Bemerkungen zur Bemessung von Spannbetonkonstruktionen

Autor(en): **Birkenmaier, M.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **85 (1967)**

Heft 31

PDF erstellt am: **02.06.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-69506

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Bemerkungen zur Bemessung von Spannbetonkonstruktionen

Von **M. Birkenmaier**, dipl. Ing., Zürich

DK 389.6:624.012.45

Wie im Einführungsreferat schon erwähnt, hat in unserem Lande die Spannbeton-Bauweise seit 1950 eine ausserordentliche Entwicklung und Verbreitung erfahren. Das Prinzip der Vorspannung gab dem entwerfenden Ingenieur ganz neue Möglichkeiten für die Gestaltung seiner Stahlbeton-Bauwerke. Wer seit Beginn dieser Entwicklung mit dabei war, erinnert sich noch gut an die Faszination und an die schöpferischen Impulse, die von dieser neuen Technik ausgegangen sind. Heute ist eine etwas ruhigere, aber immer noch fortschreitende Entwicklung der Bauweise festzustellen.

Man tut gut daran, wenn man bei allen Fortschritten das einfache Prinzip der Vorspannung immer klar vor Augen hat. Mittels des Vorspannens werden ja bekanntlich Spannungen in einem Bauteil erzeugt, welche den aus Eigengewicht und Nutzlasten bewirkten Spannungen im günstigen Sinne entgegenwirken. Die Vorspannung beeinflusst somit wesentlich das Tragverhalten im Gebrauchszustand, und daher steht im Spannbeton das Bemühen um diesen Gebrauchszustand an erster Stelle. Man hat es in der Auswirkung auf den Bauteil immer mit einer Differenz zwischen Lastspannungen und Vorspannung zu tun, und zwar sind es Differenzen von zwei fast gleich grossen Zahlen, die gegenüber Ungenauigkeiten besonders empfindlich sind. Der Ingenieur muss daher der genauen Eintragung der Vorspannung seine grösste Aufmerksamkeit widmen.

Dazu muss auch der dauernden Erhaltung des Vorspannzustandes die gleiche Bedeutung beigemessen werden. Denn der mit dem Vorspannen im Bauteil erzeugte Eigenspannungszustand wird bekanntlich durch Verformungen wie Kriechen und Schwinden sowie durch Relaxation teilweise abgebaut. Im neuen Normentext wird auf diese unbestrittene Forderung nach richtiger Erzeugung und dauernder Erhaltung des Vorspannzustandes besonderes Gewicht gelegt. So sind neben anderem detaillierte Angaben über Auswahl und Prüfung der Spannstähle sowie über deren zuverlässige Verankerung aufgeführt. Ebenso sind Hinweise über den Einbau der Spannglieder, über die Genauigkeit beim Vorspannen sowie über die Injektion der Hüllen im Normentext vorhanden. Auch auf die Probleme der Einleitung und Umlenkung der Vorspannkräfte in einem Konstruktionsteil wird besonders aufmerksam gemacht.

Im Hinblick auf die Bemessung von Bauteilen aus vorgespanntem Beton enthalten die Normen einige wesentliche Neuerungen. Es wird unterschieden zwischen «Spannbeton» und «Teilweise vorgespanntem Beton». In Bauteilen aus «Spannbeton» treten unter grösster Gebrauchslast keine oder nur kleine Zugspannungen auf, so dass mit einem homogenen, rissefreien Querschnitt gerechnet werden kann. Diese auch unter dem Namen «volle Vorspannung» bekannte Ausführungsart war in den bisherigen Normen einzig zugelassen. In der Konstruktionspraxis hat es sich gezeigt, dass man mit der Forderung nach voller Vorspannung nicht immer die beste technische und wirtschaftliche Lösung erhält. Auch gibt es Fälle, wo es wenig Sinn hat, für selten vorkommende, ungünstigste Lastkombinationen die volle Vorspannung anzuwenden. Bei der neu vorgeschlagenen Kategorie «Teilweise vorgespannter Beton» sind nun nicht die Zugspannungen begrenzt, sondern die am Zugrand vorhandenen Dehnungen werden klein gehalten. Es ist bekannt, dass die am homogenen Querschnitt berechneten Zugspannungen kein richtiges Mass für die Grösse der eventuell auftretenden Risse darstellen. Daher ist es richtiger, wenn durch Niedrighalten der Betondehnung oder, was auf das selbe herauskommt, durch Begrenzung der Spannungen in den am Zugrand liegenden Stählen die eventuell auftretenden Risse klein gehalten werden. Im Gegensatz zum Spannbeton muss aber beim teilweise vorgespannten Beton mit einem eingerissenen Querschnitt gerechnet werden.

