzunehmen.

Liegt in Ausnahmefällen der Rechenwert der Vordehnungsspannung oberhalb der Werte von  $1100 \text{ N/mm}^2$  für St 140/160 oder von  $500 \text{ N/mm}^2$  für St 60/90, dürfen die diesen Werten zugeordneten Mindestbewehrungsverhältnisse unverändert beibehalten werden. Die Mindestbewehrungsverhältnisse dürfen bis zu 50 % unterschritten werden, wenn die Vorspannung zur Beeinflussung von Eigenspannungszuständen und der Beanspruchungen aus Zwangsschnittgrößen angewandt wird und die Lastschnittgrößen von untergeordneter Größe sind. In diesen Fällen ist das berechnete Bewehrungsverhältnis um 15 %, maximal jedoch bis zum Wert von min.  $\mu_p$ , zu erhöhen.

Unabhängig von den vorstehenden Festlegungen ist mindestens die Spannstahlanzahl nach Tabelle 5 einzuhalten. Die Festlegungen der Tabelle 5 gelten nicht für Bündelspannglieder und Einstabspannglieder mit  $d_p \geq 19 \text{ mm}$ .

Tabelle 5 Mindestanzahl von Spannstählen

Mindestanzahl von Spannstählen St 140/160 für		
Voll- und Hohlplatten	Balken, Plattenbalken, Rippendecken	massige Konstruktionen
4 je m Breite	mindestens 3 je Bauteil, jedoch 2 je Rippe	keine Forderungen

2.2.2. Bei Biegung mit und ohne Längskraft von Schnitten im Zustand I (Vorspanngrad I) liegt den Nachweisbedingungen Festigkeitsversagen des Betons bei einachsiger Zugbeanspruchung zugrunde. Die Berechnung ist nach den Gleichungen (4.1.), (4.2.) und (5) durchzuführen. Die Tragfähigkeit ist nachgewiesen, wenn die nach Gleichung (4.1.) berechnete aufnehmbare Längskraft  $N_u(R)$  gleich  $N_u$  ist und  $M_{u,0}$  das aufnehmbare Biegemoment ( $M_0(R)$ ) nach Gleichung (4.2.) nicht überschreitet. Bei Biegung mit Längsdruckkraft ist bei Biegung mit und ohne Längszugkraft aus äußerer Belastung zu berechnen. Bei Biegung mit Längsdruckkraft sind zusätzlich hierzu die zufällige Ausmittigkeit und bei stabilitätsgefährdeten Bauteilen der Ausweichfaktor zu berücksichtigen, siehe Abschnitt 2.5.1.

$$N(R) = A_p \cdot \sigma_p^{(0)} + A'_p \cdot \sigma_p^{(0)} + R_{bt} \left( 2 \frac{S'_{b,0} + (\alpha-1) S_{p,0} + (\alpha-1) S_{s,0}}{h-x} + A_{bt} \right) \quad (4.1.)$$

$$M_0(R) = A_p \cdot \sigma_p^{(0)} (h-x) - A'_p \cdot \sigma_p^{(0)} (x-h') + R_{bt} \left( 2 \frac{J'_{b,0} + (\alpha-1) J_{p,0} + (\alpha-1) J_{s,0}}{h-x} + S_{bt,0} \right) \quad (4.2.)$$

$$|\sigma'_{bd}| = 2 R_{bt} \cdot \frac{x}{h-x} \leq R_b \quad (5.)$$

Die statischen Momente sind unter Berücksichtigung des Vorzeichens zu berechnen, siehe Bild 1.

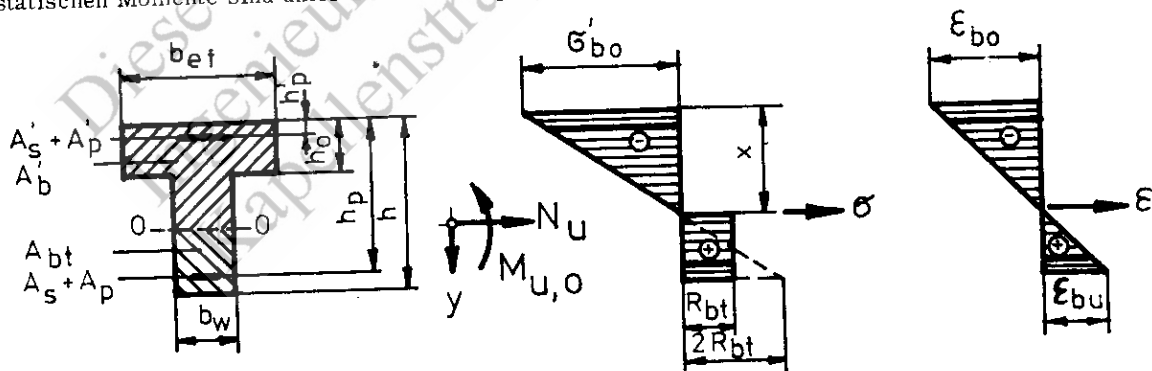


Bild 1

Überschreitet beim Übergang zum mittigen Druck die Betonspannung  $\sigma'_{bo}$  die Rechenfestigkeit  $R_b$ , ist ausreichende Tragfähigkeit nachgewiesen, wenn die vorhandene Längskraft den Grenzwert nach Gleichung (6) nicht überschreitet.

$$N_u = N_m - (N_m - N^*) \cdot \frac{\eta_{cr} \cdot e}{e^*} \quad (6)$$

In Gleichung (6) bedeuten:

$N_m$  theoretisch aufnehmbare mittige Längsdruckkraft

$$= - \left( R'_p \sum A_{pi} + R'_s \sum A_{si} + A_{b0} R_b \right) + \sum P_{hi}^{(0)}, \text{ wobei } R'_p \leq \begin{cases} 500 \text{ N/mm}^2 \\ R_p \end{cases}$$



$N^x$  Längsdruckkraft nach Gleichung (4.1.) für  $x = \frac{R_b}{2 R_{bt} + R_b} \cdot h$

$e^*$  der Längsdruckkraft  $N^x$  zugeordnete Ausmittigkeit, bezogen auf die ideale Schwerachse  
 $\eta_{cr}$  Ausweichfaktor nach Abschnitt 2.5.1.

2.2.3. Bei Biegung mit und ohne Längskraft von Schnitten im Zustand II (Vorspanngrade II und III) sind die Spannungen in der vorgespannten Bewehrung, die in der Faser "i" mit dem Abstand  $h_{pi}$  vom Druckrand bzw. stärker gedrückten Querschnittsrand angeordnet ist, nach Gleichung (7.1.) und (7.2.) zu berechnen, siehe Bild 2

- Für  $k_{xR} \leq k_0$

$$\sigma_{pi} = \frac{440}{1,1 - k_0} \left( \frac{k_0}{k_{xR}} \frac{h_{pi}}{h_{p1}} - 1 \right) + \sigma_{pi}^{(0)} \begin{cases} \geq \sigma_{pi}^{(0)} - R'_p \\ \leq R_p \end{cases} \quad (7.1.)$$

- Für  $k_0 < k_{xR} \leq \frac{h}{h_{p1}}$

$$\sigma_{pi} = -500 \left[ 1 + \left( \frac{k_{xR} - k_0}{\frac{h}{h_{pi}} - k_0} \right) \frac{\frac{h_{pi}}{h_{p1}} - 1,136 k_0 + 0,25}{1,25 - 1,136 k_0} \right] + \sigma_{pi}^{(0)} \geq \sigma_{pi}^{(0)} - R'_p \quad (7.2.)$$

$k_0$  nach Tabelle 6

Tabelle 6  $k_0$ -Werte

Betonklasse	Bk 40	Bk 60	analytische Beziehung
$k_0 = \frac{k_{xR}}{k_x}$	0,80	0,60	$0,60 \leq 1,20 - \frac{R_b}{100} \leq 0,80$

Zwischenwerte sind linear zu interpolieren.

Die Spannung in der nicht vorgespannten Bewehrung ist nach Gleichung (7.1.) bzw. (7.2.) mit

$\sigma_{pi}^{(0)} = 0$  zu berechnen.

Die zugeordneten Rechenwerte dürfen nicht überschritten werden, wobei  $R'_s = R_s$  gilt.

