

## Erläuterungen zu DIN 4227, Abschnitt 10

von R. Eligehausen, H. Kupfer, D. Jungwirth

### VORBEMERKUNG

Durch die in den Abschnitten 6.7 und 10 angegebenen Regeln soll die Breite eventuell auftretender Risse so beschränkt werden, daß das Verhalten von Spannbetonteilen im Gebrauchszustand und die Dauerhaftigkeit des im Verbund liegenden Spannstahls und Betonstahls nicht beeinträchtigt werden. Es kann davon ausgegangen werden, daß die Karbonatisierung der Rißufer bei Einhaltung der für Bauteile im Freien bzw. unter wechselnder Feuchtigkeit (vgl. DIN 1045, Tab. 10, Zeile 3) geltenden Bedingungen den Spannstahl nicht erreicht, so daß eine Depassivierung der Spannstahlfläche vermieden wird. Dies ist bei den dort genannten Umweltbedingungen notwendig, um Spannstahlkorrosion zu vermeiden [1].

Eine völlige Verhinderung von Rissen ist dagegen nicht Ziel einer wirtschaftlichen Vorspannung, auch wenn die Auftretenswahrscheinlichkeit von Rissen im Vergleich zum Stahlbeton durch Vorspannung vermindert werden kann. Bei Bauteilen, an die erhöhte Anforderungen hinsichtlich Wasserundurchlässigkeit gestellt werden (z.B. Behälter), können durchgehende Risse durch Vorspannung vermieden werden, während Biegerisse bei ausreichend dicker Betondruckzone die Wasserundurchlässigkeit nicht beeinträchtigen.

Bei Brücken und vergleichbaren Bauwerken wird neben dem Nachweis zur Beschränkung der Rißbreite nach Abschnitt 10 zusätzlich eine erhöhte Mindestbewehrung nach Abschnitt 6.7.1, Absatz (3) und Tabelle 4, gefordert. Diese erhöhte Mindestbewehrung ist in Gurtplatten und an der Ober- bzw. Unterseite von Balkenstegen anzuordnen, wenn unter Einbeziehung rechnerisch nicht erfaßter Wirkungen Zugspannungen in Höhe der Betonzugfestigkeit auftreten können. Zur Vereinfachung und unter Berücksichtigung der stark streuenden Zugfestigkeit des Betons sowie der meist in ihrer Größe nur schwer quantifizierbaren Zwang- und Eigenspannungen wurde festgelegt, daß die erhöhte Mindestbewehrung dann anzuordnen ist, wenn im Endzustand unter Haupt- und Zusatzlasten die nach Zustand I ermittelte Betondruckspannung am gezogenen bzw. weniger gedrückten Querschnittsrand dem Betrage nach kleiner als  $2 \text{ N/mm}^2$  ist. Durch diese konstruktive Regel werden breite Einzelrisse, vor allem in breiten Gurtplatten und Stegen hoher Balken, verhindert.

Die aus Betonrippenstahl bestehende Mindestbewehrung ist nämlich aufgrund ihrer Verbundwirkung in der Lage, die Betonzugdehnung der zwischen den Rissen verbleibenden, ungerissenen Bereiche durch Einleitung der Betonzugkraft (auch nach der Bildung des Einzelrisses) aufrecht zu erhalten und damit ein zu weites Öffnen des Risses auszuschließen.

Um auch vom Regelfall abweichende Fälle behandeln zu können, werden im Anschluß an die Erläuterungen des Normtextes die wesentlichen Zusammenhänge, die der erhöhten Mindestbewehrung zugrunde liegen, dargestellt und Hilfen auf der Grundlage von DIN 1045, Ausgabe 7.88 für einen expliziten Nachweis zur Beschränkung der Rißbreite von Einzelrisen gegeben.

## 10 Rissebeschränkung

### 10.1 Zulässigkeit von Zugspannungen

#### 10.1.1 Volle Vorspannung

- (1) Im Gebrauchszustand dürfen in der Regel keine Zugspannungen infolge von Längskraft und Biegemoment auftreten.
- (2) In folgenden Fällen sind jedoch solche Zugspannungen zulässig:
  - a) Im Bauzustand, also z. B. unmittelbar nach dem Aufbringen der Vorspannung vor dem Einwirken der vollen ständigen Last, siehe Tabelle 9, Zeilen 15 bis 17 bzw. Zeilen 33 bis 35.
  - b) Bei Brücken und vergleichbaren Bauwerken unter Haupt- und Zusatzlasten, siehe Tabelle 9, Zeilen 30 bis 32, bei anderen Bauwerken unter wenig wahrscheinlicher Häufung von Lastfällen siehe Tabelle 9, Zeilen 12 bis 14
  - c) Bei wenig wahrscheinlichen Laststellungen, siehe Tabelle 9, Zeilen 12 bis 14 bzw. Zeilen 30 bis 32, als wenig wahrscheinliche Laststellungen gelten z. B. die gleichzeitige Wirkung mehrerer Kräne und Kranlasten in ungünstigster Stellung oder die Berücksichtigung mehrerer Einflußlinien-Bitragsflächen gleichen Vorzeichens, die durch solche entgegengesetzten Vorzeichens voneinander getrennt sind.

