

Spannbeton

Bauteile aus Normalbeton
mit beschränkter oder voller Vorspannung**DIN**
4227
Teil 1Prestressed concrete; structural members made of normal-weight concrete,
with limited concrete tensile stresses or with concrete tensile stresses

Ersatz für Ausgabe 12.79

Béton précontraint; éléments structuraux en béton normal avec tension dans le béton
ou avec tension limitée dans le béton

Diese Norm wurde im Fachbereich VII Beton- und Stahlbetonbau/Deutscher Ausschuß für Stahlbeton des NABau ausgearbeitet.

Die Benennung „Last“ wird für Kräfte verwendet, die von außen auf ein System einwirken; dies gilt auch für zusammengesetzte Wörter mit der Silbe ... „Last“ (siehe DIN 1080 Teil 1).

Die Normen der Reihe DIN 4227 umfassen folgende Teile:

- DIN 4227 Teil 1 Spannbeton; Bauteile aus Normalbeton mit beschränkter oder voller Vorspannung
DIN 4227 Teil 2 Spannbeton; Bauteile mit teilweiser Vorspannung
DIN 4227 Teil 3 Spannbeton; Bauteile in Segmentbauart, Bemessung und Ausführung der Fugen
DIN 4227 Teil 4 Spannbeton; Bauteile aus Spannleichtbeton
DIN 4227 Teil 5 Spannbeton; Einpressen von Zementmörtel in Spannkanäle
DIN 4227 Teil 6 Spannbeton; Bauteile mit Vorspannung ohne Verbund

Inhalt

	Seite		Seite
1 Allgemeines	2	7 Berechnungsgrundlagen	8
1.1 Anwendungsbereich und Zweck	2	7.1 Erforderliche Nachweise	8
1.2 Begriffe	2	7.2 Formänderung des Betonstahles und des Spannstahles	8
2 Bauaufsichtliche Zulassungen, Zustimmungen, bautechnische Unterlagen, Bauleitung und Fachpersonal	3	7.3 Formänderung des Betons	8
2.1 Bauaufsichtliche Zulassungen, Zustimmungen	3	7.4 Mitwirkung des Betons in der Zugzone	9
2.2 Bautechnische Unterlagen, Bauleitung und Fachpersonal	3	7.5 Nachträglich ergänzte Querschnitte	9
3 Baustoffe	3	7.6 Stützmomente	9
3.1 Beton	3	8 Zeitabhängiges Verformungsverhalten von Stahl und Beton	9
3.2 Spannstahl	3	8.1 Begriffe und Anwendungsbereich	9
3.3 Hüllrohre	3	8.2 Spannstahl	9
3.4 Einpreßmörtel	3	8.3 Kriechzahl des Betons	9
4 Nachweis der Güte der Baustoffe	3	8.4 Schwindmaß des Betons	9
5 Aufbringen der Vorspannung	3	8.5 Wirksame Körperdicke	11
5.1 Zeitpunkt des Vorspannens	3	8.6 Wirksames Betonalter	11
5.2 Vorrichtungen für das Spannen	4	8.7 Berücksichtigung der Auswirkung von Kriechen und Schwinden des Betons	11
5.3 Verfahren und Messungen beim Spannen	4	9 Gebrauchszustand, ungünstigste Laststellung, Sonderlastfälle bei Fertigteilen, Spaltzugbewehrung	11
6 Grundsätze für die bauliche Durchbildung und Bauausführung	4	9.1 Allgemeines	11
6.1 Bewehrung aus Betonstahl	4	9.2 Zusammenstellung der Beanspruchungen	11
6.2 Spannglieder	5	9.3 Lastzusammenstellungen	12
6.3 Schweißen	6	9.4 Sonderlastfälle bei Fertigteilen	12
6.4 Einbau der Hüllrohre	6	9.5 Spaltzugspannungen und Spaltzugbewehrung im Bereich von Spanngliedern	12
6.5 Herstellung, Lagerung und Einbau der Spannglieder	6	10 Rissebeschränkung	12
6.6 Herstellen des nachträglichen Verbundes	6	10.1 Zulässigkeit von Zugspannungen	12
6.7 Mindestbewehrung	6	10.2 Nachweis zur Beschränkung der Rißbreite	14
6.8 Beschränkung von Temperatur- und Schwindrissen	8	10.3 Arbeitsfugen annähernd rechtwinklig zur Tragrichtung	15
		10.4 Arbeitsfugen mit Spanngliedkopplungen	15

Fortsetzung Seite 2 bis 27

Normenausschuß Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

	Seite		Seite
11 Nachweis für den rechnerischen Bruchzustand bei Biegung, bei Biegung mit Längskraft und bei Längskraft	16	14 Verankerung und Kopplung der Spannglieder, Zugkraftdeckung	21
11.1 Rechnerischer Bruchzustand und Sicherheitsbeiwerte	16	14.1 Allgemeines	21
11.2 Grundlagen	16	14.2 Verankerung durch Verbund	21
11.3 Nachweis bei Lastfällen vor Herstellen des Verbundes	17	14.3 Nachweis der Zugkraftdeckung	21
		14.4 Verankerungen innerhalb des Tragwerks	21
12 Schiefe Hauptspannungen und Schubdeckung	18	15 Zulässige Spannungen	22
12.1 Allgemeines	18	15.1 Allgemeines	22
12.2 Spannungsnachweise im Gebrauchszustand	18	15.2 Zulässige Spannung bei Teilflächenbelastung	22
12.3 Spannungsnachweise im rechnerischen Bruchzustand	18	15.3 Zulässige Druckspannungen in der vorge-drückten Druckzone	22
12.4 Bemessung der Schubbewehrung	19	15.4 Zulässige Spannungen in Spanngliedern mit Dehnungsbehinderung (Reibung)	22
12.5 Indirekte Lagerung	20	15.5 Zulässige Betonzugspannungen für die Beförderungszustände bei Fertigteilen	22
12.6 Eintragung der Vorspannung	20	15.6 Querbiegezugspannungen in Querschnitten, die nach DIN 1045 bemessen werden	22
12.7 Nachträglich ergänzte Querschnitte	20	15.7 Zulässige Stahlspannungen in Spanngliedern	22
12.8 Arbeitsfugen mit Kopplungen	20	15.8 Gekrümmte Spannglieder	22
12.9 Durchstanzen	20	15.9 Nachweise bei nicht vorwiegend ruhender Belastung	22
13 Nachweis der Beanspruchung des Verbundes zwischen Spannglied und Beton	20	Zitierte Normen und andere Unterlagen	27
		Weitere Normen	27

Entwurf und Ausführung von baulichen Anlagen und Bauteilen aus Spannbeton erfordern eine gründliche Kenntnis und Erfahrung in dieser Bauart. Deshalb dürfen bauliche Anlagen und Bauteile aus Spannbeton nur von solchen Ingenieuren und Unternehmern entworfen und ausgeführt werden, die diese Kenntnis und Erfahrung haben, besonders zuverlässig sind und sicherstellen, daß derartige Bauwerke einwandfrei bemessen und ausgeführt werden.