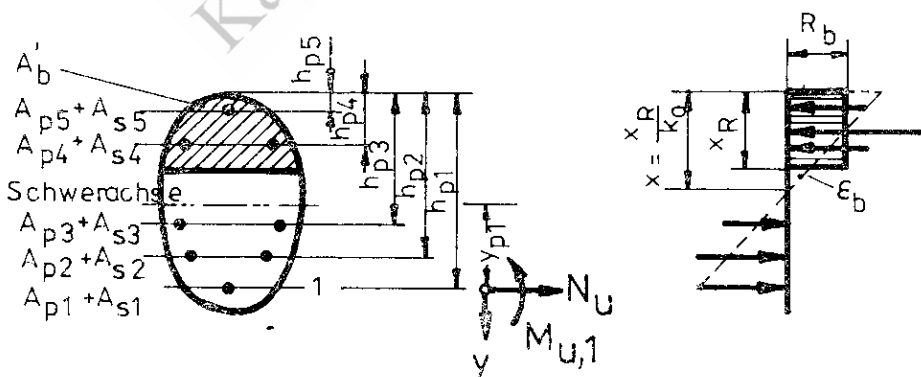


Bild 2

Der Nachweis ausreichender Tragfähigkeit oder die Bemessung ist nach den Gleichungen (8.1.) und (8.2.) durchzuführen, siehe Bild 2. Die Tragfähigkeit ist nachgewiesen, wenn die nach Gleichung (8.1.) berechnete aufnehmbare Längskraft  $N(R)$  gleich  $N_u$  ist und das auf die Achse 1-1 bezogene Biegemoment  $M_{u,1}$  das aufnehmbare Biegemoment  $M_{1}(R)$  nach Gleichung (8.2.) nicht überschreitet.  $M_{u,1}$  ist bei Biegung mit und ohne Längszugkraft aus der äußeren Belastung zu berechnen. Bei Biegung mit Längsdruckkraft sind zusätzlich hier-

zu die zufällige Ausmittigkeit und bei stabilitätsgefährdeten Bauteilen der Ausweichfaktor zu berücksichtigen, siehe Abschnitt 2.5.1.

$$N(R) = -R_b \cdot A'_b + \sum_{j=1}^j \sigma_{pi} \cdot A_{pi} + \sum_{i=1}^k \sigma_{si} \cdot A_{si} \quad (8.1.)$$

$$M_1(R) = -R_b \cdot S'_{b,1} + \sum_{j=2}^j \sigma_{pi} \cdot S_{pi,1} + \sum_{i=2}^k \sigma_{si} \cdot S_{si,1} \quad (8.2.)$$

2.2.4. Bei mittlerer Zugbeanspruchung ist die Tragfähigkeit nachgewiesen, wenn  $N_U$  die nach Gleichung (9) oder (10) berechnete aufnehmbare Zugkraft ( $N(R)$ ) nicht überschreitet.

- Zustand I (9)

$$N(R) = R_{bt} \cdot A_{b0} + (2(\alpha_p - 1) R_{bt} + \sigma_p^{(0)}) \sum A_{pi} + 2(\alpha_s - 1) \sum A_{si} \cdot R_{bt}$$

- Zustand II

$$N(R) = R_p \sum A_{pi} + R_s \sum A_{si} \quad (10)$$

Liegt im Zustand II Zugkraft mit geringer Ausmittigkeit vor (die Druckzonenhöhe ist Null, die Längszugkraft greift zwischen den gezogenen Bewehrungslagen an), darf die Aufteilung der Zugkraft auf die weniger und die mehr gezogene Bewehrung nach dem Hebelgesetz erfolgen.

2.2.5. Bei dynamischer Lasteinwirkung ist zusätzlich zum Tragfähigkeitsnachweis für die statische Beanspruchung nach den Abschnitten 2.2.2. bis 2.2.4. der Nachweis auf Ermüdungsfestigkeit zu führen. Hierbei dürfen die Spannungen im Beton und in der Bewehrung die Rechenfestigkeiten  $R_b$  und  $R_p$  bzw.  $R_s$  nicht überschreiten. Die Spannungen sind nach der Elastizitätstheorie im Zustand I oder Zustand II für die maßgebene Normlastkombination mit Lastfaktoren gleich 1, 0 zu ermitteln. Für nur auf Druck beanspruchte Stähle dürfen die Anpassungsfaktoren, die die Ermüdung berücksichtigen, zu  $m_{s1} = 1$  angenommen werden.

2.3. Querkraft, Torsion, Querkraft mit Torsion

2.3.1. Der Rechenwert der Querkraft ( $Q_{ur}$ ) ist unter Berücksichtigung vertikaler Komponenten der Vorspannkraft bei geneigter Spanngliedführung, die Biegeschlankheit des Bauteiles, dem Abstand von Einzellasten vom Auflager und unter Berücksichtigung der Veränderung der Nutzhöhe in Richtung der Spannweite wie folgt zu berechnen:

$$Q_{ur} = \alpha_Q \left| Q_u + \sum P_{vi}^{(0)} \right| \pm \frac{\left| M_{u,1} + \sum \frac{P_{hi}^{(0)} (h_{p1} - h_{pi})}{h_p} \right| \tan \vartheta}{h_p} \quad (11)$$

In Gleichung (11) gilt für den 2. Term das Minuszeichen, wenn der Betrag des Biegemomentes mit wachsender Nutzhöhe zunimmt.

In Gleichung (11) bedeuten:

$\alpha_Q$  Beiwert nach TGL 33405/01

$\vartheta$  Winkel zwischen Zug- und Druckgurt

$M_{u,1}$  Biegemoment infolge äußerer Belastung, bezogen auf die Achse 1-1

Für Schnitte mit mittlerer Spanngliedführung oder bei in Auflagernähe hochgezogenen Spanngliedern und fehlender Biegezugbewehrung am gezogenen oder weniger gedrückten Querschnittsrand darf im Zustand I  $h_p$  durch  $0,9 \cdot h$  ersetzt werden. Für den Nachweis der aufnehmbaren Reißbildungsschnittgrößen gilt Abschnitt 2.2.2. ohne Änderung. Tritt in diesem Falle Zustand II ein (klaffende Fuge in der Zugzone), ist für  $h_p$  die 0,9fache Höhe des ungerissenen Restquerschnitts anzunehmen.

Wird zusätzlich zu den im Querschnitt vorhandenen Spanngliedern eine nicht vorgespannte Biegezugbewehrung mit  $\mu_s \geq 0,5$  min.  $\mu_s$  am gezogenen Querschnittsrand angeordnet, darf  $h_p$  durch  $h_s$  ersetzt werden.

Für  $Q_u$  ist grundsätzlich kein größerer Wert als der am Auflagerrand und bei Fundamenten als der im Abstand  $0,5 \cdot h_p$  vom Lasteintragrand anzunehmen.

2.3.2. Querkraftbewehrung ist in Bauteilen oder Bereichen von Bauteilen nicht erforderlich, wenn der Rechenwert der Querkraft ( $Q_{ur}$ ) den Wert  $Q_1$  nach Gleichung (12) nicht überschreitet. Bei Rechenwerten der Querkraft größer als  $Q_1$  ist der Nachweis ausreichender Querkrafttragfähigkeit nach den Abschnitten 2.3.3. und 2.3.4. zu führen.

$$Q_1 = \alpha_1 \cdot \beta_1 \cdot R_{bt} \cdot b_0 \cdot h_p \quad (12)$$

In Gleichung (12) bedeutet:

$\alpha_1 = 0,3$  für Balken und Plattenbalken  
 $0,6$  für Voll- und Hohldeckenplatten

$\beta_1$  ist nach Gleichung (13) zu berechnen:

$$\beta_1 = 1 + \frac{m_Q}{0,5 + \frac{|M_{u1} + N_u (h_{p1} - 0,5 h) - \sum P_{hi}^{(0)} (h_{pi} - 0,5 h)|}{(\sum P_{hi}^{(0)} - N_u) h}} \quad \left. \begin{array}{l} \geq 1 \\ \leq 2 \end{array} \right\} \quad (13)$$

Für den Beiwert  $m_Q$  gilt:

$$m_Q = 2,5 \frac{\sum P_{hi}^{(0)}}{R_p \sum A_{pi} + R_s \sum A_{si}} \leq 1 \quad (14)$$

Bei der Berechnung von  $m_Q$  ist die nicht vorgespannte Bewehrung nur dann zu berücksichtigen, wenn sie bei der Ermittlung der Biegetragfähigkeit mit in Rechnung gestellt wurde.

$h_p$  nach Abschnitt 2.3.1.