### Zu Abschnitt 10.1 Zulässigkeit von Zugspannungen

Nachweise von Betonzugspannungen haben aus heutiger Sicht nicht mehr die Bedeutung, die ihnen in den Anfängen des Spannbetonbaues zugemessen wurde, da die Einwirkungen auf den Beton (Lasten, Zwang, Vorspannung) in Wirklichkeit streuen, Eigenspannungen infolge ungleichen Schwindens und nichtlinearen Temperaturverlaufs unter Einschluß des Hydrationswärmeabflusses in der Regel unberücksichtigt bleiben und die Betonzugspannungen rechnerisch aus Differenzen großer Zahlen ermittelt werden. Der Nachweis rechnerischer Betonzugspannungen ist daher nur als ein Mittel zur Einschränkung der Auftretenswahrscheinlichkeit von Rissen und als Dimensionierungshilfe anzusehen.

### Zu Abschnitt 10.1.2 Beschränkte Vorspannung

Die für beschränkte Vorspannung in Absatz (1) festgelegten zulässigen Betonzugspannungen der Tabelle 9 (Zeilen 18 bis 26 bzw. 36 bis 44) wurden – von Rundungen abgesehen – als Bruchteile der Betonzugfestigkeit definiert. Bezieht man die Werte auf die früher in DIN 1045/12.78, Abschnitt 17.6.3, für Beton angegebenen Rechenwerte für die Biegezugfestigkeit

$$\beta_{bBZ} = 0,46 \cdot \beta_{WN}^{2/3}$$

und die zentrische Zugfestigkeit

$$\beta_{bz} = \left[ \frac{0,46}{1,8} \cdot \beta_{WN}^{2/3} \right]$$

so gilt näherungsweise

$$\text{zul } \sigma_{bz} \text{ [Zeile 18]} \approx 0,53 \cdot \beta_{bz}$$

$$\text{zul } \sigma_{bBZ} \text{ [Zeile 19]} \approx 0,75 \cdot \beta_{bBZ}$$

Durch die Forderungen von Absatz (2) wird gewährleistet, daß die Spannglieder nicht von dauernd geöffneten Rissen gekreuzt werden. Zur Klarstellung sei darauf hingewiesen, daß der in diesem Absatz geforderte Nachweis bei Bauteilen im Freien bzw. bei Bauteilen mit erhöhtem Korrosionsangriff gemäß DIN 1045, Tab. 10, Zeile 4 (keine Zugspannungen unter Dauerlast) in der Regel nur für die Zeit nach Abschluß des Kriechens und Schwindens ( $t \rightarrow \infty$ ) maßgebend wird. Dabei sind die wahrscheinlichen Baugrundbewegungen an Stelle der Verkehrslast zu berücksichtigen, wenn sich dadurch ungünstigere Werte ergeben.

Nach Absatz (3) sind gleichgerichtete Zugspannungen aus verschiedenen Tragwirkungen zu überlagern. Die zulässigen Betonzugspannungen der Tabelle 9, Zeilen 21 bis 23 bzw. 39 bis 41, sind wiederum als Bruchteile der Betonzugfestigkeit definiert.

#### Zu Abschnitt 10.2 Nachweis zur Beschränkung der Rißbreite

In DIN 4227 Teil 1 (Ausgabe Dez. 1979), Gl. (8), war der Nachweis zur Beschränkung der Rißbreite folgendermaßen festgelegt:

$$d_s \leq 4 \cdot r \cdot \frac{\mu_z}{\sigma_s^2} \cdot 10^4$$

Zum besseren Verständnis sei zunächst diese Gleichung erläutert:

Die einzusetzende Spannung  $\sigma_s$  des Betonstahls wurde für Schnittgrößen aus Vorspannung, Kriechen und Schwinden, 1,35-fache Schnittgrößen aus äußeren Lasten sowie 1,0-fache Schnittgrößen infolge von Wärmewirkung und wahrscheinlicher Baugrundbewegungen nach Zustand II ermittelt. Dieser Nachweis war bei Spannbetonbauteilen unter 1,35-facher Gebrauchslast zu führen, weil eine Steigerung der Beanspruchung über die Dekompression hinaus ein starkes Anwachsen der Rißbreiten zur Folge hat, wohingegen bei nicht vorgespannten Bauteilen die Rißbreiten weniger stark zunehmen. In DIN 1045/12.78 waren die  $r$ -Werte auf die Dauerlast (in der Regel 70 % der Gesamtlast) bezogen, da kurzzeitige Vergrößerungen der Rißbreiten auf die Korrosion keinen Einfluß haben. Da die Stahlspannungen unter Berücksichtigung der 1,35-fachen Lasten in Gl. (8) und die  $r$ -Werte in ihrer Größe entsprechend DIN 1045 einzusetzen waren, mußte in Gl. (8) zur Korrektur der Faktor  $4 \approx [1,35/0,7]^2$  eingeführt werden.

In der nun gültigen Ausgabe (Juli 1988) wird als Beanspruchungskombination für den Nachweis zur Beschränkung der Rißbreite die Vollast zuzüglich des Zusatzmomentes  $\Delta M_1$  sowie ein Mindestwert  $M_2$  festgelegt. Die Unsicherheiten hinsichtlich der Vorspannung werden durch die Faktoren 0,9 bzw. 1,1 (je nachdem, ob die Vorspannung günstig oder ungünstig wirkt) berücksichtigt. Diese Festlegungen können wie folgt begründet werden:

#### 10.1.2 Beschränkte Vorspannung

(1) Im Gebrauchszustand sind die in Tabelle 9, Zeilen 18 bis 26 bzw. bei Brücken und vergleichbaren Bauwerken Zeilen 36 bis 44 angegebenen Zugspannungen infolge von Längskraft und Biegemoment zulässig.