1 Allgemeines

1.1 Anwendungsbereich und Zweck

- (1) Diese Norm gilt für die Bemessung und Ausführung von Bauteilen aus Normalbeton, bei denen der Beton durch Spannglieder beschränkt oder voll vorgespannt wird und die Spannglieder im Endzustand im Verbund vorliegen.
- (2) Die sinngemäße Anwendung dieser Norm auf Bauteile, bei denen die Vorspannung auf andere Art erzeugt wird, ist jeweils gesondert zu überprüfen.
- (3) Vorgespannte Verbundträger werden in den Richtlinien für die Bemessung und Ausführung von Stahlverbundträgern (vorläufiger Ersatz für DIN 1078 und DIN 4239) behandelt.

1.2 Begriffe

1.2.1 Querschnittsteile

- (1) Bei vorgespannten Bauteilen unterscheidet man:
- (2) **Druckzone.** In der Druckzone liegen die Querschnittsteile, in denen ohne Vorspannung unter der gegebenen Belastung infolge von Längskraft und Biegemoment Druckspannungen entstehen würden. Werden durch die Vorspannung in der Druckzone Druckspannungen erzeugt, so liegt der Sonderfall einer **vorgedrückten Druckzone** vor (siehe Abschnitt 15.3).
- (3) **Vorgedrückte Zugzone.** In der vorgedrückten Zugzone liegen die Querschnittsteile, in denen unter der gegebenen Belastung infolge von Längskraft und Biegemoment ohne Vorspannung Zugspannungen entstehen würden, die durch Vorspannung stark abgemindert oder ganz aufgehoben werden.
- (4) Unter Einwirkung von Momenten mit wechselnden Vorzeichen kann eine Druckzone zur vorgedrückten Zugzone werden und umgekehrt.
- (5) **Spannglieder.** Das sind die Zugglieder aus Spannstahl, die zur Erzeugung der Vorspannung dienen; hierunter sind

auch Einzeldrähte, Einzelstäbe und Litzen zu verstehen. Fertigspannglieder sind Spannglieder, die nach Abschnitt 6.5.3 werkmäßig vorgefertigt werden.

1.2.2 Grad der Vorspannung¹⁾

- (1) Bei **voller Vorspannung** treten rechnerisch im Beton im Gebrauchszustand (siehe Abschnitt 9.1), mit Ausnahme der in Abschnitt 10.1.1 angegebenen Fälle, keine Zugspannungen infolge von Längskraft und Biegemoment auf.
- (2) Bei **beschränkter Vorspannung** treten dagegen rechnerisch im Gebrauchszustand (siehe Abschnitt 9.1) Zugspannungen infolge von Längskraft und Biegemoment im Beton bis zu den in den Abschnitten 10.1.2 und 15 angegebenen Grenzen auf.

1.2.3 Zeitpunkt des Spannens der Spannglieder

- (1) Beim **Spannen vor dem Erhärten des Betons** werden die Spannglieder von festen Punkten aus gespannt und dann einbetoniert (Spannen im Spannbett).
- (2) Beim **Spannen nach dem Erhärten des Betons** dienen die schon erhärteten Betonbauteile als Abstützung.

1.2.4 Art der Verbundwirkung von Spanngliedern²⁾

- (1) Bei **Vorspannung mit sofortigem Verbund** werden die Spannglieder nach dem Spannen im Spannbett so in den Beton eingebettet, daß gleichzeitig mit dem Erhärten des Betons eine Verbundwirkung entsteht.
- (2) Bei **Vorspannung mit nachträglichem Verbund** wird der Beton zunächst ohne Verbund vorgespannt; später wird für alle nach diesem Zeitpunkt wirksamen Lastfälle eine Verbundwirkung erzeugt.

¹⁾ Teilweise Vorspannung; siehe DIN 4227 Teil 2.

²⁾ Vorspannung ohne Verbund im Endzustand siehe DIN 4227 Teil 6.

2 Bauaufsichtliche Zulassungen, Zustimmungen, bautechnische Unterlagen, Bauleitung und Fachpersonal

2.1 Bauaufsichtliche Zulassungen, Zustimmungen

(1) Entsprechend den allgemeinen bauaufsichtlichen Bestimmungen ist eine Zulassung bzw. eine Zustimmung im Einzelfall unter anderem erforderlich für:

- den Spannstahl (siehe Abschnitt 3.2)
- das Spannverfahren.

(2) Die Bescheide müssen auf der Baustelle vorliegen.

2.2 Bautechnische Unterlagen, Bauleitung und Fachpersonal

2.2.1 Bautechnische Unterlagen

Zu den bautechnischen Unterlagen gehören neben den Anforderungen nach DIN 1045/07.88, Abschnitte 3 bis 5, die Angaben über Grad, Zeitpunkt und Art der Vorspannung, das Herstellungsverfahren sowie das Spannprogramm.

2.2.2 Bauleitung und Fachpersonal

Bei der Herstellung von Spannbeton dürfen auf Baustellen und in Werken nur solche Führungskräfte (Bauleiter, Werkleiter) eingesetzt werden, die über ausreichende Erfahrungen und Kenntnisse im Spannbetonbau verfügen. Bei der Ausführung von Spannarbeiten und Einpreßarbeiten muß der hierfür zuständige Fachbauleiter stets anwesend sein.

3 Baustoffe

3.1 Beton

3.1.1 Vorspannung mit nachträglichem Verbund

(1) Bei Vorspannung mit nachträglichem Verbund ist Beton der Festigkeitsklassen B 25 bis B 55 nach DIN 1045/07.88, Abschnitt 6.5 zu verwenden.

(2) Bei üblichen Hochbauten (Definition nach DIN 1045/07.88, Abschnitt 2.2.4) darf für die nachträgliche Ergänzung vorgespannter Fertigteile nach DIN 4226 Teil 1/04.83, Abschnitt 7.6.6b) genügt (Chlorgehalt mit einem Massenanteil $\leq 0,02\%$).

(3) Der Chlidgehalt des Anmachwassers darf 600 mg Cl^- je Liter nicht überschreiten. Die Verwendung von Meerwasser und anderem salzhaltigen Wasser ist unzulässig. Es darf nur solcher Betonzuschlag verwendet werden, der hinsichtlich des Gehaltes an wasserlöslichem Chlorid (berechnet als Chlor) den Anforderungen nach DIN 4226 Teil 1/04.83, Abschnitt 7.6.6b) genügt (Chlorgehalt mit einem Massenanteil $\leq 0,02\%$).

(4) **Betonzusatzmittel** dürfen nur verwendet werden, wenn für sie ein Prüfbescheid (Prüfzeichen) erteilt ist, in dem die Anwendung für Spannbeton geregelt ist.