2.3.3. Der Betonquerschnitt ist so groß zu wählen, daß die Querkraft  $|Q_u + \sum P_{vi}^{(0)}|$  den maximal vom Querschnitt aufnehmbaren Grenzwert nach Gleichung (15) nicht überschreitet.

$$Q_2 = 0,3 \cdot R_b \cdot b_0 \cdot h_p \quad (15)$$

Dabei darf  $R_b$  höchstens mit  $20 \text{ N/mm}^2$  in Rechnung gestellt werden

2.3.4. Im Bereich

$$Q_1 < Q_{ur} \quad \text{und} \quad |Q_u + \sum P_{vi}^{(0)}| \leq Q_2$$

gilt der Nachweis ausreichender Querkrafttragfähigkeit als erfüllt, wenn Querkraftbewehrung nach Gleichung (16) angeordnet wird.

$$A_q = \frac{A_v}{\sin \alpha_v} + A_d \frac{R_{sd}}{R_{sv}} = \frac{1,1}{R_{sv}} \int_{x_0}^{x_1} \eta \frac{Q_{ur}}{h_p} dx \quad (16)$$

$\eta$  nach Tabelle 7,  $h_p$  siehe Abschnitt 2.3.1.,  $\alpha_v$  siehe Bild 3

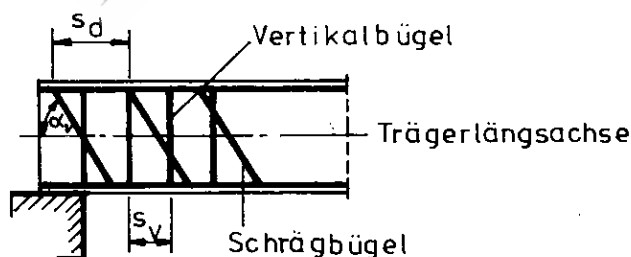


Bild 3

Der Wert  $\eta$  darf im untersuchten Bereich als konstant mit dem maximalen Wert des Bereiches angenommen werden. Für glatte Stähle der Klasse IV ist  $R_{sv}$  bzw.  $R_{sd}$  grundsätzlich nicht größer als  $260 \text{ N/mm}^2$  anzunehmen.

Als Bewehrung ist jedoch mindestens je Schnitt vorzusehen:

$$\min. A_v = 0,25 \cdot \frac{R_{bt}^0}{R_{sv}^0} \cdot b_0 \cdot s_v \quad (17)$$

$s_v$  siehe Bild 3

Der Abstand  $s_v$  dieser Bügelbewehrung darf  $1,5 \cdot h_p$  nicht überschreiten.  
In allen übrigen Fällen gilt für den maximalen Abstand von Bügeln oder Schrägstäben

$$s_v = \frac{h_p}{\mu} \begin{cases} \leq 15 h_p \\ \leq \frac{750 \text{ mm}}{\mu} \end{cases} \quad (18)$$

$$\mu = \frac{Q_{ur}}{R_{bt} \cdot b_0 \cdot h_p}$$

Für Spannleichtbetonkonstruktionen sind die 0,75fachen Werte nach Gleichung (18) einzuhalten.

Tabelle 7 Beiwerte  $\eta$ <sup>5)</sup>

$\xi = \frac{Q_{ur}}{R_{bt} \cdot b_0 \cdot h_p}$	vorwiegend ruhende Belastung für $\beta_1$ gleich					dynamische Belastung für $\beta_1$ gleich				
	1	1,25	1,50	1,75	2,00	1	1,25	1,50	1,75	2,00
0,300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,375	0,14	0	0	0	0	0,23	0	0	0	0
0,450	0,24	0,12	0	0	0	0,38	0,19	0	0	0
0,500	0,29	0,18	0,07	0	0	0,46	0,29	0,11	0	0
0,525	0,32	0,21	0,11	0	0	0,49	0,33	0,16	0	0
0,600	0,38	0,29	0,19	0,10	0	0,58	0,43	0,29	0,14	0
0,75	0,48	0,40	0,32	0,24	0,16	0,69	0,58	0,46	0,35	0,23
1,00	0,61	0,54	0,48	0,41	0,35	0,81	0,72	0,63	0,55	0,46
1,25	0,71	0,65	0,60	0,54	0,49	0,87	0,81	0,74	0,67	0,60
1,50	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,92	0,86	0,81	0,75	0,69
1,75	0,88	0,84	0,79	0,75	0,70	0,95	0,90	0,85	0,81	0,76
2,00	0,96	0,92	0,88	0,84	0,79	0,98	0,93	0,89	0,85	0,81
2,25	1,00	0,96	0,92	0,88	0,84	1,00	0,96	0,92	0,88	0,84
2,50	1,00	0,98	0,94	0,91	0,87	1,00	0,98	0,94	0,91	0,87
2,75	1,00	0,99	0,96	0,93	0,90	1,00	0,99	0,96	0,93	0,90
3,00	1,00	1,00	0,98	0,95	0,92	1,00	1,00	0,98	0,95	0,92
3,25	1,00	1,00	0,99	0,96	0,94	1,00	1,00	0,99	0,96	0,94
3,50	1,00	1,00	1,00	0,98	0,95	1,00	1,00	1,00	0,98	0,95
3,75	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97
4,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98
$\geq 4,50$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
analytische Beziehung	$\eta = \underbrace{(0,60 + 0,267 \xi)}_{\leq 1,15} \left(1 - \frac{0,3 \beta_1}{\xi}\right) \begin{cases} \geq 0 \\ \leq 1 \end{cases}$					$\eta = 1,15 \left(1 - \frac{0,3 \beta_1}{\xi}\right) \begin{cases} \geq 0 \\ \leq 1 \end{cases}$				

In Balkenabschnitten  $4 \times \begin{cases} \leq 2 h_p \\ \leq \frac{1}{4} \end{cases}$

darf unabhängig vom Querkraftverlauf die gleiche Bügelteilung gewählt werden.

5)  $\beta_1$  nach Abschnitt 2.3.2.

2.3.5. Tritt in auflagnahen Schnitten Normalrißbildung in der Zone auf, die durch das Feldmoment auf Druck beansprucht wird, darf auf die Anordnung einer Biegezugbewehrung verzichtet werden, wenn der ungerissene Restquerschnitt die vorhandenen Querkräfte überträgt und der klaffende Riß die Nutzung oder den Bestand des Bauteils nicht gefährdet. Ist dies nicht gegeben, muß die erforderliche Biegezugbewehrung berechnet werden. Dabei ist mindestens 0,5 min.  $\mu_s$  nach TGL 33405/01 anzuordnen. Für den Nachweis der aufnehmbaren Querkraft gelten in diesem Falle die Beziehungen mit  $h_p = h_s$ .

2.3.6. Indirekte Lasteintragung nach TGL 33405/01

2.3.7. Wird die Biegezugbewehrung abgestuft, ist als Versatzmaß

$$l_v = (1,8 - 0,72 \cdot \max. \xi) \begin{cases} \geq 0,5 \cdot h_p \\ \leq 1,5 \cdot h_p \end{cases} \quad (19)$$

zu berücksichtigen, wobei max.  $\xi$  der Größtwert von  $\xi$  im Bereich zwischen 2 Querkraftnullpunkten ist.

Im Bereich

$$Q_1 < Q_{ur} \text{ und } |Q_u + \sum P_{vi}^{(0)}| \leq Q_2$$

ist nachzuweisen, daß die zum Auflager durchgeführte Biegezugbewehrung die zusätzliche Zugkraft

$$\Delta F_t = |Q_u + \sum P_{vi}^{(0)}| \left( \frac{l_v}{h_p} \cdot \frac{1}{\sin \alpha_v} - \cot \alpha_v \right) \quad (20)$$

aufnimmt. Ist dies nicht der Fall, muß zusätzliche Bewehrung in der Zugzone zur Aufnahme von  $\Delta F_t$  angeordnet werden. Der sich damit ergebende Gesamtquerschnitt der Biegezugbewehrung ist mit dem Wert zu begrenzen, der dem Schnitt mit dem nächstliegenden Maximalmoment entspricht. In Gleichung (20) ist  $\alpha_v$  der Neigungswinkel der Bügelbewehrung gegenüber der Stabachse, siehe Bild 3.

2.3.8. Ist im betrachteten Feldbereich zwischen 2 Querkraftnullstellen das Torsionsmoment ( $T_u$ ) nicht größer als  $T_1$  nach Gleichung (21) ist weder eine Torsions- noch Querkraftbewehrung erforderlich.

$$T_1 = 0,6 \cdot \beta_1 \cdot R_{bt} \cdot A_{nu} \cdot t_{ef} \cdot \left(1 - \frac{Q_{ur}}{Q_1}\right) \quad (21)$$

$A_{nu} \cdot t_{ef}$  siehe Bild 4

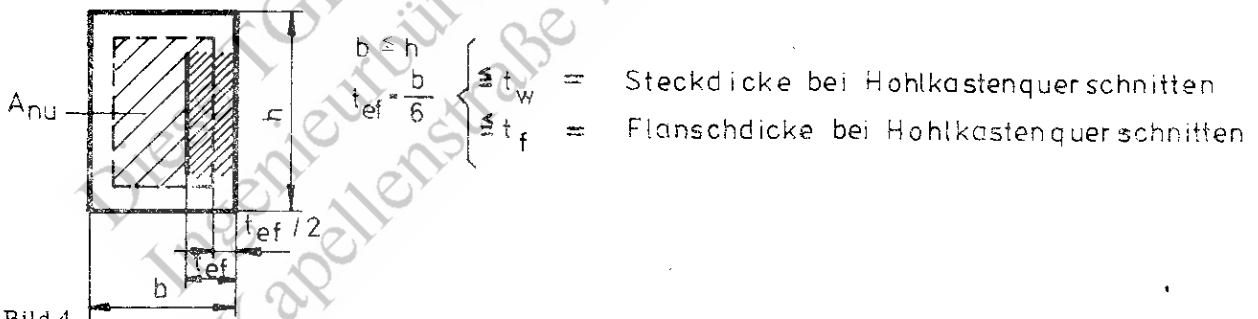


Bild 4

2.3.9. Der Betonquerschnitt ist so groß zu wählen, daß das Torsionsmoment ( $T_u$ ) den Wert  $T_2$  nach Gleichung (22) nicht überschreitet.

$$T_2 = 0,5 \cdot R_b \cdot A_{nu} \cdot t_{ef} \cdot \left(1 - \frac{|Q_u + \sum P_{vi}^{(0)}|}{Q_2}\right) \quad (22)$$

Der Rechenwert der Betondruckfestigkeit ist mit höchstens  $24/\text{Nmm}^2$  zu berücksichtigen,  $A_{nu} \cdot t_{ef}$  siehe Bild 5.