(2) Bei Bauteilen im Freien oder bei Bauteilen mit erhöhtem Korrosionsangriff gemäß DIN 1045/07.88, Tabelle 10, Zeile 4, dürfen jedoch keine Zugspannungen aus Längskraft und Biegemoment auftreten infolge des Lastfalles Vorspannung plus ständige Last plus Verkehrslast, die während der Nutzung ständig oder längere Zeit im wesentlichen unverändert wirkt (bei Brücken die halbe Verkehrslast), plus Kriechen und Schwinden. In dem vorgenannten Lastfall sind an Stelle der Verkehrslast die wahrscheinlichen Baugrundbewegungen zu berücksichtigen, wenn sich dadurch ungünstigere Werte ergeben. Für Lastfallkombinationen unter Einschluß der möglichen Baugrundbewegungen nach DIN 1072 sind Nachweise der Betonzugspannungen nicht erforderlich.

(3) Gleichgerichtete Zugspannungen aus verschiedenen Tragwirkungen (z. B. Wirkung einer Platte als Gurt eines Hauptträgers bei gleichzeitiger örtlicher Lastabtragung in der Platte) sind zu überlagern; dabei sind die Werte nach Tabelle 9, Zeilen 21 bis 23 bzw. 39 bis 41, einzuhalten.

#### 10.2 Nachweis zur Beschränkung der Rißbreite

(1) Zur Sicherung der Gebrauchsfähigkeit und Dauerhaftigkeit der Bauteile ist die Rißbreite durch geeignete Wahl von Bewehrungsgehalt, Stahlspannung und Stabdurchmesser in dem Maß zu beschränken, wie es der Verwendungszweck erfordert.

(2) Die Betonstahlbewehrung zur Beschränkung der Rißbreite muß aus geripptem Betonstahl bestehen. Bei Vorspannung mit sofortigem Verbund dürfen im Querschnitt vorhandene Spannglieder zur Beschränkung der Rißbreite herangezogen werden. Die Beschränkung der Rißbreite gilt als nachgewiesen, wenn folgende Bedingung eingehalten ist.

$$d_s \leq r \cdot \frac{\mu_z}{\sigma_s^2} \cdot 10^4 \quad (8)$$

(5) Bei überwiegend auf Biegung beanspruchten stabförmigen Bauteilen und Platten ist für den Nachweis nach Gleichung (8) von folgender Beanspruchungskombination auszugehen:

- 1,0fache ständige Last,
- 1,0fache Verkehrslast (einschließlich Schnee und Wind),
- 0,9- bzw. 1,1fache Summe aus statisch bestimmter und statisch unbestimmter Wirkung der Vorspannung unter Berücksichtigung von Kriechen und Schwinden; der ungünstigere Wert ist maßgebend,
- 1,0fache Zwangsschnittgröße aus Wärmewirkung (auch im Bauzustand), wahrscheinlicher Baugrundbewegung, Schwinden und aus Anheben zum Auswechseln von Lagern,
- 1,0fache Schnittgröße aus planmäßiger Systemänderung,
- Zusatzmoment  $\Delta M_1$  mit

$$\Delta M_1 = \pm 5 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{EI}{d_0}$$

Hiern bedeuten

$EI$  Biegesteifigkeit im Zustand I im betrachteten Querschnitt,  
 $d_0$  Querschnittsdicke im betrachteten Querschnitt  
 (bei Platten ist  $d_0 = d$  zu setzen).

Soweit diese Beanspruchungskombination ohne den statisch bestimmten Anteil der Vorspannung örtlich geringere Biegemomente als den Mindestwert

$$M_2 = \pm 15 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{EI}{d_0}$$

ergibt, so ist dieses Moment  $M_2$  in den durch Bild 3.1 gekennzeichneten Bereichen mit dem dort angegebenen Verlauf anzunehmen. Für den Nachweis nach Gleichung (8) ist dabei von der mit  $M_2$  ermittelten Grenzlinie und dem statisch bestimmten Anteil der 0,9- bzw. 1,1fachen Vorspannung als Beanspruchungskombination auszugehen.

(8) Bei anderen Tragwerken (wie z. B. Behälter, Scheiben- und Schalentragwerke) sind besondere Überlegungen zur Erfüllung von Absatz (1) erforderlich.

Von der Dauerlast auszugehen schien nicht zweckmäßig, weil, wie bereits erwähnt, die Rißbreiten vorgespannter Konstruktionen nach überschreiten der Rißlast sehr rasch anwachsen; das Zusatzmoment  $\Delta M_1$  soll Streuungen und nicht oder nur näherungsweise berücksichtigte Einflüsse (ungleiches Schwinden, nichtlineare Temperaturverteilung, Unsicherheiten der Zwangbeanspruchung und ihres Abbaues durch Kriechen, etc.) auf der Einwirkungsseite erfassen. Im Bereich kleiner Momente (z.B. an Momentennullpunkten) ist der Mindestwert  $M_2$  anzusetzen; dabei ist die Grenzlinie der Biegemomente des Gesamtquerschnittes (also ohne Einbeziehung der statisch bestimmten Wirkung der Vorspannung) maßgebend. Durch diese additive Erhöhung der Beanspruchung werden Streuungen, vor allem im Bereich kleiner Momente, besser erfaßt als durch Lastfaktoren.