In Bild 1 sind die Unterschiede des Spannungsnachweises für die beiden Ausführungsarten schematisch dargestellt. Im «Spannbeton» sind üblicherweise die Spannungen unmittelbar nach dem Vorspannen und die Spannungen im Endzustand für ungünstigste Lastfälle nachzuweisen. Diese Randspannungen dürfen die zulässigen Werte nicht überschreiten. Beim «Teilweise vorgespannten Beton» sind die ungünstigsten Spannungen nach dem Vorspannen und auch die unter Dauerlasten auftretenden grössten Spannungen am homogenen Querschnitt nachzuweisen und unterhalb den zulässigen Werten zu halten. Man will also unter den dauernd wirkenden Lasten volle Vorspannung im Bauteil haben.

Für die ungünstigsten Lastkombinationen ist ein Nachweis der Spannungen unter Annahme eines eingerissenen Querschnittes zu leisten. Die Vorspannkraft wirkt dabei als Normalkraft im Querschnitt, d. h. wir haben es dabei mit dem Fall der Biegung mit Axialkraft zu tun. Genau genommen ist dabei als Normalkraft die sogenannte «Spannbett-Kraft», d. h. diejenige Kraft, die die Vorspannung im Querschnitt aufhebt, einzuführen. Die in den am Rand liegenden Stählen auftretenden Spannungen dürfen den Wert von 1500 kg/cm² nicht überschreiten. Damit besteht bei richtiger konstruktiver Ausbildung Gewähr, dass nur feine, unschädliche Risse auftreten, und dass auch der Spannungszuwachs in den Spannstählen unterhalb der Ermüdungsfestigkeit bleibt.

Es ist bekannt, dass bei vorgespannten Konstruktionen die Einhaltung der Spannungen im Gebrauchszustand keine Gewähr für eine ausreichende Bruchsicherheit der Konstruktion bietet. Man muss also die Bruchsicherheit gesondert nachweisen. In Bild 2 ist der in den Normen verlangte Nachweis der Biegebruchsicherheit dargestellt. Wir gehen dabei von den im Gebrauchszustand vorhandenen ungünstigen Schnittkräften sowie vom Bruchwiderstand des Querschnittes aus. Letzterer wird in bekannter Art, wie in Bild 2 angegeben, ermittelt. Der Sicherheitsnachweis besteht nun darin, dass dieser theoretisch ermittelte Bruchwiderstand, durch einen Faktor 1,3 dividiert, grösser sein muss, als die mit dem Faktor 1,4 vergrösserten Schnittkräfte. Dabei werden nur die Schnittkräfte aus Lasten und nicht diejenigen aus Vorspannung vergrössert. Für den Fall, dass M_g und M_p verschiedene Vorzeichen haben, gibt oft eine 1,4fache Erhöhung von M_p allein ungünstigere Werte. Der hier vorgeschlagene Sicherheitsnachweis verwendet somit einen Sicherheitskoeffizienten $s_2 = 1{,}3$ für Baustoffqualität und Ausführungsunsicherheit und einen Faktor $s_1 = 1{,}4$ für Laststeigerung. Natürlich muss die Gesamtsicherheit $s = s_1 \cdot s_2$ immer mindestens den Wert von 1,8 erreichen.

Es sei noch erwähnt, dass im teilweise vorgespannten Beton der erforderliche zusätzliche Stahlquerschnitt *Fe* meist durch den Sicherheitsnachweis bestimmt ist. Man wird also über den Sicherheitsnachweis zuerst diesen Stahlquerschnitt ermitteln und anschliessend kontrollieren, ob die unter Gebrauchslast bei gerissenem Querschnitt auftretenden Stahlspannungen σ_e kleiner als 1500 kg/cm² sind. Damit wird die Bemessung sehr vereinfacht.

Natürlich müssen vorgespannte Konstruktionen auch eine ausreichende Sicherheit gegen das vorzeitige Auftreten eines Schubbruches aufweisen. Bekanntlich haben sich gerade in den letzten Jahren verschiedene Forscher mit Schubbruchtheorien befasst. Bei uns sind vor allem die Arbeiten von Prof. *F. Leonhardt* und Dr. *R. Walther* bekannt geworden. Auch Prof. *B. Thürlimann* hat interessante Bemessungsvorschläge ausgearbeitet, welche in die Merkblätter der neuen Normen aufgenommen wurden. Eine allgemein anwendbare Schubbruchtheorie