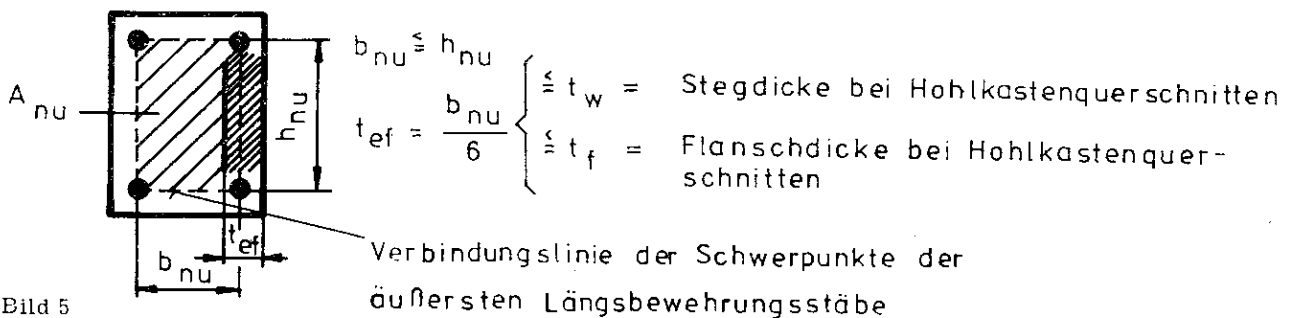


Bild 5

## 2.3.10. Im Bereich

$$T_1 < T_u \leq T_2$$

ist die Berechnung des erforderlichen Bewehrungsquerschnittes wie für Stahlbetonquerschnitte nach TGL 33405/01 vorzunehmen. Der Rechenwert der vorgespannten Längsbewehrung beträgt

$$\sigma_p^{(0)} + 500 \text{ N/mm}^2 \leq R_p$$

2.3.11. Bei dynamischer Lasteinwirkung ist zusätzlich zu den Nachweisen für vorwiegend ruhende Belastung ein Nachweis auf Ermüdungsfestigkeit zu führen. Dieser Nachweis ist nach den Festlegungen der Abschnitte 2.3.2. bis 2.3.10. zu führen, wobei die Bedingungen des Abschnittes 2.2.5. gelten. Die Anpassungsfaktoren für Baustoffermüdung sind nach TGL 33403 zu bestimmen, wobei für das Verhältnis der Spannungen aus Unter- und Oberlast

$$x = \frac{\min \sigma_b}{\max \sigma_b} \approx \frac{\min Q + \sum P_{vi}^{(0)}}{\max Q + \sum P_{vi}^{(0)}} \text{ angenommen werden darf.}$$

Der Korrekturwert  $\eta$  ist Tabelle 7 zu entnehmen.

## 2.4. Örtliche Beanspruchungen

Die Berechnung auf örtliche Lasteinwirkung hat wie für Stahlbeton nach TGL 33405/01 zu erfolgen. Bei der Ermittlung von Hauptspannungen sind die Einflüsse aus örtlicher Beanspruchung mit zu berücksichtigen.

## 2.5. Stabilität

2.5.1. Bei Einwirkung von äußeren Druckkräften ist zusätzlich zur vorhandenen planmäßigen Ausmittigkeit die zufällige Ausmittigkeit nach TGL 33405/01 zu berücksichtigen. Der Nachweis ausreichender Tragfähigkeit bei ausweichgefährdeten Bauteilen ist unter Berücksichtigung des Ausweichfaktors zu führen, soweit planmäßig äußere Druckkräfte vorliegen und die Schnittgrößenberechnung nicht unter Berücksichtigung des Stabilitätsverhaltens nach der Theorie II. Ordnung erfolgt. Der Ausweichfaktor ist nach Gleichung (23) zu berechnen.

$$\eta_{cr} = \frac{1}{1 - \frac{N_u}{N_{cr}}} \quad (23)$$

Für die ideelle kritische Längsdruckkraft  $N_{cr}$  gilt:

$$N_{cr} = \frac{-6,4 E_b}{l_0^2} \left[ \frac{J_b}{k_d} \left( \frac{0,11}{0,1 + m_{cr} \frac{|e|}{h}} + 0,1 \right) + \alpha_p J_p + \alpha_s J_s \right] \quad (24)$$

In Gleichung (24) bedeuten:

$$k_d = 1 + \frac{M_{u, ma, d}}{M_{u, ma}} \geq 1$$

$M_{u, ma, d}$  Biegemoment des langfristig wirkenden Lastanteils oder der Gesamtbelastung, bezogen auf den weniger gedrückten Querschnittsrand  
oder  $M_{u, ma}$

$h$  Querschnittsdicke in Richtung der Ausmittigkeit

$$m_{cr} = \frac{1}{1 + 40 \frac{|e|}{h} \frac{\sigma_{p, np} + \varphi \cdot \mu_{p0}}{R_b}} *$$

$$\mu_{p0} = \frac{A_p + A'_p}{A_{b0}} p$$

2.5.2. Beulen siehe TGL 33405/01

2.5.3. Kippen siehe TGL 33405/01

## 2.6. Verankerungen

2.6.1. Erfolgt die Verankerung nicht durch gesonderte Verankerungsvorrichtungen, z. B. Ankerplatten, sondern sofort durch Haftkräfte im Beton, ist die Eintragungslänge nach Gleichung (25) zu berechnen:

$$l_p = \sqrt{l_{b,p}^2 + l_s^2} \quad (25)$$

Bei Biegegliedern darf für die Störlänge der Zugbewehrung die Nutzhöhe eingesetzt werden. Die Übertragungslänge ist für profilierte Spannstähle nach Gleichung (26) zu bestimmen:

$$l_{b,p} = \left( 10 + 0,25 \frac{\sigma_{p,p}^{(0)}}{R_b(t)} \right) d_p \geq 150 \text{ mm} \quad (26)$$

Bei Spannbeton ist die Übertragungslänge nach Gleichung (26) um 25 % zu vergrößern. Für den Spannstahldurchmesser ist bei paarweise ohne Zwischenraum verlegten Spannstählen  $d_p \cdot \sqrt{2}$  anzunehmen. Bei Spannstählen mit Querschnitten, die vom Kreisquerschnitt abweichen, z. B. bei ovalen Spannstählen aus St 140/160 ist  $d_p$  unter Annahme eines Kreisquerschnittes aus der Querschnittsfläche zu berechnen. Für Untersuchungen im Bereich der Eintragungslänge darf lineare Zunahme der Vorspannkraft von Null am Spannstahle bis zum vollen Wert am Ende der Eintragungslänge vorausgesetzt werden.

2.6.2. Bei Vorspannung mit nachträglichem Verbund gilt bei Verankerung von Einstabspanngliedern mit Ankerplatten  $l_p = l_s$ . Bei Verankerung von Bündelspanngliedern ist die Eintragungslänge nach Gleichung (25) mit  $l_{b,p}$  gleich der Wendellänge zu berechnen.

2.6.3. Überschreiten die Spaltzugkräfte die unter Verwendung der Rechenwerte der Betonzugfestigkeit aufnehmbaren, sind Bewehrungen anzuordnen. Für den zu bewehrenden Bereich und die Ermittlung der Spaltzugkräfte gelten die Festlegungen nach TGL 33404/02.

Die Spaltzugbewehrung ist mit den Rechenwerten ihrer Zugfestigkeit für die unter Berücksichtigung der Lastfaktoren nach Gleichung (1) ermittelte Vorspannkraft zu bemessen.