Bei statisch bestimmt gelagerten Trägern treten Beanspruchungen aus Zwang nicht auf, allerdings solche aus Eigenspannungen infolge nichtlinearer Temperaturverteilungen oder ungleichen Schwindens. Deshalb erscheint es vertretbar, in diesen Fällen die Zusatzmomente abzumindern, z.B. auf die Hälfte.

Bei der Einführung der Momente  $\Delta M_1$  bzw.  $M_2$  wurde in erster Linie an Stabtragwerke und an biegebeanspruchte Platten gedacht. Bei Scheiben- und schalenförmigen Tragwerken sollten die Momente  $\Delta M_1$  bzw.  $M_2$  als Plattenbiegemomente nur im Bereich der Rand- bzw. Biegestörungen entsprechend angesetzt werden.

Der Nachweis zur Beschränkung der Rißbreite ist nun nach Gl. (8), von DIN 4227 Teil 1 (7.88), d.h. ohne den Faktor 4 und mit neuen r-Werten zu führen:

$$d_s \leq r \frac{M_z}{\sigma_s^2} \cdot 10^4 .$$

Tabelle 8.1. Beiwerte  $r$  zur Berücksichtigung der Verbundeigenschaften

Bauteile mit Umweltbedingungen nach DIN 1045/07.88, Tabelle 10, Zeile(n)	1	2	3 und 4 <sup>1)</sup>
zu erwartende Rißbreite	normal	normal	sehr gering
gerippter Betonstahl und gerippte Spannstähle in sofortigem Verbund	200	150	100
profilierter Spannstahl und Litzen in sofortigem Verbund	150	110	75

<sup>1)</sup> Auch bei Bauteilen im Einflußbereich bis zu 10m von  
 - Straßen, die mit Tausalzen behandelt werden  
 oder  
 - Eisenbahnstrecken, die vorwiegend mit Dieselantrieb befahren werden.

Die neuen r-Werte in Tabelle 8.1 wurden aus einer Kalibrierung gewonnen. Dabei wurden genauere Formeln zur Bestimmung der Rißbreiten und eine charakteristische Rißbreite von 0,2 mm unter Dauerlast bei Umweltbedingungen nach DIN 1045, Tabelle 10, Zeile 3, für Rippenstahl zugrunde gelegt. Gleiche Durchmesser ergaben sich nach Gl. (8) für  $r = 100$ .

Da die Stahlspannung  $\sigma_s$  quadratisch in die Rißformel eingeht, liefert sie bei kleinen Stahlspannungen zu günstige Ergebnisse, d.h. zu große Stabdurchmesser [1-5]. Dieser Fehler ist jedoch innerhalb des in der Praxis interessierenden Bereiches der Stabdurchmesser nicht erheblich.

Außerdem sei darauf hingewiesen, daß Gl. (8) bei hohen Biegezugzonen zu kleine Stabdurchmesser liefert, weil anstelle der Wirkungszone der Bewehrung die größere Zugzone im Zustand II eingeht [1-4,6].

Bei unterschiedlichen Verbundeigenschaften der Bewehrung zur Beschränkung der Rißbreite (z.B. gerippter Betonstahl und profilierter Spannstahl in sofortigem Verbund) liegt man auf der sicheren Seite, wenn der r-Wert der Bewehrung mit den schlechteren Verbundeigenschaften eingesetzt wird. Es kann jedoch auch ein mittlerer r-Wert eingesetzt werden, für den nach [7] gilt:

$$r_m = r_1 \frac{A_1}{A_1 + A_2} + r_2 \frac{A_2}{A_1 + A_2}$$

Darin bedeuten:

$r_m$  = mittlerer r-Wert

$A_1, r_1$  = Querschnitt und Verbundbeiwert der Bewehrung 1

$A_2, r_2$  = Querschnitt und Verbundbeiwert der Bewehrung 2

Bei einem genaueren Nachweis können die Stahlspannungen  $\sigma_s$  unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Verbundeigenschaften von Betonstahl und Spannstahl nach [8] ermittelt werden.

Spannglieder mit nachträglichem Verbund können die Ribbildung wirksam nur innerhalb eines bestimmten Wirkungsbereiches beeinflussen (vergl. [9]). Die Größe dieses Bereiches beträgt nach Versuchen [9] im Mittel etwa  $30 \times 30$  cm. In dieser Wirkungszone der Spannglieder darf die erforderliche Betonstahlbewehrung um den Betrag  $\Delta A_s$  nach DIN 4227 Teil 1, Gl. (9), abgemindert werden. Bei der Herleitung von Gl. (9) wurde davon ausgegangen, daß die Verbundwirkung der weggelassenen Betonstahlbewehrung ( $\Delta A_s$ ) durch die des Spannstahles ersetzt wird. Damit gilt:

$$\Delta u_s \cdot \tau_s = u_v \cdot \tau_v$$

Mit  $\Delta u_s = \frac{4 \cdot \Delta A_s}{d_s}$  erhält man:

$$\Delta A_s = u_v \frac{\tau_v}{\tau_s} \cdot \frac{d_s}{4}$$

und mit  $\zeta = \frac{\tau_v}{\tau_s}$  erhält man Gl. (9):

$$\Delta A_s = u_v \zeta \cdot d_s / 4 \quad (9)$$

Der Abminderungsbeiwert  $\zeta$  gibt an, um wieviel geringer die Verbundfestigkeit von Spanngliedern im Einpreßmörtel gegenüber der Verbundfestigkeit von Betonrippenstählen ist. Dieser Wert wurde aus Versuchen [9] gewonnen. Die angegebene Beziehung für den wirklichen Umfang eines Bündelspanngliedes

$$u_v = \pi \cdot 1,6 \cdot \sqrt{A_v}$$

berücksichtigt eine ungünstige Anordnung der Einzeldrähte im Bündel.