3.1.2 Vorspannung mit sofortigem Verbund

(1) Bei Vorspannung mit sofortigem Verbund gelten die Festlegungen nach Abschnitt 3.1.1; jedoch muß der Beton mindestens der Festigkeitsklasse B 35 entsprechen. Dabei ist nur werkmäßige Herstellung nach DIN 1045/07.88, Abschnitt 5.3 zulässig.

(2) Alle **Zemente** der Normen der Reihe DIN 1164 der Festigkeitsklassen Z 45 und Z 55 sowie Portland- und Eisenportlandzement der Festigkeitsklasse Z 35 F dürfen verwendet werden.

(3) **Betonzusatzstoffe** dürfen nicht verwendet werden.

3.1.3 Verwendung von Transportbeton

Bei Verwendung von Transportbeton müssen aus dem Betonartenverzeichnis (siehe DIN 1045/07.88, Abschnitt 5.4.4) die

- Eignung für Spannbeton mit nachträglichem Verbund bzw. die
- Eignung für Spannbeton mit sofortigem Verbund hervorgehen.

3.2 Spannstahl

Spanndrähte müssen mindestens 5,0 mm Durchmesser oder bei nicht runden Querschnitten mindestens 30 mm² Querschnittsfläche haben. Litzen müssen mindestens 30 mm² Querschnittsfläche haben, wobei die einzelnen Drähte mindestens 3,0 mm Durchmesser aufweisen müssen. Für Sonderzwecke, z.B. für vorübergehend erforderliche Bewehrung oder Rohre aus Spannbeton, sind Einzeldrähte von mindestens 3,0 mm Durchmesser bzw. bei nicht runden Querschnitten von mindestens 20 mm² Querschnittsfläche zulässig.

3.3 Hüllrohre

Es sind Hüllrohre nach DIN 18 553 zu verwenden.

3.4 Einpreßmörtel

Die Zusammensetzung und die Eigenschaften des Einpreßmörtels müssen DIN 4227 Teil 5 entsprechen.

4 Nachweis der Güte der Baustoffe

(1) Für den Nachweis der Güte der Baustoffe gilt DIN 1045/07.88, Abschnitt 7. Darüber hinaus sind für den Spannstahl und das Spannverfahren die entsprechenden Abschnitte der Zulassungsbescheide zu beachten. Für die Güteüberwachung von Beton B II auf der Baustelle, von Fertigteilen und Transportbeton gelten DIN 1084 Teil 1 bis Teil 3.

(2) Im Rahmen der Eigenüberwachung auf Baustellen und in Werken sind zusätzlich die in Tabelle 1 enthaltenen Prüfungen vorzunehmen.

(3) Die Protokolle der Eigenüberwachung sind zu den Bauakten zu nehmen.

(4) Über die Lieferung des Spannstahles ist anhand der vom Lieferwerk angebrachten Anhänger Buch zu führen; außerdem ist festzuhalten, in welche Bauteile und Spannglieder der Stahl der jeweiligen Lieferung eingebaut wurde.

5 Aufbringen der Vorspannung

5.1 Zeitpunkt des Vorspannens

(1) Der Beton darf erst vorgespannt werden, wenn er fest genug ist, um die dabei auftretenden Spannungen einschließlich der Beanspruchungen an den Verankerungsstellen der Spannglieder aufnehmen zu können. Für die endgültige Vorspannung gilt dies als erfüllt, wenn durch Erhärtungsprüfung nach DIN 1045/07.88, Abschnitt 7.4.4, nachgewiesen ist, daß die Würfeldruckfestigkeit β_{Wm} mindestens die Werte der Tabelle 2, Spalte 3, erreicht hat.

(2) Eine frühzeitige Teilvorspannung (z.B. zur Vermeidung von Schwind- und Temperaturrissen) ist zu empfehlen. Durch Erhärtungsprüfung ist dann nach DIN 1045/07.88, Abschnitt 7.4.4, nachzuweisen, daß die Würfeldruckfestigkeit β_{Wm} des Betons die Werte nach Tabelle 2, Spalte 2, erreicht hat. In diesem Fall dürfen die Spannkraft einzelner Spannglieder und die Betonspannungen im übrigen Bauteil nicht mehr als 30% der für die Verankerung zugelassenen Spannkraft bzw. der nach Abschnitt 15 zulässigen Spannungen betragen. Liegt die durch Erhärtungsprüfung festgestellte Würfeldruckfestigkeit zwischen den Werten nach Tabelle 2, Spalten 2 und 3, so darf die zulässige Teilspannkraft linear interpoliert werden.

Tabelle 1. **Eigenüberwachung**

	1	2	3	4
	Prüfgegenstand	Prüfart	Anforderungen	Häufigkeit
1a	Spannstahl	Überprüfung der Lieferung nach Sorte und Durchmesser nach der Zulassung	Kennzeichnung; Nachweis der Güteüberwachung; keine Beschädigung; kein unzulässiger Rostanfall	Jede Lieferung
1b		Überprüfung der Transportfahrzeuge	Abgedeckte trockene Ladung; keine Verunreinigungen	Jede Lieferung
1c		Überprüfung der Lagerung	Trockene, luftige Lagerung; keine Verunreinigung; keine Übertragung korrosionsfördernder Stoffe (siehe Abschnitt 6.5.1)	Bei Bedarf
2	Fertigspannglieder	Überprüfung der Lieferung	Einhalten der Bestimmungen von Abschnitt 6.5.3	Jede Lieferung
3	Spannverfahren	—	Einhalten der Zulassung	Jede Anwendung
4	Vorrichtungen für das Spannen	Überprüfung der Spanneinrichtung	Einhalten der Toleranzen nach Abschnitt 5.2	Halbjährlich
5	Vorspannen	Messungen laut Spannprogramm (siehe Abschnitt 5.3)	Einhalten des Spannprogramms	Jeder Spannvorgang
6	Einpreßarbeiten	Überprüfung des Einpressens	Einhalten von DIN 4227 Teil 5	Jedes Spannglied

Tabelle 2. **Mindestbetonfestigkeiten beim Vorspannen**

	1	2	3
	Zugeordnete Festigkeitsklasse	Würfeldruckfestigkeit β_{Wm} beim Teilvorspannen N/mm ²	Würfeldruckfestigkeit β_{Wm} beim endgültigen Vorspannen N/mm ²
1	B 25	12	24
2	B 35	16	32
3	B 45	20	40
4	B 55	24	48
Anmerkung: Die „zugeordnete Festigkeitsklasse“ ist die laut Zulassung für das jeweilige Spannverfahren erforderliche Festigkeitsklasse des Betons.			

5.2 Vorrichtungen für das Spannen

(1) Vorrichtungen für das Spannen sind vor ihrer ersten Benutzung und später in der Regel halbjährlich mit kalibrierten Geräten darauf zu prüfen, welche Abweichungen vom Sollwert die Anzeigen der Spannvorrichtungen aufweisen. Soweit diese Abweichungen von äußeren Einflüssen abhängen (z. B. bei Öldruckpressen von der Temperatur), ist dies zu berücksichtigen.