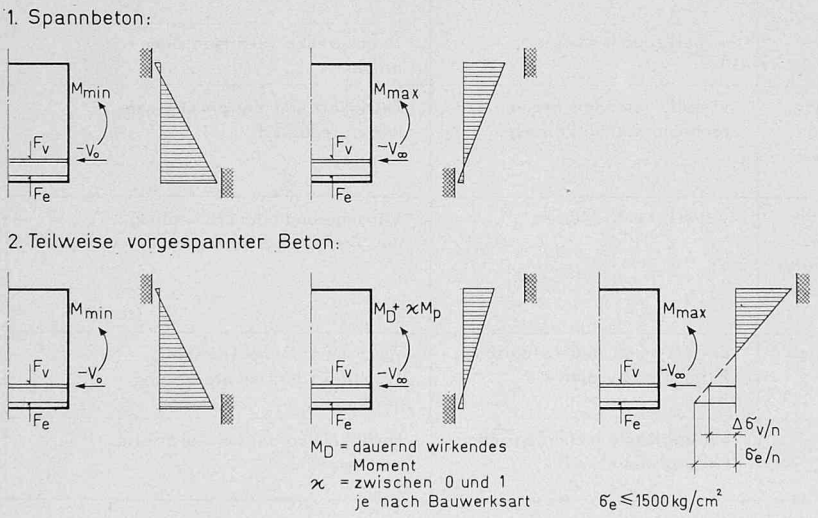
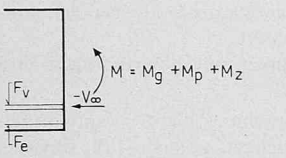
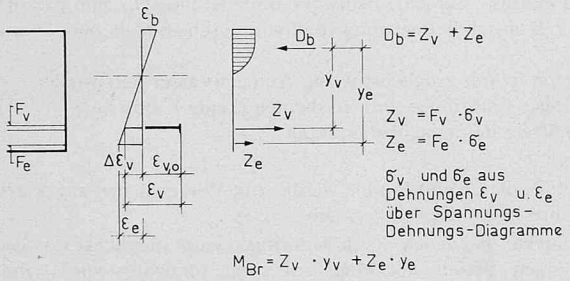


Bild 1. Spannungsnachweise

Schnittkräfte im Gebrauchszustand



Bruchwiderstand des Querschnittes

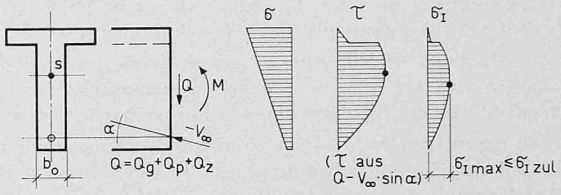


Sicherheitsnachweis

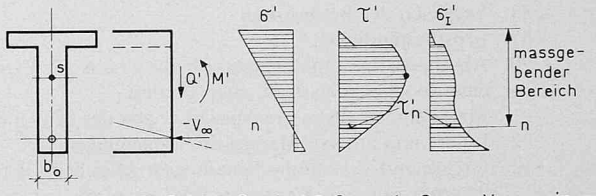
$$\frac{M_{Br}}{1{,}3} > 1{,}4\,(M_g + M_p) + 0{,}8\,M_z$$

Bild 2. Biegebruchsicherheit

Spannungen im Gebrauchszustand



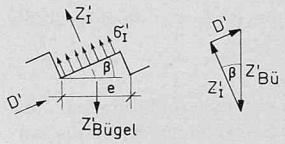
Spannungen unter vergrösserten Schnittkräften



$Q' = 1{,}4\,(Q_g + Q_p) + Q_v + 0{,}8\,Q_z$ worin $Q_v = V_\infty \cdot \sin\alpha$

Schubnachweis

1. Betonquerschnitt: $\tau'_{max} \leq \tau'_{zul} = 2{,}5\sqrt{\beta_{w,28}}$
2. Schubbewehrung:



Zugkraft Z'_I ist durch Stähle (zB. Bügel) mit Spannungen $\sigma'_e \leq \sigma_{2,0}/1{,}3$ aufzunehmen. ($\sigma_{2,0}$ = Streckgrenze der Stähle)

Bild 3. Schubnachweis

hat sich in der Praxis jedoch bis heute noch nicht durchgesetzt.

In der jetzigen Norm ist bekanntlich einzig ein Nachweis der Hauptzugspannungen unter Gebrauchslast verlangt, wie das in Bild 3 dargestellt ist. Sofern diese Hauptzugspannungen den Wert von 8 bis 10 kg/cm² überschreiten, müssen die gesamten Hauptzugkräfte durch Stähle aufgenommen werden. Es ist nun so, dass die Hauptzugspannungen im Gebrauchszustand häufig sehr klein sind, und dass damit eine rechnerische Schubbewehrung entfällt. Das kann aber unter Umständen Konstruktionen ergeben, die bei einer Steigerung der Last über die Gebrauchslast hinaus zu Schaden kommen.