Es ist zu beachten, daß eine Verminderung der Querschnittsfläche des Betonstahles um  $\Delta A_s$  auch die Betonstahlspannung  $\sigma_s$  spürbar vergrößern kann. Es sei daher darauf hingewiesen, daß die Betonstahlspannung  $\sigma_s$  unter Zugrundelegung der tatsächlich im Querschnitt vorhandenen Biegezugbewehrung  $A_s + A_v$  zu ermitteln ist. Der Bewehrungsprozentsatz  $\mu_z$  wird vom Abzug nicht berührt, weil die Verbundwirkung der Spannglieder der Verbundwirkung der im Bereich  $30 \times 30$  cm abgezogenen Betonstahlbewehrung ( $\Delta A_s$ ) entspricht.

Auf die in Abschnitt 10.2.(7) angegebenen vereinfachten Nachweise wird in den Erläuterungen zu DIN 4227 Teil 6 eingegangen.

Inzwischen wurde in DIN 1045/07.88 ein verbessertes Konzept zur Beschränkung der Ribbreite eingeführt. Danach ist in der Regel eine Mindestbewehrung anzuordnen. Für die statisch erforderliche Bewehrung sind wahlweise Grenzdurchmesser oder Stababstände einzuhalten. Genauere Formeln und Diagramme für den Nachweis zur Beschränkung der Ribbreite sind in den zugehörigen Erläuterungen [5] und in [10, 11] enthalten. Außerdem liegt der Sachstandsbericht Dauerhaftigkeit des DAfStb [12] vor.

Die in der nun gültigen Ausgabe von DIN 4227 Teil 1/07.88 gegenüber Ausgabe 12.79 vorgenommenen Änderungen der Abschnitte 6.7 und 10.2 berücksichtigen die Grundgedanken dieses neuen Konzeptes.

(3) Im Bereich eines Quadrates von 30 cm Seitenlänge, in dessen Schwerpunkt ein Spannglied mit nachträglichem Verbund liegt, darf die nach Absatz (2) nachgewiesene Betonstahlbewehrung um den Betrag

$$\Delta A_s = u_v \cdot \xi \cdot d_s / 4 \quad (9)$$

abgemindert werden.

(7) Bei Platten mit Umweltbedingungen nach DIN 1045/07.88, Tabelle 10, Zeilen 1 und 2, braucht der Nachweis nach den Absätzen (2) bis (5) nicht geführt zu werden, wenn eine der folgenden Bedingungen a) oder b) eingehalten ist:

a) Die Ausmitte  $e = |M/N|$  bei Lastkombinationen nach Absatz (5) entspricht folgenden Werten:

$$e \leq d/3 \quad \text{bei Platten der Dicke } d \leq 0,40 \text{ m}$$

$$e \leq 0,133 \text{ m} \quad \text{bei Platten der Dicke } d > 0,40 \text{ m}$$

b) Bei Deckenplatten des üblichen Hochbaues mit Dicken  $d \leq 0,40$  m sind für den Wert der Druckspannung  $|\sigma_N|$  in  $\text{N/mm}^2$  aus Normalkraft infolge von Vorspannung und äußerer Last und den Bewehrungsgehalt  $\mu$  in % für den Betonstahl in der vorgedrückten Zugzone – bezogen auf den gesamten Betonquerschnitt – folgende drei Bedingungen erfüllt:

$$\mu \geq 0,05$$

$$|\sigma_N| \geq 1,0$$

$$\frac{\mu}{0,15} + \frac{|\sigma_N|}{3} \geq 1,0$$

Allerdings ist Abschnitt 10.2 mit den entsprechenden Festlegungen in DIN 1045 (Ausgabe Juli 1988) nicht voll verträglich. Diese nicht schwerwiegenden Unverträglichkeiten wurden jedoch in Kauf genommen, um der Praxis eine abermalige Umstellung des Nachweises innerhalb kurzer Zeit zu ersparen, nachdem der Nachweis bereits in der Richtlinie zur Änderung von DIN 4227 Teil 1 – Spannbeton (Ausgabe Juli 1985) geändert worden war.

Die früher in DIN 4227 Teil 1/12.79, Abschnitt 10.2.2, enthaltene Regelung für den Nachweis zur Beschränkung der Rißbreite für die Druckzone ist nun nicht mehr enthalten, so daß einheitlich die Regeln zur Ermittlung der Betonstahlspannung unter Zugrundelegung von Zustand II auf Zug- und Druckzone anzuwenden sind. Da die in Abschnitt 10.2.2 früher enthaltene Zugkeildeckung im vorliegenden Fall – bei Zugspannungen in der Druckzone – auf der sicheren Seite liegt, bestehen keine Bedenken, bei voll oder beschränkt (oder teilweise) vorgespannten Bauteilen auch weiterhin diesen vereinfachten Nachweis zu führen.