(2) Vorrichtungen, deren Fehlergrenze der Anzeige im Bereich der endgültigen Vorspannkraft um mehr als 5 % vom Prüfdiagramm abweicht, dürfen nicht verwendet werden.

5.3 Verfahren und Messungen beim Spannen

(1) Die Vorspannung ist entsprechend einem Spannprogramm aufzubringen. Dieses muß für jedes Spannglied neben der zeitlichen Folge des Spannens Angaben über Spannkraft und Spannweg unter Berücksichtigung der Zusammendrückung des Betons, der Reibung, des Schlupfes und des Zeitpunktes des Lehrgerüstabsenkens enthalten. Im Falle von Teilvorspannung sind die bis zum endgültigen Vorspannen eingetretenen Spannkraftverluste zu berücksichtigen. Das Spannprogramm ist so aufzustellen, daß keine unzulässigen Beanspruchungen des Betons entstehen.

(2) Über das Spannen ist ein Spannprotokoll zu führen, in das alle beim Spannen durchgeführten Messungen einschließlich etwaiger Unregelmäßigkeiten einzutragen sind. Die Messungen müssen mindestens Spannkraft und Spannweg umfassen. Wenn die Summe aus den Absolutwerten der prozentualen Abweichung von der Sollspannkraft und der prozentualen Abweichung vom Sollspannweg bei einem einzelnen Spannglied mehr als 15 % beträgt, muß die zuständige Bauaufsicht unverzüglich verständigt werden. Ist die Abweichung von der Sollspannkraft oder vom Sollspannweg bei der Summe aller in einem Querschnitt liegenden Spannglieder größer als 5 %, so ist gleichfalls die Bauaufsicht zu verständigen.

(3) Schlagartige Übertragung der Vorspannkraft ist zu vermeiden.

6 Grundsätze für die bauliche Durchbildung und Bauausführung

6.1 Bewehrung aus Betonstahl

(1) Für die Bewehrung gilt DIN 1045/07.88, Abschnitte 13 und 18.

(2) Als glatter Betonstahl BSt 220 (Kennzeichen I) darf nur warmgewalzter Rundstahl nach DIN 1013 Teil 1 aus St 37-2

nach DIN 17 100 in den Nenndurchmessern $d_s = 8, 10, 12, 14, 16, 20, 25$ und 28 mm verwendet werden³⁾.

(3) **Druckbeanspruchte Bewehrungsstäbe** in der äußeren Lage sind je m^2 Oberfläche an mindestens vier verteilt angeordneten Stellen gegen Ausknicken zu sichern (z.B. durch S-Haken oder Steckbügel), wenn unter Gebrauchslast die Betondruckspannung $0,2 \beta_{WN}$ überschritten wird. Die Sicherung kann bei höchstens 16 mm dicken Längsstäben entfallen, wenn die Betondeckung mindestens gleich der doppelten Stabdicke ist. Eine statisch erforderliche Druckbewehrung ist nach DIN 1045/07.88, Abschnitt 25.2.2.2, zu verbugeln.

6.2 Spannglieder

6.2.1 Betondeckung von Hüllrohren

Die Betondeckung von Hüllrohren für Spannglieder muß mindestens gleich dem 0,6fachen Hüllrohr-Innendurchmesser sein; sie darf 4 cm nicht unterschreiten.

6.2.2 Lichter Abstand der Hüllrohre

Der lichte Abstand der Hüllrohre muß mindestens gleich dem 0,8fachen Hüllrohr-Innendurchmesser sein, er darf $2,5$ cm nicht unterschreiten.

6.2.3 Betondeckung von Spanngliedern mit sofortigem Verbund

(1) Die Betondeckung von Spanngliedern mit sofortigem Verbund wird durch die Anforderungen an den Korrosionsschutz, an das ordnungsgemäße Einbringen des Betons und an die wirksame Verankerung bestimmt; der Höchstwert ist maßgebend.

(2) Der Korrosionsschutz ist im allgemeinen sichergestellt, wenn für die Spannglieder die Mindestmaße der Betondeckung nach DIN 1045/07.88, Tabelle 10, Spalte 3, um $1,0$ cm erhöht werden.

(3) In den folgenden Fällen genügt es, für die Spannglieder die Mindestmaße der Betondeckung nach DIN 1045/07.88, Tabelle 10, Spalte 3, um $0,5$ cm zu erhöhen:

- bei Platten, Schalen und Fertigwerken, wenn die Spannglieder innerhalb der Betondeckung nicht von Betonstahlbewehrung gekreuzt werden,
- an den Stellen der Fertigteile, an die mindestens eine $2,0$ cm dicke Ortbetonschicht anschließt,
- bei Spanngliedern, die für die Tragfähigkeit der fertig eingebauten Teile nicht von Bedeutung sind, z. B. Transportbewehrung.

(4) Mit Rücksicht auf das ordnungsgemäße Einbringen des Betons soll die Betondeckung größer als die Korngröße des überwiegenden Teils des Zuschlags sein.

(5) Für die wirksame Verankerung runder gerippter Einzeldrähte und Litzen mit $d_v \leq 12$ mm sowie nicht runder gerippter Einzeldrähte mit $d_v \leq 8$ mm gelten folgende Mindestbetondeckungen:

$$c = 1,5 d_v \text{ bei profilierten Drähten und bei Litzen aus glatten Einzeldrähten} \quad (1)$$

$$c = 2,5 d_v \text{ bei gerippten Drähten} \quad (2)$$

Darin ist für d_v zu setzen:

- bei Runddrähten der Spanndrahtdurchmesser,
- bei nicht runden Drähten der Vergleichsdurchmesser eines Runddrahtes gleicher Querschnittsfläche,
- bei Litzen der Nenndurchmesser.

³⁾ Die bisherigen Regelungen der DIN 4227 Teil 1/12.79 für den Betonstahl I sind in das DAfStb-Heft 320 übernommen.

6.2.4 Lichter Abstand der Spannglieder bei Vorspannung mit sofortigem Verbund

(1) Der lichte Abstand der Spannglieder bei Vorspannung mit sofortigem Verbund muß größer als die Korngröße des überwiegenden Teils des Zuschlags sein; er soll außerdem die aus den Gleichungen (1) und (2) sich ergebenden Werte nicht unterschreiten.

(2) Bei der Verteilung von Spanngliedern über die Breite eines Querschnitts dürfen innerhalb von Gruppen mit 2 oder 3 Spanngliedern mit $d_v \leq 10$ mm die lichten Abstände der einzelnen Spannglieder bis auf $1,0$ cm verringert werden, wenn die Gesamtanzahl in einer Lage nicht größer ist als bei gleichmäßiger Verteilung zulässig.