Im neuen Normentext wird ein besonderer «Schubnachweis» und nicht ein eigentlicher Schubbruch-Sicherheitsnachweis gefordert (Bild 3). Zunächst wird wie bisher verlangt, dass die Hauptzugspannungen im Gebrauchszustand einen zulässigen Wert nicht überschreiten. Im weitern müssen auch die Hauptzugspannungen, welche unter den mit dem Faktor 1,4 vergrösserten Schnittkräften entstehen, nachgewiesen werden. Dabei sind auch hier nur aus Lasten bewirkte Schnittkräfte zu vergrössern. Somit ist der günstige Einfluss der Vorspannung hier bedeutend geringer als für den Gebrauchszustand.

Der eigentliche Schubnachweis besteht einmal in einer Kontrolle, ob die unter vergrösserten Schnittkräften vorhandene Schubspannung τ'_{max} einen zulässigen Wert nicht überschreitet. Durch diesen Nachweis soll eine genügende Abmessung des Betonquerschnittes gewährleistet werden. Dazu wird die Schubbewehrung aus den unter vergrösserten Schnittkräften auftretenden Hauptzugspannungen σ'_I bzw. den Hauptzugkräften Z'_I ermittelt. Die in den Bügeln auftretenden Stahlspannungen sollen dabei den Wert $\sigma_{2,0}/1{,}3$ nicht übersteigen. Sofern σ_I' kleiner als 10 kg/cm² ist, kann ein Nachweis der Schubbewehrung entfallen. Auch beim Schubnachweis vergleicht man somit ähnlich wie beim Biegebruchnachweis die Beanspruchungen unter erhöhten Schnittkräften mit reduzierten Festigkeitswerten. Natürlich muss man in der praktischen Berechnung nicht jedesmal die Verteilung der Hauptzugspannungen über den Querschnitt berechnen, sondern es genügt, den in der Nullinie liegenden Wert der Schubspannungen τ_n' zu ermitteln. In vielen Fällen kann auch die Kontrolle der Hauptzugspannungen im Gebrauchszustand unterbleiben, da schon die Schubspannungen τ_{max} kleiner als 20 kg/cm² sind. Der vorgeschlagene Schubnachweis wird allerdings dazu führen, dass rechnerisch mehr Bügel in vorgespannten Konstruktionen erforderlich sind, als das bisher der Fall war.

Adresse des Verfassers: *Max Birkenmaier*, dipl. Ing., 8044 Zürich, Restelbergstrasse 105

Einige Probleme bei der Erstellung von Massivbauten

DK 389.6:624.012.45

Von **Walter A. Schmid,** dipl. Ing., Uetikon am See

Erweiterte Fassung des Kurzreferates, gehalten am 15. Oktober 1966 an der ETH anlässlich der Studientagung über Neuerungen in den Revisionsentwürfen der SIA-Normen Nr. 160, 161 und 162, durchgeführt von der SIA-Fachgruppe der Ingenieure für Brückenbau und Hochbau

Die auf der Baustelle direkt eingesetzten Fachleute dürfte interessieren, welche Artikel des Revisionsentwurfes der SIA-Norm 162 neben Berechnung und Konstruktion vor allem die *Ausführung* von Bauwerken aus Beton, Stahl- und Spannbeton betreffen. Es kann sich nicht darum handeln, diese Artikel hier zu kommentieren. Berechnung, Konstruktion und Ausführung der Bauten greifen wie Zahnräder ineinander – glücklicherweise, möchte ich sagen. Es ist daher für jeden Baufachmann unerlässlich, dass er den ganzen Normenentwurf sorgfältig studiert. Für ein erstes Sichzurechtfinden notiere ich lediglich diejenigen erneuerten Artikel, in denen unmissverständlich der Unternehmer zuerst angesprochen wird.

Unter *Abschnitt I «Allgemeine Bestimmungen»* werden in Art. 3 und 4 Haftung und Verantwortlichkeit festgelegt.

Im *Abschnitt II «Baustoffe»* betreffen den Praktiker die Art. 6 über Zuschlagstoffe, sowie Art. 8 und 9 über Beton und die verlangten Festigkeiten.

Beim *Abschnitt III «Stahlbeton»* seien erwähnt Art. 17.1, in welchem auf die unvermeidliche, jedoch zu beschränkende Rissebildung hingewiesen wird, Art. 17.7 und 40, die die Verformungen behandeln, und Art. 42, 43.4 und 44, welche die bauliche Ausbildung der Stahleinlagen betreffen.

Abschnitt V «Spannbeton» gibt in den Art. 66 bis 72 Hinweise für die Ausführung der Spannbetonbauten, während ganz allgemein *Abschnitt VIII «Ausführung der Bauten»*, Art. 89 bis 96, an den Praktiker appelliert.

In *Abschnitt IX* wird die *«Prüfung der Baustoffe»* behandelt,