### 10.3 Arbeitsfugen annähernd rechtwinklig zur Tragrichtung

(1) Arbeitsfugen, die annähernd rechtwinklig zur betrachteten Tragrichtung verlaufen, sind im Bereich von Zugspannungen nach Möglichkeit zu vermeiden. Es ist nachzuweisen, daß die größten Zugspannungen infolge von Langskraft und Biegemoment an der Stelle der Arbeitsfuge die Hälfte der nach den Abschnitten 10.1.1 oder 10.1.2, jeweils zulässigen Werte nicht überschreiten und daß infolge des Lastfalles Vorspannung plus ständige Last plus Kriechen und Schwinden keine Zugspannungen auftreten.

(2) Wird nicht nachgewiesen, daß die infolge Schwindens und Abfließens der Hydratationswärme im anbetonierten Teil auftretenden Zugkräfte durch Bewehrung aufgenommen werden können, so ist im anbetonierten Teil auf eine Länge  $d_0 \leq 1,0$  m die parallel zur Arbeitsfuge laufende Bewehrung auf die doppelten Werte der Mindestbewehrung nach Abschnitt 6.7 – mit Ausnahme von Abschnitt 6.7.6 – anzuheben. Diese Werte gelten auch als Mindestquerschnitt der obersten und untersten Lage der die Fuge kreuzenden Bewehrung, die beiderseits der Fuge auf einer Länge  $d_0 + l_0 \leq 4,0$  m vorhanden sein muß ( $d_0$  Balkendicke bzw. Plattendicke;  $l_0$  Grundmaß der Verankerungslänge nach DIN 1045/07.88, Abschnitt 18.5.2.1). Bei Brücken und vergleichbaren Bauwerken ist außerdem die Regelung über die erhöhte Mindestbewehrung nach Abschnitt 6.7.1 (3) zu beachten.

### 10.4 Arbeitsfugen mit Spanngliedkopplungen

(1) Werden in einer Arbeitsfuge mehr als 20% der im Querschnitt vorhandenen Spannkraft mittels Spanngliedkopplungen oder auf andere Weise vorübergehend verankert, gelten für die die Fuge kreuzende Bewehrung über die Abschnitte 10.2, 10.3, 14 und 15.9, hinaus die nachfolgenden Absätze (2) bis (5); dabei sollen die Stababstände nicht größer als 15 cm sein.

(2) Bei Brücken und vergleichbaren Bauwerken ist die erhöhte Mindestbewehrung nach Tabelle 4 grundsätzlich einzulegen.

### Zu Abschnitt 10.3: Arbeitsfugen annähernd rechtwinklig zur Tragrichtung

Bei Bauteilen nach Tabelle 4, Spalten 3 und 5, (Brücken und vergleichbare Bauwerke) ist für die die Fuge kreuzende Längsbewehrung – neben der in Abschnitt 10.3 geforderten Verdoppelung der Bewehrungsquerschnitte der obersten und untersten Lage – in den gezogenen bzw. weniger gedrückten Querschnittsbereichen zur Rißbreitenbeschränkung mindestens die nach Abschnitt 6.7.1, Absatz (3) geforderte erhöhte Mindestbewehrung einzulegen, wenn die Voraussetzungen von Absatz (3) gegeben sind. Durch diese Bewehrung wird auch im Bereich der Arbeitsfugen die Breite von Einzelrisen ausreichend beschränkt.

Bei Bauteilen nach Tabelle 4, Spalten 2 und 4, erscheint lediglich eine Verdoppelung der Mindestquerschnitte der obersten und untersten Lage der die Fuge kreuzenden Bewehrung auf die Länge von  $d_0 + l_0 \leq 4$  m von der Fuge aus nach jeder Seite ausreichend, weil hierbei von geringeren Zwangbeanspruchungen ausgegangen werden kann.

Wird nicht nachgewiesen, daß die infolge Schwindens und Abfließens der Hydratationswärme im anbetonierten Teil auftretenden Zugkräfte durch Bewehrung aufgenommen werden können, muß im anbetonierten Teil die auf einer Länge  $d_0 \leq 1$  m parallel zur Arbeitsfuge verlaufende Mindestbewehrung verdoppelt werden.

### Zu Abschnitt 10.4: Arbeitsfugen mit Spanngliedkopplungen

Werden in Abschnitt 10.4 keine weitergehenden Regelungen getroffen (z.B. für den oberen Rand von Vollplatten oder Fugen, in denen weniger als 20% der im Querschnitt vorhandenen Spannkraft mittels Spanngliedkopplungen vorübergehend verankert werden), so gilt Abschnitt 10.3.