6.2.5 Verzinkte Einbauteile

Zwischen Spanngliedern und verzinkten Einbauteilen muß mindestens $2,0$ cm Beton vorhanden sein; außerdem darf keine metallische Verbindung bestehen.

6.2.6 Mindestanzahl

(1) In der vorgedrückten Zugzone tragender Spannbetonbauteile muß die Anzahl der Spannglieder bzw. bei Verwendung von Bündelspanngliedern die Gesamtanzahl der Drähte oder Stäbe mindestens den Werten der Tabelle 3, Spalte 2, entsprechen. Die Werte gelten unter der Voraussetzung, daß gleiche Stab- bzw. Drahtdurchmesser verwendet werden.

(2) Bei Verwendung von Stäben bzw. Drähten unterschiedlicher Querschnitte ist stets der Nachweis nach den Absätzen (3) und (4) zu führen.

Tabelle 3. Anzahl der Spannglieder

	1	2	3
	Art der Spannglieder	Mindestanzahl nach Absatz (1)	Anzahl der rechnerisch ausfallenden Stäbe bzw. Drähte ¹⁾
1	Einzelstäbe bzw. -drähte	3	1
2	Stäbe bzw. Drähte bei Bündelspanngliedern	7	3
3	7dräftige Litzen Einzeldrahtdurchmesser $d_v \geq 4$ mm ²⁾	1	—
¹⁾ Bei Verwendung von Stäben bzw. Drähten unterschiedlicher Querschnitte sind die jeweils dicksten Stäbe bzw. Drähte in Ansatz zu bringen. ²⁾ Werden in Ausnahmefällen Litzen mit geringerem Drahtdurchmesser verwendet, so beträgt die Mindestanzahl 2.			

(3) Eine Unterschreitung der Werte nach Tabelle 3, von Spalte 2, Zeilen 1 und 2, ist zulässig, wenn der Nachweis geführt wird, daß bei Ausfall von Stäben bzw. Drähten entsprechend den Werten von Spalte 3 die Beanspruchung aus 1,0fachen Einwirkungen aus Last und Zwang aufgenommen werden können. Dieser Nachweis ist auf der Grundlage der für rechnerischen Bruchzustand getroffenen Festlegungen (siehe Abschnitte 11, 12.3, 12.4) zu führen, wobei anstelle von $\gamma = 1,75$ jeweils $\gamma = 1,0$ gesetzt werden darf.

(4) Tragreserven, z. B. aus Querabtragung der Lasten, sowie mögliche Umlagerungen der Schnittgrößen aus Änderungen des statischen Systems dürfen berücksichtigt werden. Werden bei diesem Nachweis auch Stahlbetonbauteile nach DIN 1045 in Rechnung gestellt, so darf anstelle der in DIN 1045/07.88, Abschnitt 17.2.2, genannten Sicherheitsbeiwerte einheitlich $\gamma = 1,0$ gesetzt werden. Bei der Bemessung für Querkraft und Torsion dürfen dabei die Grundwerte der Schubspannung nach DIN 1045/07.88, Abschnitt 17.5, auf das 1,75fache vergrößert werden.

6.3 Schweißen

(1) Für das Schweißen von Betonstahl gilt DIN 1045/07.88, Abschnitte 6.6 und 7.5.2 sowie DIN 4099. Das Schweißen an Spannstählen ist unzulässig; dagegen ist Brennschneiden hinter der Verankerung zulässig.

(2) Spannstahl und Verankerungen sind vor herunterfallen dem Schweißgut zu schützen (z. B. durch widerstandsfähige Ummantelungen).

6.4 Einbau der Hüllrohre

(1) Hüllrohre dürfen keine Knicke, Eindrückungen oder andere Beschädigungen haben, die den Spann- oder Einpreßvorgang behindern. Hierfür kann es erforderlich werden, z. B. in Hochpunkten Verstärkungen nach DIN 18 553, anzuordnen.

(2) Hüllrohre müssen so gelagert, transportiert und verarbeitet werden, daß kein Wasser oder andere für den Spannstahl schädliche Stoffe in das Innere eindringen können. Hüllrohrstöße und -anschlüsse sind durch besondere Maßnahmen, z. B. durch Umwicklung mit geeigneten Dichtungsbändern, abzudichten. Die Hüllrohre sind so zu befestigen, daß sie sich während des Betonierens nicht verschieben.

6.5 Herstellung, Lagerung und Einbau der Spannglieder

6.5.1 Allgemeines

(1) Der Spannstahl muß bei der Spanngliederherstellung sauber und frei von schädigendem Rost sein und darf hierbei nicht naß werden.

(2) Spannstähle mit leichtem Flugrost dürfen verwendet werden. Der Begriff „leichter Flugrost“ gilt für einen gleichmäßigen Rostansatz, der noch nicht zur Bildung von mit bloßem Auge erkennbaren Korrosionsnarben geführt hat und sich im allgemeinen durch Abwischen mit einem trockenen Lappen entfernen läßt. Eine Entrostung braucht jedoch auf diese Weise nicht vorgenommen zu werden.

(3) Beim Ablängen und Einbau der Spannstähle sind Knicke und Verletzungen zu vermeiden. Fertige Spannglieder sind bis zum Einbau in das Bauwerk bodenfrei und trocken zu lagern und vor Berührung mit schädigenden Stoffen zu schützen. Spannstahl ist auch in der Zeitspanne zwischen dem Verlegen und der Herstellung des Verbundes vor Korrosion und Verschmutzung zu schützen.

(4) Die Spannstähle für ein Spannglied sollen im Regelfall aus einer Lieferposition (Schmelze) entnommen werden. Die Zuordnung von Spanngliedern zur Lieferposition ist in den Aufzeichnungen nach Abschnitt 4 zu vermerken.

(5) Ankerplatten und Ankerkörper müssen rechtwinklig zur Spanngliedachse liegen.

6.5.2 Korrosionsschutz bis zum Einpressen

(1) Die Zeitspanne zwischen Herstellen des Spanngliedes und Einpressen des Zementmörtels ist eng zu begrenzen. Im Regelfall ist nach dem Vorspannen unverzüglich Zementmörtel in die Spannkanaäle einzupressen. Zulässige Zeitspannen sind unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten zu beurteilen.

(2) Wenn das Eindringen und Ansammeln von Feuchte (auch Kondenswasser) vermieden wird, dürfen ohne besonderen Nachweis folgende Zeitspannen als unschädlich für den Spannstahl angesehen werden:

bis zu 12 Wochen zwischen dem Herstellen des Spanngliedes und dem Einpressen,

davon bis zu 4 Wochen frei in der Schalung

und bis zu etwa 2 Wochen in gespanntem Zustand.

(3) Werden diese Bedingungen nicht eingehalten, so sind besondere Maßnahmen zum vorübergehenden Korrosionsschutz der Spannstähle vorzusehen; andernfalls ist der Nachweis zu führen, daß schädigende Korrosion nicht auftritt.