2.6.4. Bei Spannbeton mit sofortigem Verbund und Beton der Klasse Bk 25 und höher ist im Regelfall eine zusätzliche Untersuchung auf Spaltzugkräfte nicht erforderlich, wenn die zum Zeitpunkt der Spannkrafteinleitung entstehenden Betondruckspannungen in Richtung der Spannstahlachse die Normdruckfestigkeit des Betons zum gleichen Zeitpunkt nicht überschreiten und die Randabstände der Spannstähle mindestens 80 mm betragen. Bei Randabständen der Spannstähle von weniger als 80 mm und fehlender Spaltzugbewehrung ist bei Normwerten der Erhärtungs-Würfeldruckfestigkeit unter  $17,5 \text{ N/mm}^2$  ein rechnerischer Nachweis dafür zu erbringen, daß die Spaltzugkräfte im Verankerungsbereich durch den Beton aufgenommen werden.

2.6.5. Werden mehrere Spannglieder nebeneinander im Innern von Tragwerken verankert, ist auf versetzte Anordnung zu achten. Der Abstand der Verankerungen benachbarter Spannglieder soll in Spanngliedlängsachse mindestens das 1,5fache des Spanngliedabstandes betragen. Die Querzugbewehrung im Einleitungsbereich der Vorspannkraft ist nach Gleichung (27) zu berechnen, siehe Bild 6:

$$A_{st} = \frac{0,2 \cdot A_p \cdot \sigma_p^{(0)}}{R_s} \quad (27)$$

Der Vorspannkraftanteil  $0,4 \cdot A_p \cdot \sigma_p^{(0)}$  ist im Bereich der Innenverankerung nach rückwärts durch Bewehrung zu verankern. Diese Bewehrung ist nach Gleichung (28) zu berechnen, siehe Bild 6:

$$A_{sa} = 2 \cdot A_{st} \quad (28)$$

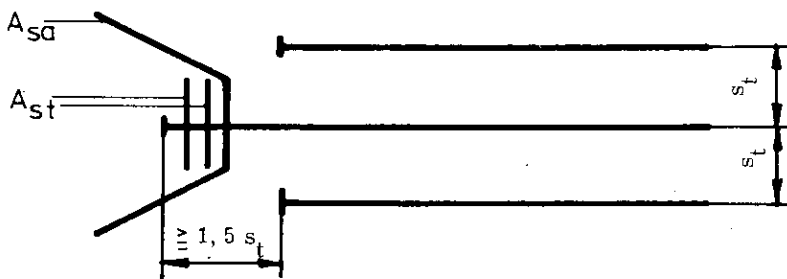


Bild 6

2.6.6. Für die schlaife Bewehrung gelten die Festlegungen nach TGL 33405/01.

## 2.7. Stöße und tragende Fugen

2.7.1. Stöße der Bewehrung sind grundsätzlich in den geringer beanspruchten Bereichen des Tragwerkes anzuordnen. Für die nicht vorgespannte Bewehrung gilt TGL 33405/01.

2.7.2. Arbeitsfugen sind grundsätzlich senkrecht zur resultierenden Beanspruchungsrichtung anzuordnen. Ist das nicht möglich, ist die Übertragung der anzuschließenden Schnittgrößenanteile nachzuweisen. Bei Vorspanngrad I und II in der Arbeitsfuge darf außerdem die Zugfestigkeit des Betons nur mit 50 % ihrer Werte nach TGL 33403 angesetzt werden.

2.7.3. Parallel oder geneigt zur resultierenden Beanspruchungsrichtung angeordnete Arbeitsfugen sind, sofern keine Verzahnungen in den anzuschließenden Flächen ausgebildet werden, durch Bewehrung zu sichern. Die Bemessung dieser Anschlußbewehrung hat für die anzuschließende Schubkraft, ohne Berücksichtigung der Mitwirkung des Betons, zu erfolgen.

2.7.4. Der Nachweis der Fugentragfähigkeit von Spannbeton-Fertigteildeckenplatten senkrecht zur Deckenebene darf nach TGL 33405/01 erfolgen. Dabei ist die maximal aufnehmbare Querkraft ( $Q_{fi}(R)$ ) mit dem Anpassungsfaktor  $m_F$  nach Gleichung (29) zu vervielfachen:

$$m_F = 1 + 0,4 \frac{\sum P_{hi}^{(0)}}{R_p \sum A_{pi} + R_s \sum A_{si}} \leq 1,2 \quad (29)$$

Die Bewehrungsquerschnitte in Gleichung (29) gelten für eine Fertigteildeckenplatte. Die Zugkraft der nicht vorgespannten Bewehrung  $R_s \cdot \sum A_{si}$  braucht nur dann berücksichtigt zu werden, wenn diese Bewehrung für die Ermittlung der Biegetragfähigkeit der Fertigteildecke mit herangezogen wurde.

3. NACHWEIS DER NUTZUNGSFÄHIGKEIT

3.1. Grundsätze

3.1.1. Stadien, in denen Nachweise zu führen sind, in Ansatz zu bringende Größen der Einwirkungen und den Nachweisen zugrunde zu legende Rechenannahmen nach TGL 33402.

3.1.2. Die Schnittgrößen und Verformungen sind nach TGL 33404/01 und /02 zu ermitteln.

3.1.3. Die in der nicht vorgespannten und vorgespannten Bewehrung auftretenden Spannungen dürfen das 0,8fache der Normwerte der Stahlfestigkeit nach TGL 33403 nicht überschreiten.

3.2. Spannungsermittlung

3.2.1. Im Zustand I sind Normalspannungen als Ausgangswerte für die Kriechberechnung sowie Normal- und Schubspannungen zur Berechnung der Hauptspannungen nach der Elastizitätstheorie zu berechnen.

3.2.2. Unter vorwiegend ruhender Belastung sind die Schnittgrößen zum Zeitpunkt der Rißbildung im Zustand I unter der Annahme rechteckförmiger Spannungsverteilung in der Zugzone und dreieckförmiger Spannungsverteilung in der Druckzone zu berechnen. Der Spannungswert der Betonspannungen in der Zugzone entspricht dabei dem Normwert der Zugfestigkeit, siehe Bild 7.

Bei dynamischer Belastung ist die Spannungsverteilung in Zug- und Druckzone dreieckförmig anzunehmen. Der Spannungswert des Betons in der Zugzone entspricht dabei dem mit dem Anpassungsfaktor für Baustoffermüdung multiplizierten Normwert der Betonzugfestigkeit, siehe Bild 7.

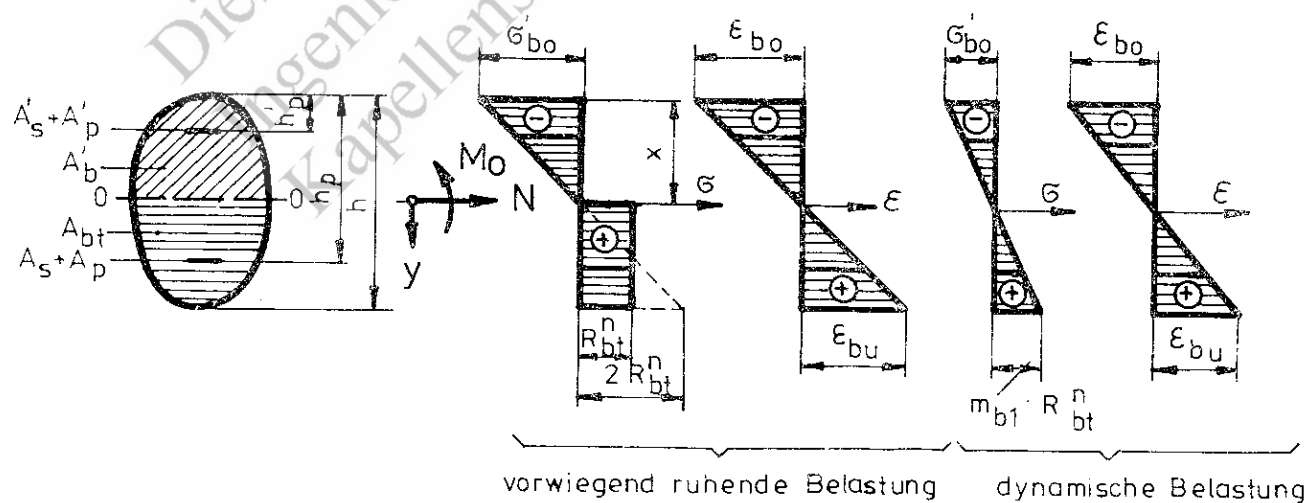


Bild 7

3.2.1. Im Zustand II sind die Normalspannungen sowohl für vorwiegend ruhende als auch für dynamische Belastung nach der Elastizitätstheorie mit den Elastizitätsmoduln nach TGL 33403 zu berechnen. Die Spannungsverteilung in der Druckzone wird dreieckförmig vorausgesetzt.



### 3.3. Spannungsumlagerungen infolge Kriechens und Schwindens

3.3.1. Die Formänderungskennwerte für die Berechnung der Spannungsumlagerungen infolge Kriechens und Schwindens sind in Abhängigkeit von den vorliegenden Bedingungen nach TGL 33403 anzunehmen.