Für Arbeitsfugen mit Spanngliedkopplungen in Bauteilen nach Tabelle 4, Spalten 3 und 5 (Brücken und vergleichbare Bauwerke) enthält DIN 4227 Teil 1, keine zusätzlichen Regeln im Hinblick auf die Rißbreitenbeschränkung, weil vor allem die Forderungen des Abschnittes 6.7 auch diese Fälle abdecken. Allerdings verlangt die Norm im Bereich von Koppelfugen grundsätzlich die Anordnung der erhöhten Mindestbewehrung, also auch dann, wenn das Spannungskriterium nach Abschnitt 6.7.1, Absatz (3), eingehalten ist, d.h. der Betrag der rechnerischen Betondruckspannung  $2.0 \text{ N/mm}^2$  überschreitet. Diese Regelung berücksichtigt, daß im Bereich von Koppelfugen rechnerisch nicht erfaßte erhöhte Betonzugspannungen infolge verschiedener ungünstiger Einflüsse auftreten [13-17].

Bei Bauteilen nach Tabelle 4, Spalten 2 und 4, bei denen die erhöhte Mindestbewehrung nach Abschnitt 6.7.1, Absatz (3) und Tabelle 4, nicht gefordert wird, sind nach wie vor die bereits in DIN 4227 Teil 1, 12.79 angegebenen Bewehrungsprozentsätze gültig. Diese sind gegenüber den in Abschnitt 10.3 angegebenen Werten größer, weil – wie oben angesprochen – an Arbeitsfugen mit Spanngliedkopplungen (sog. Koppelfugen) im Hinblick auf die Zugbeanspruchungen des Betons ungünstigere Verhältnisse als an normalen Arbeitsfugen vorliegen [13-17]. Die Mindestbewehrung an der Konstruktionsunterseite wurde für die Zugkraft der Betonquerschnittsfläche bemessen, die bei Erreichen der Betonzugfestigkeit ausfallen kann. Für die Konstruktionsoberseite, bei der ein Temperaturunterschied geringere Auswirkungen hat, erschien der halbe Bewehrungsprozentsatz ausreichend. Für die Ermittlung des Bewehrungsprozentsatzes in Stegen und Plattenbalken und in Vollplatten wurde angenommen, daß dreieckförmig verteilte Zugspannungen bis in halber Steghöhe bzw. Plattendicke auftreten. Die Bewehrungsprozentsätze in unteren Gurtplatten liegen bei 0,8 %, in oberen Gurtplatten bei 0,4 % und in Stegen sowie am unteren Rand von Vollplatten und Hohlplatten mit annähernd kreisförmigen Aussparungen bei 0,2 %. Diese Verminderung wurde für gerechtfertigt gehalten, weil die Betonzugfestigkeit im Bauwerk geringer ist als bei im Labor geprüften Probekörpern. Es wurde auch berücksichtigt, daß generell der Ansatz eines Lastfalles „Wärmewirkung“ unter Einhaltung zulässiger Spannungen gefordert wird.

Da bei sehr dicken Gurtscheiben die Risse an der Oberfläche ausreichend beschränkt bleiben, wenn der Prozentsatz der Mindestbewehrung nicht auf den Gesamtquerschnitt der Gurtscheibe sondern lediglich auf die Wirkungszone bezogen wird, braucht bei Gurtscheibendicken größer 40 cm der Bewehrungsprozentsatz nur für eine Gurtscheibendicke von 40 cm ermittelt zu werden.

Diese Erleichterung war früher in der Ausgabe 12.79 von DIN 4227 Teil 1 enthalten; sie wurde in die Ausgabe 88 nicht mehr aufgenommen, weil Brücken und vergleichbare Bauwerke, bei denen diese dicken Gurtscheiben hauptsächlich vorkommen, in Abs. (2) geregelt sind.

Die Mindestbewehrung darf auf die für Arbeitsfugen ohne Koppelfugen vorgesehenen Werte abgemindert werden, wenn unter der entsprechenden Beanspruchungskombination unter Einschluß des Lastfalles „Wärmewirkung“ eine Randdruckspannung von  $2 \text{ N/mm}^2$  ermittelt wird. Der Wert  $2 \text{ N/mm}^2$  erschien aufgrund der Berücksichtigung des Lastfalles „Wärmewirkung“ gerechtfertigt.

Koppelfugen, die nur während des Bauzustandes Randzugspannungen oder Randdruckspannungen dem Betrage nach kleiner als  $2 \text{ N/mm}^2$  erhalten, im Endzustand aber überdrückt sind, müssen trotzdem die erhöhte Mindestbewehrung für Koppelfugen nach Absatz (2) oder Absatz (3) erhalten. Hierdurch soll erreicht werden, daß die die Risse kreuzende Betonstahlbewehrung in den Koppelfugen auch im Bauzustand nicht ins Fließen gerät und somit diese Risse fein verteilt bleiben, selbst wenn sie später (im Endzustand) überdrückt werden.

#### Literaturverzeichnis

- [1] Kupfer, H.:  
Kriterien der Rißbreitenbeschränkung in: Vorträge Deutscher Betontag 1985, Deutscher Beton-Verein E.V. (Hrg.), Wiesbaden, 1985.
- [2] König, G.:  
Berechnung und gezieltes Begrenzen von Rißbreiten im Stahlbeton und Spannbeton in: Vorträge Deutscher Betontag 1985, Deutscher Beton-Verein E.V. (Hrg.), Wiesbaden, 1985.
- [3] Rostásy, F.S.:  
Risse infolge Zwang und Eigenspannung in: Vorträge Deutscher Betontag 1985, Deutscher Beton-Verein E.V. (Hrg.), Wiesbaden, 1985.