(4) Als besondere Schutzmaßnahme ist z. B. ein zeitweises Spülen der Spannkanaäle mit vorgetrockneter und erforderlichenfalls gereinigter Luft geeignet.

(5) Die ausreichende Schutzwirkung und die Unschädlichkeit der Maßnahmen für den Spannstahl, für den Einpreßmörtel und für den Verbund zwischen Spanngliedern und Einpreßmörtel sind nachzuweisen.

6.5.3 Fertigspannglieder

(1) Die Fertigung muß in geschlossenen Hallen erfolgen.

(2) Die für den Spannstahl nach Zulassungsbescheid geltenden Bedingungen für Lagerung und Transport sind auch für die fertigen Spannglieder zu beachten; diese dürfen das Werk nur in abgedichteten Hüllrohren verlassen.

(3) Bei Auslieferung der Spannglieder sind folgende Unterlagen beizufügen:

- Lieferschein mit Angabe von Bauvorhaben, Spanngliedtyp, Positionsnummer der Spannglieder, Fertigungs- und Auslieferungsdatum und der Bestätigung, daß die Spannglieder güteüberwacht sind. Der Lieferschein muß auch die Angaben der Anhängeschilder der jeweils verwendeten Spannstähle enthalten;

- bei Verwendung von Restmengen oder Verschnitt Angaben über die Herkunft;

- Lieferzeugnisse für den Spannstahl und Lieferscheine für die Zubehöerteile mit Angabe der hierfür fremdüberwachenden Stelle.

(4) Die Spannglieder sind durch den Bauleiter des Unternehmens oder dessen fachkundigen Vertreter bei Anlieferung auf Transportschäden (sichtbare Schäden an Hüllrohren und Ankern) zu überprüfen.

6.6 Herstellen des nachträglichen Verbundes

(1) Das Einpressen von Zementmörtel in die Spannkanaäle erfordert besondere Sorgfalt.

(2) Es gilt DIN 4227 Teil 5. Es muß sichergestellt sein, daß die Spannstähle mit Zementmörtel umhüllt sind.

(3) Das Einpressen in jeden einzelnen Spannkanaal ist im Protokoll unter Angabe etwaiger Unregelmäßigkeiten zu vermerken. Die Protokolle sind zu den Bauakten zu nehmen.

6.7 Mindestbewehrung

6.7.1 Allgemeines

(1) Sofern sich nach der Bemessung oder aus konstruktiven Gründen keine größere Bewehrung ergibt, ist eine Mindestbewehrung nach den nachstehenden Grundsätzen anzuordnen. Dabei sollen die Stababstände 20 cm nicht überschreiten. Bei Vorspannung mit sofortigem Verbund dürfen die Spanndrähte als Betonstabstahl IV S auf die Mindestbewehrung angerechnet werden. In jedem Querschnitt ist nur der Höchstwert von Oberflächen- oder Längs- oder Schubbewehrung maßgebend. Eine Addition der verschiedenen Arten von Mindestbewehrung ist nicht erforderlich.

Tabelle 4. Mindestbewehrung und erhöhte Mindestbewehrung (Werte in Klammern)

	1	2	3	4	5
		Platten/Gurtplatten oder breite Balken ($b_0 > d_0$)		Balken mit $b_0 \leq d_0$ Stege von Plattenbalken	
		Für alle Bauteile außer solchen von Brücken und ver- gleichbaren Bau- werken	Bei Brücken und vergleichbaren Bauwerken	Für alle Bauteile außer solchen von Brücken und ver- gleichbaren Bau- werken	Bei Brücken und vergleichbaren Bauwerken
1a	Bewehrung je m an der Ober- und Unterseite (jede der 4 Lagen), siehe auch Abschnitt 6.7.2	$0,5 \mu d$	$1,0 \mu d$	—	—
1b	Längsbewehrung je m in Gurtplatten (obere und untere Lage je für sich)	$0,5 \mu d$	$1,0 \mu d$ ($5,0 \mu d$)	—	—
2a	Längsbewehrung je m bei Balken an jeder Seiten- fläche, bei Platten an jedem gestützten oder nicht gestützten Rand	$0,5 \mu d$	$1,0 \mu d$	$0,5 \mu b_0$	$1,0 \mu b_0$
2b	Längsbewehrung bei Balken jeweils oben und unten	—	—	$0,5 \mu b_0 b_0$	$1,0 \mu \cdot b_0 d_0$ ($2,5 \mu \cdot b_0 d_0$)
3	Lotrechte Bewehrung je m an jedem gestützten oder nicht gestützten Rand (siehe auch DIN 1045/07.88, Abschnitt 18.9.1)	$1,0 \mu d$	$1,0 \mu d$	—	—
4	Schubbewehrung für Scheibenschub (Summe der Lagen)	a) $1,0 \mu d$ (in Quer- richtung vorge- spannt) b) $2,0 \mu d$ (in Quer- richtung nicht vorgespannt)	$2,0 \mu d$	—	—
5	Schubbewehrung von Balkenstegen (Summe der Bügel)	$2,0 \mu b_0$ (nur bei breiten Balken, wenn σ_1 größer ist als die Werte der Tabelle 9, Zeile 51)		$2,0 \mu b_0$	$2,0 \mu b_0$
Die Werte für μ sind der Tabelle 5 zu entnehmen. b_0 Stegbreite in Höhe der Schwerlinie des gesamten Querschnitts, bei Hohlplatten mit annähernd kreisförmiger Aussparung die kleinste Stegbreite d_0 Balkendicke d Plattendicke					

(2) Bei Brücken und vergleichbaren Bauwerken (das sind Bauwerke im Freien unter nicht vorwiegend ruhender Belastung) dürfen die Bewehrungsstäbe bei Verwendung von Betonstabstahl III S und Betonstabstahl IV S den Stabdurchmesser 10 mm und bei Betonstahlmatten IV M den Stabdurchmesser 8 mm bei 150 mm Maschenweite nicht unterschreiten.

(3) Bei Brücken und vergleichbaren Bauwerken ist eine erhöhte Mindestbewehrung in gezogenen bzw. weniger gedrückten Querschnittsteilen (siehe Tabelle 4, Zeilen 1b und 2b, Werte in Klammern) anzuordnen, wenn im Endzustand unter Haupt- und Zusatzlasten die nach Zustand I ermittelte Betondruckspannung am Rand dem Betrag nach kleiner als 2 N/mm^2 ist. Dabei dürfen Spannglieder unter Berücksichti-

gung der unterschiedlichen Verbundeigenschaften angerechnet werden⁴⁾. In Gurtplatten sind Stabdurchmesser $\leq 16 \text{ mm}$ zu verwenden, sofern kein genauer Nachweis erfolgt⁴⁾.