3.3.2. Für die Ermittlung der Spannungsumlagerungen darf die Alterungstheorie oder die Theorie des elastisch kriechenden Körpers angewandt werden.

Liegt Vorspanngrad III bei massigen Konstruktionen vor, darf auf die Berücksichtigung der Einflüsse aus Kriechen und Schwinden verzichtet werden, wenn bei den Nachweisen der Tragfähigkeit folgende Grenzwerte für  $k_{xR}$  eingehalten sind:

$$\text{mittige Vorspannung: } k_{xR} = \frac{1}{3 \varphi(\Delta t)}$$

$$\text{ausmittige Vorspannung: } k_{xR} = \frac{1}{4 \varphi(\Delta t)}$$

$\varphi(\Delta t)$  nach TGL 33403.

3.3.3. Vereinfachend darf bei der Berechnung der Spannungsumlagerungen Zustand I vorausgesetzt werden.

3.3.4. Je nach Zielstellung der Untersuchung sind die Vorspannkräfte mit den Minimal- oder Maximalwerten des Lastfaktors nach Abschnitt 2.1.7. vervielfacht in Rechnung zu stellen.

### 3.4. Vorspannverluste infolge Reibung

Die Vorspannverluste infolge Reibung sind bei Spannbeton mit nachträglichem Verbund zu berechnen aus:

$$\sigma_{p, \mu_R} = \sigma_{p, np} \left( 1 - e^{-\mu_R (\theta + k_R x)} \right) \quad (30)$$

Es bedeuten:

- $\sigma_{p, np}$  Spannung in der vorgespannten Bewehrung an der Spannstelle  $x = 0$
- $x$  Abstand zwischen Spannpresse und untersuchtem Schnitt in m
- $k_R$  Beiwert zur Berücksichtigung von Abweichungen des Hüllrohrs von der Sollage nach Tabelle 8
- $\mu_R$  Reibungskoeffizient zwischen Bewehrung und Hüllrohr nach Tabelle 8
- $\theta$  Umlenkwinkel oder Summe der Umlenkwinkel in rad

Tabelle 8 Richtwerte für  $k_R$  und  $\mu_R$

Hüllrohr oder Kanal	Spannglieder, Litzen, glatte Stähle		Stähle mit Rippenprofil	
	$\mu_R$	$k_R$	$\mu_R$	$k_R$
Metall	0,25	0,016	0,35	0,012
Plast	0,25	0,012	0,30	0,010
Kanal mit starrem Kanalbildner	0,35	0,003	0,50	0,002
Betonoberfläche mit elastischem Kanalbildner	0,35	0,006	0,50	0,004

### 3.5. Rißbildung, Rißbreite

3.5.1. Der Vorspanngrad ist in Abhängigkeit von den an die Baukonstruktion gestellten Anforderungen zu wählen, Nachweise siehe Tabelle 9

Tabelle 9 Zu führende Nachweise

Vorspanngrad	erforderliche Nachweise		Anteil der einwirkenden Normlasten bei Ermittlung der maßgebenden Schnittgrößen
	Bedingung	Forderung	
II	keine Normal- und Schrägrißbildung	maßg. $\sigma_b \leq R_{bt}^n$ oder $m_{b1} \cdot R_{bt}^n$ $Q_{ur} \leq \psi_p \cdot Q_j$	Gesamtbelastung
		$\sigma_b \leq 0$ in allen Normal-schnitten des Tragwerkes	langzeitig wirkender Anteil der Belastung

Fortsetzung der Tabelle 9 Seite 18

Fortsetzung der Tabelle 9

Vorspanngrad	erforderliche Nachweise		Anteil der einwirkenden Normlasten bei Ermittlung der maßgebenden Schnittgrößen
	Bedingung	Forderung	
III	Einhaltung von Grenzwerten der Normal- und Schrägrißbreite $w$	vorh. $w \leq w_{lm, f}$	Gesamtbelastung
		vorh. $w \leq w_{lm, fd}$	langzeitig wirkender Anteil der Belastung

3.5.2. Bei Vorspanngrad II ist die Rißbildung nur mit geringer Wahrscheinlichkeit zu erwarten, wenn die vom Querschnitt im Zustand I aufnehmbare Schnittgröße mindestens gleich der durch die Normwerte der Gesamtbelastung verursachten ist. Für die Spannungsverteilung im Querschnitt gilt Bild 7. Schrägrißbildung gilt als ausgeschlossen, wenn im Grenzzustand der Tragfähigkeit die Bedingung  $Q_{ur} \leq \psi_p \cdot Q_1$  eingehalten wurde. Die Schnittgrößen aus dem langzeitig wirkenden Anteil der Normlasten dürfen nur Drucknormalspannungen, maximal bis zur Größe Null, in der am höchsten beanspruchten Querschnittsfaser hervorrufen. Die Spannungsermittlung darf in diesem Falle nach der Elastizitätstheorie unter Zugrundelegung des Zustandes I erfolgen. Die Nachweise sind für die mit den ungünstig wirkenden Lastfaktoren vervielfachten Vorspannkraft unter Berücksichtigung der Spannungsumlagerungen infolge Kriechens und Schwindens bis zum Nachweiszeitpunkt sowie bei Vorspannung mit nachträglichem Verbund zusätzlich hierzu unter Beachtung der Reibungsverluste zu führen.

3.5.3. Bei Vorspanngrad III ist für den Nachweis der Rißbreite bei biegebeanspruchten Querschnitten die rißerzeugende Stahlspannung im Zustand II unter Zugrundelegung der Elastizitätstheorie zu ermitteln.

$$(\Delta \sigma_{p, np+f+\varphi})$$

Die in Abschnitt 3.5.2. genannten Einflüsse sind zu berücksichtigen. Die Rißbreite vorh.  $w$  in Höhe des Schwerpunktes der Biegezugbewehrung ist nach TGL 33405/01 mit

$$\sigma_s = \Delta \sigma_{p, np+f+\varphi} \quad \text{zu berechnen.}$$

Bei Spannstählen mit Querschnitten, die vom Kreisquerschnitt abweichen, ist  $d_p$  unter Annahme eines Kreisquerschnittes aus der Querschnittsfläche zu berechnen.

Für Bündelspannglieder darf  $d_p$  als Produkt von Einzeldurchmesser mal Wurzel aus der Stahlanzahl ermittelt werden.

Setzt sich die Bewehrung aus Stählen unterschiedlicher Durchmesser und/oder unterschiedlicher Verbundeigenschaften zusammen, ist  $d_p$  als arithmetischer Mittelwert unter Berücksichtigung des Beiwertes  $\psi_2$  nach TGL 33405/01 zu berechnen.

Für ovale, schräggerippte Spannstähle aus St 140/160 ist  $\psi_2$  nach TGL 33405/01 wie für Rippenstahl anzunehmen.

3.5.4. Für die einzuhaltenden Grenzwerte der Normalrißbreiten gilt Tabelle 10

3.5.5. Die Normalrißbreite 0 gilt für

$$\Delta \sigma_{p, np+f+\varphi} = 0$$

eingehalten.

3.5.6. Die Schrägrißbreiten sind nach TGL 33405/01 zu berechnen. Dabei ist der berechnete Bügelgrendurchmesser mit dem Faktor

$$\psi_p = 1 + \frac{\sum P_{hi}^{(0)}}{2 A_{b0} R_{bt}^n} \cong 2 \quad (31)$$

zu multiplizieren.

3.5.7. Für die Grenzwerte der einzuhaltenden Schrägrißbreite gilt Tabelle 10

Tabelle 10 Grenzwerte der Rißbreite ( $w_{1m}$ ) bei Beanspruchungsgrad I - nicht aggressiv

Nutzungsbedingungen	relative Luftfeuchte in %	$w_{1m}$ in mm in Abhängigkeit von der Art der Belastung			
		langzeitig einwirkende Spannbewehrung	schlaife Bewehrung	Gesamtbelastung Spannbewehrung	schlaife Bewehrung
trockene Innenräume einschließlich Küchen und Bäder in Wohnungen	III 75	0,15	0,30	0,35	0,40
feuchte Innenräume, allgemein im Freien und im Erdreich	IV 75 IV 90	0,10	0,20	0,25	0,30
Naßräume, im Freien bei häufig wechselnder Durchfeuchtung und Austrocknung	> 90	0	0,15	0,10	0,25

3.5.8. Für schlaife Bewehrungen, die in Bereichen ohne Spannbewehrung angeordnet sind, gelten die Grenzwerte der Rißbreiten wie für Stahlbetonkonstruktionen. Dies betrifft z. B. Obergurte und Schrägen von VT-Faltwerksträgern, Spiegel von Dachkassettenplatten, Druckflansche von Plattenbalken ohne Spannbewehrung.

3.5.9. Spannbetonkonstruktionen bei Einwirkung aggressiver Medien siehe die geltenden Rechtsvorschriften für den Korrosionsschutz.