(3) Ist bei Bauwerken nach Tabelle 4, Spalten 2 und 4, in der Fuge am jeweils betrachteten Rand unter ungünstigster Überlagerung der Lastfälle nach Abschnitt 9 (unter Berücksichtigung auch der Bauzustände) eine Druckrandspannung nicht vorhanden, so sind für die die Fuge kreuzende Längsbewehrung folgende Mindestquerschnitte erforderlich:

- a) Für den Bereich des unteren Querschnittsrandes, wenn dort keine Gurtscheibe vorhanden ist:  
0,2% der Querschnittsfläche des Steges bzw. der Platte (zu berechnen mit der gesamten Querschnittsdicke; bei Hohlplatten mit annähernd kreisförmigen Aussparungen darf der reine Betonquerschnitt zugrunde gelegt werden). Mindestens die Hälfte dieser Bewehrung muß am unteren Rand liegen; der Rest darf über das untere Drittel der Querschnittsdicke verteilt sein.
- b) Für den Bereich des unteren bzw. oberen Querschnittsrandes, wenn dort eine Gurtscheibe vorhanden ist (die folgende Regel gilt auch für Hohlplatten mit annähernd rechteckigen Aussparungen):  
0,8% der Querschnittsfläche der unteren bzw. 0,4% der Querschnittsfläche der oberen Gurtscheibe einschließlich des jeweiligen (mit der gemittelten Scheibendicke zu bestimmenden) Durchdringungsbereiches mit dem Steg. Die Bewehrung muß über die Breite von Gurtscheibe und Durchdringungsbereich gleichmäßig verteilt sein.

(4) Bei Bauwerken nach Absatz (3) dürfen die vorstehenden Werte für die Mindestlängsbewehrung auf die doppelten Werte nach Tabelle 4 ermäßigt werden, wenn die Druckrandspannung am betrachteten Rand mindestens  $2 \text{ N/mm}^2$  beträgt. Bei Mindest-Druckrandspannungen zwischen 0 und  $2 \text{ N/mm}^2$  darf der Querschnitt der Mindestlängsbewehrung zwischen den jeweils maßgebenden Werten linear interpoliert werden.

- [4] Jungwirth, D.:  
Anwendung der Rißbreitenbeschränkung im Betonbau aus der Sicht der Praxis in: Vorträge Deutscher Betontag 1985, Deutscher Beton-Verein E.V. (Hrg.), Wiesbaden, 1985.
- [5] Erläuterung DIN 1045, Heft 400 des DAfStb 1989, Ernst & Sohn, Berlin.
- [6] Leonhardt, F.:  
Zur Behandlung von Rissen im Beton in den Deutschen Vorschriften, in: Beton- und Stahlbetonbau 80 (1985) S. 179-184
- [7] Rehm, G.; Eligehausen, R.:  
Nachweis der Beschränkung der Rißbreite bei Verwendung von Bewehrungsstählen mit unterschiedlichen Verbundeigenschaften. Gutachtliche Stellungnahme vom 23.11.1973, unveröffentlicht.
- [8] Kupfer, H.; Streit, W.:  
Stahlspannungen im Gebrauchszustand bei teilweiser Vorspannung, in: Spannweite der Gedanken, Springer-Verlag, Berlin, 1987.
- [9] Trost, H.; Cordes, H.; Hagen, H.; Thormählen, U.:  
Teilweise Vorspannung – Verbundfestigkeit von Spanngliedern und ihre Bedeutung für Rißbildung und Rißbreitenbeschränkung, Heft 310 des DAfStb, Berlin, 1980.
- [10] Schießl, P.; Wölfel, E.:  
Konstruktionsregeln zur Beschränkung der Rißbreite – Grundlagen zur Neufassung der DIN 1045, Abschnitt 17.6 (Entwurf 1985), in: Beton- und Stahlbetonbau 81 (1986), S. 8-15.
- [11] DBV Merkblatt:  
Begrenzung der Rißbildung im Stahlbeton- und Spannbetonbau, 1986.
- [12] König, G.; Schießl, P.; Cordes, H.; König, G.; Gerhardt, H.-Chr.; Wölfel, E.:  
Sachstandbericht zur Dauerhaftigkeit von Stahlbeton und Spannbeton. Heft 370 des DAfStb, Ernst & Sohn, Berlin, 1986.
- [13] Mehlhorn, G.; Hoshino, M.:  
Zum Spannungszustand an Arbeitsfugen mit Spanngliedkopplungen bei abschnittsweise hergestellten Spannbetonbrücken, Technischer Beitrag zum VII. Kongreß des FIP, New York, 1974.
- [14] Baur, W.; Göhler, B.:  
Beitrag zur Ermittlung der Spannungen in Koppelfugen feldweise aus Ort beton hergestellter durchlaufender Spannbetonbrücken, in: Beton- und Stahlbetonbau, 67 (1972), S.282-284.
- [15] Pfohl, H.:  
Risse an Koppelfugen von Spannbetonbrücken – Schadenbeobachtungen, mögliche Ursachen, vorläufige Folgerungen, in: Mitteilungen des Instituts für Bautechnik, Heft 6, 1973.
- [16] Wölfel, E.:  
Bemessung von Koppelungen in Spannbetonbrücken, in: Mitteilungen des Instituts für Bautechnik, Heft 2, 1977.
- [17] Kordina, K.: Schäden an Koppelfugen, in: Beton- und Stahlbetonbau, 74 (1979), S. 95-100.