6.7.2 Oberflächenbewehrung von Spannbetonplatten

(1) An der Ober- und Unterseite sind Bewehrungsnetze anzuordnen, die aus zwei sich annähernd rechtwinklig kreuzenden Bewehrungslagen mit einem Querschnitt nach Tabelle 4, Zeilen 1a und 1b, bestehen. Die einzelnen Bewehrungen können in mehrere oberflächennahe Lagen aufgeteilt werden.

⁴⁾ Nachweise siehe DAfStb-Heft 320

(2) Abweichend davon ist bei statisch bestimmt gelagerten Platten des üblichen Hochbaues (nach DIN 1045/07.88, Abschnitt 2.2.4) eine obere Mindestbewehrung nicht erforderlich. Bei Platten mit Vollquerschnitt und einer Breite $b \leq 1,20$ m darf außerdem die untere Mindestquerbewehrung entfallen. Bei rechnerisch nicht berücksichtigter Einspannung ist jedoch die Mindestbewehrung in Einspannungsrichtung über ein Viertel der Plattenstützweite einzulegen.

Tabelle 5. Grundwerte μ der Mindestbewehrung in %

	1	2	3
	Vorgesehene Betonfestigkeits- klasse	III S	IV S IV M
1	B 25	0,07	0,06
2	B 35	0,09	0,08
3	B 45	0,10	0,09
4	B 55	0,11	0,10

(3) Bei Hohlplatten mit annähernd kreisförmigen Aussparungen darf die Längsbewehrung auf den reinen Betonquerschnitt bezogen werden. Die Querbewehrung ist in gleicher Größe wie die Längsbewehrung zu wählen. Die Stege müssen hierbei eine Schubbewehrung nach Abschnitt 6.7.5 erhalten. Hohlplatten mit annähernd rechteckigen Aussparungen sind wie Kastenträger zu behandeln.

(4) Bei Platten mit veränderlicher Dicke darf die Mindestbewehrung auf die gemittelte Plattendicke d_m bezogen werden.

6.7.3 Schubbewehrung von Gurtscheiben

(1) Wirkt die Platte gleichzeitig als Gurtscheibe, muß die Mindestbewehrung zur Aufnahme des Scheibenschubs auf die örtliche Plattendicke bezogen werden.

(2) Für die Schubbewehrung von Gurtscheiben gilt Tabelle 4, Zeile 4.

6.7.4 Längsbewehrung von Balkenstegen

Für die Längsbewehrung von Balkenstegen gilt Tabelle 4, Zeilen 2a und 2b. Mindestens die Hälfte der erhöhten Mindestbewehrung muß am unteren und/oder oberen Rand des Steges liegen, der Rest darf über das untere und/oder obere Drittel der Steghöhe verteilt sein.

6.7.5 Schubbewehrung von Balkenstegen

Für die Schubbewehrung von Balkenstegen gilt Tabelle 4, Zeile 5.

6.7.6 Längsbewehrung im Stützenbereich durchlaufender Tragwerke bei Brücken und vergleichbaren Bauwerken

(1) Im Stützenbereich durchlaufender Tragwerke bei Brücken und vergleichbaren Bauwerken – mit Ausnahme massiver Vollplatten – ist eine Längsbewehrung im unteren Drittel der Stegfläche und in der unteren Platte vorzusehen, wenn die Randdruckspannungen dem Betrag nach kleiner als 1 N/mm^2 sind. Diese Längsbewehrung ist aus der Querschnittsfläche des gesamten Steges und der unteren Platte zu ermitteln. Der Bewehrungsprozentsatz darf bei Randdruckspannungen zwischen 0 und 1 N/mm^2 linear zwischen 0,2% und 0% interpoliert werden.

(2) Die Hälfte dieser Bewehrung darf frühestens in einem Abstand ($d_0 + l_0$), der Rest in einem Abstand ($2 d_0 + l_0$) von der

Lagerachse enden (d_0 Balkendicke, l_0 Grundmaß der Verankerungslänge nach DIN 1045/07.88, Abschnitt 18.5.2.1).

6.8 Beschränkung von Temperatur und Schwindrissen

(1) Wenn die Gefahr besteht, daß die Hydratationswärme des Zements in dicken Bauteilen zu hohen Temperaturspannungen und dadurch zu Rissen führt, sind geeignete Gegenmaßnahmen zu ergreifen (z. B. niedrige Frischbetontemperatur durch gekühlte Ausgangsstoffe, Verwendung von Zementen mit niedriger Hydratationswärme, Aufbringen einer Teilvorspannung, Kühlen des erhärtenden Betons durch eingebaute Kühlrohre, Schutz des warmen Betons vor zu rascher Abkühlung).

(2) Auch beim abschnittsweisen Betonieren (z. B. Bodenplatte – Stege – Fahrbahnplatte bei einer Brücke) können Maßnahmen gegen Risse infolge von Temperaturunterschieden oder Schwinden erforderlich werden.

7 Berechnungsgrundlagen

7.1 Erforderliche Nachweise

Es sind folgende Nachweise zu erbringen:

- Im Gebrauchszustand (siehe Abschnitt 9) der Nachweis, daß die hierfür zugelassenen Spannungen nach Abschnitt 15, Tabelle 9, nicht überschritten werden. Dieser Nachweis ist unter der Annahme eines linearen Zusammenhanges zwischen Spannung und Dehnung zu führen.
- Der Nachweis zur Beschränkung der Rißbreite nach Abschnitt 10.
- Der Nachweis der Sicherheit gegen Versagen nach Abschnitt 11 (rechnerischer Bruchzustand).
- Der Nachweis der schiefen Hauptspannungen und der Schubdeckung nach Abschnitt 12.
- Der Nachweis der Beanspruchung des Verbundes nach Abschnitt 13.
- Der Nachweis der Zugkraftdeckung sowie der Verankerung und Kopplung der Spannglieder nach den Abschnitten 14 und 15.9.

7.2 Formänderung des Betonstahles und des Spannstahles

Für alle Nachweise im Gebrauchszustand darf mit elastischem Verhalten des Beton- und Spannstahles gerechnet werden. Für den Betonstahl gilt DIN 1045/07.88, Abschnitt 16.2.1. Für Spannstähle darf als Rechenwert des Elastizitätsmoduls bei Drähten und Stäben $2,05 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$, bei Litzen $1,95 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ angenommen werden. Bei der Ermittlung der Spannwege ist der Elastizitätsmodul des Spannstahles stets der Zulassung zu entnehmen.

7.3 Formänderung des Betons

(1) Bei allen Nachweisen im Gebrauchszustand und für die Berechnung der Schnittgrößen oberhalb des Gebrauchszustandes darf mit einem für Druck und Zug gleich großen Elastizitätsmodul E_b bzw. Schubmodul G_b nach Tabelle 6 gerechnet werden. Diese Richtwerte beziehen sich auf Beton mit Zuschlag aus überwiegend quarzitischem Kiessand (z. B. Rheinkiesand). Unter sonst gleichen Bedingungen können stark wassersaugende Sedimentgesteine (häufig bei Sandsteinen) einen bis zu 40% niedrigeren, dichte magmatische Gesteine (z. B. Basalt) einen bis zu 40% höheren Elastizitätsmodul und Schubmodul bewirken.