#### 3.6. Verformungen

Verformungen von Spannbetontragwerken sind nur dann nachzuweisen, wenn Nutzungseinschränkungen oder eine nachteilige Beeinflussung anderer, mit der untersuchten Konstruktion in Verbindung stehender Bauteile befürchtet wird. Im Falle der Beeinflussung anderer Bauteile durch die Verformungen von Spannbetonbauteilen ist die Verformungsdifferenz zwischen den gegebenenfalls vorhandenen negativen Anfangswerten der Verformungen infolge Vorspannung und Teilbelastung sowie unter Gesamtbelastung oder langzeitiger Belastung maßgebend. Die Berechnung von Verformungen kann nach TGL 33404/02 erfolgen.

#### 4. BAULICHE DURCHBILDUNG

##### 4.1. Querschnittsmaße

Die Querschnittsmaße sind so zu wählen, daß mit dem zur Anwendung gelangenden Herstellungsverfahren ein einwandfreies Einbringen und Verdichten des Betons gewährleistet ist. Hohldeckenplatten, trogförmige Riegel und ähnliche Spannbetonbauteile sind konstruktiv so auszubilden, daß Feuchtigkeitsansammlungen in den Hohlräumen ausgeschlossen sind.

##### 4.2. Fugen und Arbeitsfugen

Fugen sind nach TGL 22903 und TGL 33405/01 anzuordnen und auszubilden. Arbeitsfugen sind entsprechend dem rechnerischen Nachweis nach Abschnitt 2.8. anzuordnen und auszubilden. Wird die Aufnahme der infolge Schwindens und Abfließens der Hydratationswärme des anbetonierten Teiles auftretenden Zugkräfte durch Bewehrung nicht nachgewiesen, so ist die parallel zur Arbeitsfuge vorhandene Bewehrung in einem Bereich gleich der halben Länge der Arbeitsfuge  $\leq 2$  m zu verdoppeln. Ist keine konstruktive Bewehrung vorhanden, so ist eine Mindestbewehrung von 0,3 % des Rauminhaltes des Betons in Schwindrichtung anzuordnen. Das zu bewehrende Betonvolumen ist unter Berücksichtigung der Bedingungen für den zu bewehrenden Bereich zu berechnen.

##### 4.3. Betondeckung der Bewehrung

Für die Betondeckung bei Spannbeton gelten bei Beanspruchungsgrad I, d. h. bei nicht aggressiven Bedingungen, die Mindestwerte nach Tabelle 11, soweit aus Gründen des bautechnischen Brandschutzes nach Abschnitt 4.5. keine größeren Werte gefordert werden. Bei Anordnung von Spanngliedern in Spannkänen muß die Betondeckung der Hüllrohre mindestens 50 % der größten Querschnittsabmessung des Spanngliedes, in der Regel jedoch nicht mehr als 50 mm betragen. In Trägerstegen darf abweichend von der vorstehenden Regelung die Mindestbetondeckung der Hüllrohre von Spanngliedern mit 30 mm festgelegt werden.

Liegt bei massigen Konstruktionen Vorspannungsgrad III vor, soll bei Anordnung von Spanngliedern in Spannkänen die Betondeckung der Hüllrohre 7 % der Querschnittsdicke, jedoch nicht weniger als 50 mm betragen.

Die Betondeckung muß an Hohlräumen des Querschnitts mindestens 10 mm betragen.

Bei Verwendung von Spritzbeton oder Spritzputzen als Betondeckschicht und Nichtgewährleistung der allseitigen Umhüllung des Spannstahles mit Zementstein sind die Maße der Betondeckung nach Tabelle 11 um 10 mm zu erhöhen, wenn kein zusätzlicher Oberflächenschutz der Betondeckschicht verwendet wird, siehe die geltenden Rechtsvorschriften für den Korrosionsschutz. Bei Spannleichtbeton muß die Betondeckung mindestens gleich dem Durchmesser des Größtkorns der Leichtzuschlagstoffe + 5 mm sein und darf die für Spannbeton geltenden Werte nicht unterschreiten.

In jedem Fall ist zu prüfen, ob die Anordnung geeigneter Korrosionsschutzanstriche oder die Erhöhung der Betondeckung für den vorgesehenen Anwendungsfall aus materialökonomischer Sicht sinnvoller ist.

Betondeckungsmaße bei Einwirkung aggressiver Medien siehe die geltenden Rechtsvorschriften für den Korrosionsschutz.

Tabelle 11 Mindestbetondeckung (min. c) bei Beanspruchungsgrad I - nicht aggressiv

Nutzungsbedingungen	relative Luftfeuchte in %	allgemein <sup>6)</sup>	Mindestbetondeckung in mm für Konstruktionen	
			Fertigteile <sup>6)</sup>	Maste außen   innen
trockene Innenräume einschließlich Küchen und Bäder in Wohnungen	≤ 75	30	20	entfällt
feuchte Innenräume, allgemein im Freien und im Erdreich	> 75 ≤ 90	30	25	20   15
Naßräume, im Freien bei häufig wechselnder Durchfeuchtung und Austrocknung	> 90	30	30	

Zur Berücksichtigung fertigungsbedingter Abweichungen der Spannglieder von ihrer Sollage ist erforderlichenfalls für die Ermittlung der Nutzhöhe ein Zuschlag zur Mindestbetondeckung nach Tabelle 11 von 5 mm vorzunehmen.

Die Bewehrungszeichnungen sind unter Berücksichtigung dieses Zuschlages zu erstellen.

#### 4.4. Bewehrungsführung und -ausbildung

##### 4.4.1. Nicht vorgespannte Bewehrung

Bewehrungsführung nach TGL 33405/01

Bei Vorspannung ohne Verbund müssen alle Begrenzungsflächen des Bauteiles mit Ausnahme der Stirnflächen eine kreuzweise angeordnete Mindestbewehrung von 0,3 % des Rauminhaltes des Betons erhalten. Der größte Teil dieser Bewehrung ist in Richtung der Stützweite des Bauteiles anzuordnen.

Im Bereich der Eintragung der Spannkkräfte in den Beton muß in den Fällen eine Querbewehrung angeordnet werden, in denen die vom Beton aufnehmbaren Zugkräfte überschritten werden. Die unter Berücksichtigung der minimalen Eintragungslänge bei Vorspannung mit sofortigem Verbund ermittelte Querbewehrung ist in gleicher Größe konstruktiv in einem Übertragungsbereich anzuordnen, der unter Berücksichtigung der infolge Kriechens und Schwindens des Betons verdoppelten Eintragungslänge bestimmt wurde.

Querkraftbewehrung ist nach Abschnitt 2. unter Beachtung von Abschnitt 3. in den erforderlichen Fällen anzuordnen. Dynamisch beanspruchte balkenförmige Tragwerke sind mit einer Querkraftbewehrung zu versehen, die den Mindestforderungen von TGL 33405/01 genügen muß. Bei Verwendung von einschnittigen Bewehrungsleitern bei feingliedrigen Fertigteilen für die Querkraftbewehrung im Steg sind diese in Druck- und Zuggurt ausreichend zu verankern.

Bei Anordnung der Mindestquerkraftbewehrung darf der Abstand der Bügel die 1,5fache Nutzhöhe nicht überschreiten. Abweichend von dieser Festlegung darf bei Bauteilen mit Nutzhöhen von weniger als 200 mm der maximale Bügelabstand der Mindestquerkraftbewehrung mit 300 mm festgelegt werden. Greift bei Zugbeanspruchung die nach Abzug der Vorspannkkräfte resultierende Zugkraft innerhalb des Querschnittes an, ist in den Fällen, in denen Querkraftbewehrung erforderlich wird, der maximale Bügelabstand mit einem Drittel der Nutzhöhe zu begrenzen.

##### 4.4.2. Vorgespannte Bewehrung

Der lichte Mindestabstand von einzeln verlegten Spannstählen mit Ausnahme von im Wickelverfahren gespannten Stählen beträgt 20 mm. Bei Anordnung von Spanngliedern in Spannkkanälen beträgt der lichte Mindestabstand zwischen den Hüllrohren 50 mm. In der Regel sind größere Abstände anzustreben, um den Einsatz größerer Korngrößen der Zuschlagstoffe entsprechend TGL 33412/02 und ausreichende Verdichtung zu sichern. Der lichte Mindestabstand ist mit dem Spannverfahren abzustimmen.

Die Anordnung von 2 unmittelbar nebeneinanderliegenden Spannstählen aus St 140/160 nach TGL 12530/06 (oval, schrägerippt) ist zulässig, wenn eine konzentrierte Spannkrafteinleitung notwendig ist oder für die Unterbringung der erforderlichen Anzahl einzelner Spannstähle eine ausreichende Betonquerschnittsfläche nicht zur Verfügung steht. Die Spannstähle müssen hierbei in der Verankerung über ihre großen Achsen zueinander parallel stehen und dürfen über die Länge nicht verdreht sein.

In massigen Konstruktionen soll der Abstand der Spannglieder höchstens die 2fache Wand- oder Plattendicke, jedoch nicht mehr als 1 m betragen.

Spannglieder sind nach den betreffenden Standards oder Zulassungen auszubilden und anzuordnen.

In der Spanngliedführung sind Krümmungsradien, die kleiner als der 500fache Wert des kleinsten Durchmessers der verwendeten Spannstähle sind, zu vermeiden. Bei Anwendung kleinerer Krümmungsradien oder Ablenkungen sind entsprechende Nachweise über die erforderliche Abminderung der Festigkeiten des Spannstahles erforderlich.

Zur Vermeidung der elektrochemischen Korrosion durch Bildung galvanischer Elemente ist die Verwendung verschiedener Metalle mit direktem Kontakt nicht zulässig. Daher sind z. B. verzinkte Hüllrohre für Spann-

<sup>6)</sup> Wasserbehälter min. c = 40 mm

glieder nicht anzuwenden. Bei Einsatz verzinkter Stahleinbauteile ist als Mindestabstand zwischen Einbauteil und Bewehrung eine Mindestbetondeckung von 30 mm, bei Fertigteilen von 20 mm einzuhalten.

#### 4.5. Brandschutztechnische Forderungen

4.5.1. Für die brandschutzgerechte Ausbildung der Bauteile gelten die Festlegungen von TGL 33405/01 sowie die folgenden zusätzlichen Bestimmungen.

4.5.2. Sofern keine genaueren Untersuchungsergebnisse vorliegen, dürfen die Richtwerte für die Stahlgrenztemperaturen unter Normlast zur Korrektur des Maßes der Bewehrungslage in Abhängigkeit vom Bewehrungsverhältnis Tabelle 12 entnommen werden.

Tabelle 12 Richtwerte für die Stahlgrenztemperatur

Stahlmarke	Stahlgrenztemperatur in °C in Abhängigkeit von erf. $A_p$ /vorh. $A_p$	
	1,0	$\leq 0,5$
St 60/90	550	650
St 140/160	400	450

Zwischenwerte sind linear zu interpolieren.

4.5.3. Bei Bauteilen aus Spannbeton mit sofortigem Verbund ist im Verankerungsbereich bei konzentrierter Spanngliedordnung ( $\geq 2$  Spannstähle mit gegenseitigem Abstand  $< 35$  mm) eine die Spannstähle umschließende Spaltzugbewehrung anzuordnen.

4.5.4. Bei Spannbetondeckenplatten mit einer Dicke  $h \leq 200$  mm muß zur Verhinderung des vorzeitigen Auftretens durchgehender Risse eine Querbewehrung im Auflagerbereich vorhanden sein.

4.5.5. Bei Hohldeckenplatten aus Spannbeton ist die vorgespannte Bewehrung nur im Stegbereich anzuordnen. Der Übergang zwischen Steg und unterem Spiegel ist mit einem Radius  $R \geq 30$  mm auszurunden oder durch Knicke in Winkeln von mindestens  $150^\circ$  auszubilden. Spaltzugbewehrung nach Abschnitt 4.5.3. ist auch bei einer Stegbreite zwischen den Hohlräumen von weniger als 60 mm anzuordnen.

#### 5. ANGABEN ZUM SPANNPROGRAMM

Vom Projektanten sind die wesentlichen Berechnungsgrößen in Form von grafischen Darstellungen oder Tabellen zusammenzustellen, so daß der Spanningieur in die Lage versetzt wird, eine Spannanweisung nach TGL 33419/01 zu erarbeiten und darüberhinaus bei Abweichungen von erwarteten Meßergebnissen eigenverantwortlich Entscheidungen treffen kann.

Die Angaben zum Spannprogramm müssen enthalten:

- Spannverfahren
- Baustoffe, Betonklasse, Normwert der Umspannfestigkeit, zugeordnete Rechenwerte der Betondruck- und Zugfestigkeit sowie der Formänderungskenngrößen einschließlich Kriechzahl und Schwindmaß
- Stahlklasse der nicht vorgespannten und vorgespannten Bewehrung, zugeordnete Rechenwerte der Festigkeit und des Elastizitätsmoduls, Querschnittsflächen oder Durchmesser
- Geometrie des Bauwerkes
- Statisches System, gegebenenfalls getrennt für unterschiedliche Bauzustände, Lastannahmen, Teilsicherheitsfaktoren für Lasten und sonstige Einwirkungen, Querschnittswerte für ausgezeichnete Schnitte, sowohl für den Betonquerschnitt als auch den ideellen Querschnitt
- Vorspannkraft einschließlich der Kriech- und Schwindverluste, Dehnweg
- Schnittgrößen, getrennt für die Grenzzustände der Trag- und Nutzungsfähigkeit in Zuordnung zu den Stadien der Herstellung und Nutzung
- Ergebnisse der Nachweisführung zur Trag- und Nutzungsfähigkeit
- Zusammenstellung der Umlenkwinkel ( $\theta$ ), der Reibungsbeiwerte ( $\mu_R$ ) und der Welligkeit ( $k_R$ ) sowie der Funktionswerte für die Reibungsverluste
- Sollwerte und Grenzwerte der Spannkraft für maßgebende Schnitte und Verlauf rechnerischer Werte der auftretenden Verformungen für bestimmte Stufen der Vorspannung oder Zeitpunkte zum Vergleich mit Meßergebnissen in Sonderfällen
- Zeitpunkt des Eintragens der Vorspannkraft und zugeordnete Baustoffkenngrößen
- Zeitpunkt des Aufbringens und der Reihenfolge von Teilvorspannungen mit Angabe der Zielstellung
- Angaben zur Absenkung von Lehrgerüsten
- grundsätzliche Spannfolge: Im allgemeinen sind Angaben zur maximalen Ausmittigkeit und zur Anzahl der Gruppen mit abschließender symmetrischer Vorspannung ausreichend
- besondere Forderungen hinsichtlich der Konstruktion und des Absenkens von Lehrgerüsten, insbesondere im Hinblick auf koordiniertes Vorspannen und Absenken
- besondere Forderungen in bezug auf durchzuführende Prüfungen und Messungen sowie zur Führung des Spannprotokolls

#### Hinweise

Gemeinsam mit TGL 33401/01, TGL 33402, TGL 33403, TGL 33404/01 und /02, TGL 33405/01, TGL 33411/01 und /02, TGL 33412/01, /02, /05 und /06, TGL 33418/01 und /02, TGL 33419/01 und TGL 33421/01 Ersatz für TGL 11422 Ausg. 3.64, TGL 22810 Ausg. 5.72, TGL 0-1044 Ausg. 1.63, TGL 0-1045 Ausg. 4.73, TGL 0-1046 Ausg. 1.63, TGL 0-1047 Ausg. 3.63, TGL 0-4225 Ausg. 4.63, TGL 0-4227 Ausg. 5.63, TGL 116-0648 Ausg. 10.62

Änderungen gegenüber TGL 0-1044, TGL 0-4227 und TGL 22810: vollständig überarbeitet, Inhalt neu geordnet.

Einführung der Trag- und Nutzungsfähigkeitsnachweise nach der Methode der Berechnung nach Grenzzuständen.

Vorliegender Standard enthält gemeinsam mit TGL 33402, TGL 33403, TGL 33404/01, TGL 33405/01 die Festlegungen des ST RGW 1406-78.

Gegenüber ST RGW 1406-78 wurden die zur Anwendung der Berechnungsmethode nach Grenzzuständen erforderlichen Ergänzungen vorgenommen.

Nicht berücksichtigt sind Hinweise zum Abstand der Temperatur-, Schwind- und Setzungsfugen, siehe TGL 22903 Ausg. 4.70.

Die Festlegung zum Vorspanngrad II wurde durch Ausschluß der Rißbildung unter Gesamtbelastung im Grenzzustand der Nutzungsfähigkeit gegenüber der Festlegung im RGW-Standard verändert.

Im vorliegenden Standard ist auf folgende Standards Bezug genommen:

TGL 12530/06; TGL 22903; TGL 33402; TGL 33403; TGL 33404/01 und /02; TGL 33405/01; TGL 33412/02; TGL 33419/01

Für die Berechnung werden folgende Einheiten empfohlen:

- Lasten und Kräfte: kN; kN/m; kN/m<sup>2</sup>
- Biege- und Torsionsmomente kNm
- Spannungen und Festigkeiten  $\text{N/mm}^2 = \text{MN/m}^2 = 10^3 \cdot \text{kN/m}^2$

Dieser Standard ist Bestandteil des ETV Beton, Teilkomplex - Berechnung und bauliche Durchbildung - .

Diese TGL wurde digitalisiert vom  
Ingenieurbüro Friedrich Bau & Reko,  
Kapellenstraße 7b, 08324 Bockau.