(2) Soll der Einfluß der Querdehnung berücksichtigt werden, darf dieser mit $\mu = 0,2$ angesetzt werden.

(3) Zur Berechnung der Formänderung des Betons oberhalb des Gebrauchszustandes siehe DIN 1045/07.88, Abschnitt 16.3.

Tabelle 6. **Elastizitätsmodul und Schubmodul des Betons** (Richtwerte)

	1	2	3
	Betonfestigkeitsklasse	Elastizitätsmodul E_b N/mm ²	Schubmodul G_b N/mm ²
1	B 25	30 000	13 000
2	B 35	34 000	14 000
3	B 45	37 000	15 000
4	B 55	39 000	16 000

7.4 Mitwirkung des Betons in der Zugzone

Bei Berechnungen im Gebrauchszustand darf die Mitwirkung des Betons auf Zug berücksichtigt werden. Für die Rissebeschränkung siehe jedoch Abschnitt 10.2.

7.5 Nachträglich ergänzte Querschnitte

Bei Querschnitten, die nachträglich durch Anbetonieren ergänzt werden, sind die Nachweise nach Abschnitt 7.1 sowohl für den ursprünglichen als auch für den ergänzten Querschnitt zu führen. Beim Nachweis für den rechnerischen Bruchzustand des ergänzten Querschnitts darf so vorgegangen werden, als ob der Gesamtquerschnitt von Anfang an einheitlich hergestellt worden wäre. Für die erforderliche Anschlußbewehrung siehe Abschnitt 12.7.

7.6 Stützmomente

Die Momentenfläche muß über den Unterstützungen parabelförmig ausgerundet werden, wenn bei der Berechnung eine frei drehbare Lagerung angenommen wurde (siehe DIN 1045/07.88, Abschnitt 15.4.1.2).

8 Zeitabhängiges Verformungsverhalten von Stahl und Beton

8.1 Begriffe und Anwendungsbereich

(1) Mit Kriechen wird die zeitabhängige Zunahme der Verformungen unter andauernden Spannungen und mit Relaxation die zeitabhängige Abnahme der Spannungen unter einer aufgezogenen Verformung von konstanter Größe bezeichnet.

(2) Unter Schwinden wird die Verkürzung des unbelasteten Betons während der Austrocknung verstanden. Dabei wird angenommen, daß der Schwindvorgang durch die im Beton wirkenden Spannungen nicht beeinflusst wird.

(3) Die folgenden Festlegungen gelten nur für übliche Beanspruchungen und Verhältnisse. Bei außergewöhnlichen Verhältnissen (z. B. hohe Temperaturen, auch kurzzeitig wie bei Wärmebehandlung) sind zusätzliche Einflüsse zu berücksichtigen.

8.2 Spannstahl

Zeitabhängige Spannungsverluste des Spannstahles (Relaxation) müssen entsprechend den Zulassungsbescheiden des Spannstahles berücksichtigt werden.

8.3 Kriechzahl des Betons

(1) Das Kriechen des Betons hängt vor allem von der Feuchte der umgebenden Luft, den Maßen des Bauteiles und

der Zusammensetzung des Betons ab. Das Kriechen wird außerdem vom Erhärungsgrad des Betons beim Belastungsbeginn und von der Dauer und der Größe der Beanspruchung beeinflusst.

(2) Mit der Kriechzahl φ_t wird der durch das Kriechen ausgelöste Verformungszuwachs ermittelt. Für konstante Spannung σ_0 gilt:

$$\varepsilon_k = \frac{\sigma_0}{E_b} \varphi_t \quad (3)$$

Bei veränderlicher Spannung gilt Abschnitt 8.7.2. Für E_b gilt Abschnitt 7.3.

(3) Da im allgemeinen die Auswirkungen des Kriechens nur für den Zeitpunkt $t = \infty$ zu berücksichtigen sind, kann vereinfachend mit den Endkriechzahlen φ_∞ nach Tabelle 7 gerechnet werden.

(4) Ist ein genauerer Nachweis erforderlich oder sind die Auswirkungen des Kriechens zu einem anderen als zum Zeitpunkt $t = \infty$ zu beurteilen, so kann φ_t aus einem Fließanteil und einem Anteil der verzögert elastischen Verformung ermittelt werden:

$$\varphi_t = \varphi_{t_0} \cdot (k_{f,t} - k_{f,t_0}) + 0,4 k_{v,(t-t_0)} \quad (4)$$

Hierin bedeuten:

φ_{t_0} Grundfließzahl nach Tabelle 8, Spalte 3.

k_f Beiwert nach Bild 1 für den zeitlichen Ablauf des Fließens unter Berücksichtigung der wirksamen Körperdicke d_{ef} nach Abschnitt 8.5, der Zementart und des wirksamen Alters.

t Wirksames Betonalter zum untersuchten Zeitpunkt nach Abschnitt 8.6.

t_0 Wirksames Betonalter beim Aufbringen der Spannung nach Abschnitt 8.6.

k_v Beiwert nach Bild 2 zur Berücksichtigung des zeitlichen Ablaufes der verzögert elastischen Verformung.

(5) Wenn sich der zu untersuchende Kriechprozeß über mehr als 3 Monate erstreckt, darf vereinfachend $k_{v,(t-t_0)} = 1$ gesetzt werden.

8.4 Schwindmaß des Betons

(1) Das Schwinden des Betons hängt vor allem von der Feuchte der umgebenden Luft, den Maßen des Bauteiles und der Zusammensetzung des Betons ab.

(2) Ist die Auswirkung des Schwindens vom Wirkungsbeginn bis zum Zeitpunkt $t = \infty$ zu berücksichtigen, so kann mit den Endschwindmaßen ε_∞ nach Tabelle 7 gerechnet werden.

(3) Sind die Auswirkungen des Schwindens zu einem anderen als zum Zeitpunkt $t = \infty$ zu beurteilen, so kann der maßgebende Teil des Schwindmaßes bis zum Zeitpunkt t nach Gleichung (5) ermittelt werden:

$$\varepsilon_{s,t} = \varepsilon_{s,0} \cdot (k_{s,t} - k_{s,t_0}) \quad (5)$$

Hierin bedeuten:

$\varepsilon_{s,0}$ Grundschwindmaß nach Tabelle 8, Spalte 4.

k_s Beiwert zur Berücksichtigung der zeitlichen Entwicklung des Schwindens nach Bild 3.

t Wirksames Betonalter zum untersuchten Zeitpunkt nach Abschnitt 8.6.

t_0 Wirksames Betonalter nach Abschnitt 8.6 zu dem Zeitpunkt, von dem ab der Einfluß des Schwindens berücksichtigt werden soll.