



Bild: Reinhard Mederer, Firmengruppe Max Bögl

Dr.-Ing. Joachim Kretz

Spannbetonbau - Spannbettbinder

Teil 1: Grundlagen zum Spannbetonbau nach EC 2

Die Vorspannung von Stahlbetonbauteilen verfolgt das Ziel der Vermeidung oder der Verminderung der Rissbildung. Durch die aufgebrauchte Vorspannung wird die Zugzone des Bauteils eliminiert bzw. verringert. Dies führt zu einer Verbesserung der Gebrauchstauglichkeit infolge einer Erhöhung der Bauteilsteifigkeit, einer Verringerung der Verformungen und einer Erhöhung der Dichtigkeit. Im Ergebnis ermöglicht dies schlankere und/oder wirtschaftlichere Bauteile. Im üblichen Hochbau stellen im Fertigteilwerk hergestellte Spannbettbinder schlanke und wirtschaftliche Bauteile zur Überbrückung großer Spannweiten dar.

Spannbeton ist ein Stahlbeton mit einer zusätzlichen künstlich aufgebrauchten Längsdruckkraft. Die bereits vom Stahlbeton bekannten Baustoffeigenschaften gelten daher weiter. Auch die Bemessung von Spannbetonbauteilen im Grenzzustand der Tragfähigkeit unterscheidet sich im Allgemeinen nicht von der Bemessung der Stahlbetonteile. Im Folgenden werden deshalb nur diejenigen zusätzlichen Baustoff-Merkmale behandelt bzw. die Besonderheiten der Nachweise mit Vorspannung erläutert, die beim Spannbeton relevant sind.

Der Fokus dieses Beitrags liegt in der Behandlung von Spannbettbindern, also im Spannbett hergestellte, mit

geraden Litzen vorgespannte Trägerquerschnitte mit sofortigem Verbund. Um jedoch zumindest einen Überblick über weitere Vorspanntechnologien zu erhalten, werden diese nachfolgend aufgeführt ohne sie näher zu erläutern.

Der Gesamtartikel gliedert sich in zwei Teile. Während sich der erste Teil des Artikels mit den Grundlagen des Spannbetons und den Schnittgrößen infolge Vorspannung beschäftigt, werden im zweiten Teil neben den Nachweisen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit und den Grundlagen zur Bemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit, Regeln zur baulichen Durchbildung sowie die Kippstabilität der schlanken Trägersysteme behandelt.

1 Grundlagen

1.1 Normung (DIN EN 1992-1-1, Zulassungen)

Spannbetonbauteile des Hochbaus sind nach DIN EN 1992-1-1 [1] und dem zugehörigen Nationalen Anhang [2] auf der Grundlage des semiprobabilistischen Sicherheitskonzepts nachzuweisen und zu bemessen. Die für den Brückenbau geltenden Regelungen sind in DIN EN 1992-2 [3] und dem zugehörigen Nationalen Anhang enthalten. Weiterführende Hinweise zu Spannbetonkonstruktionen enthält Heft 600 des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) [7]. Die Regelungen in DIN EN 1992-1-1 umfassen sämtliche Tragwerke des Hoch- und Ingenieurbaus, wobei die Bauteile aus Normalbeton aus den Festigkeitsklassen C12/15 bis C100/115 oder aus Leichtbeton der Festigkeitsklassen LC12/13 bis LC80/88 bestehen können. Neben den oben genannten grundlegenden Regelwerken der DIN EN 1992-1-1 und der DIN EN 1992-2 sind für den Entwurf und die Bemessung von Spannbetonbauteilen noch weitere Vorschriften zu beachten. Im Wesentlichen sind dies die bauaufsichtlichen Zulassungsbescheide des Deutschen Instituts für Bautechnik. In diesen Zulassungsbescheiden werden die Anwendungsregeln und die Baustoffkennwerte der verschiedenen Spannstahlsorten und Spannverfahren festgelegt. Darüber hinaus sind für die Zulassung von Spannverfahren die europaweit gültigen EOTA-Anforderungen zu beachten.

1.2 Grundprinzip und Ziel der Vorspannung

Bei Betrachtung des Grenzzustandes der Tragfähigkeit liegen in einem biegebeanspruchten Stahlbetonbauteil eine Druck- und eine Zugzone vor. Während der Beton in der Druckzone die Kraft über Druckspannungen überträgt, reißt er in der Zugzone auf. Die Zugkraft wird alleine durch Zugspannungen der Stahlbetonbewehrung übertragen. Infolge des Aufreißens des Betons verringert sich die Steifigkeit des Querschnitts, die Verformung vergrößert sich.

Um dem Aufreißen des Betons entgegen zu wirken, werden an jenen Stellen im Bauteil, an denen aus äußeren Einwirkungen Zugbeanspruchungen entstehen würden, Druckspannungen erzeugt, so dass bei Überlagerung aller Spannungen keine oder nur sehr geringe Zugspannungen im Beton auftreten. Der Grundgedanke der Vorspannung von Betonbauteilen ist es, durch das (Vorspannen) Aufbringen eines definierten Eigenspannungszustandes den aus äußeren Einwirkungen entstehenden Beanspruchungen entgegen zu wirken, mit dem Ziel, die Rissbildung zu verhindern oder zumindest zu minimieren.

Das Grundprinzip der Vorspannung wird in Bild 1 an einem Einfeldträger mit gerader exzentrischer Spanngliedführung erläutert. Infolge der konstanten Exzentrizität der Vorspannung entsteht über die Stablänge ein gleichmäßiger Spannungszustand aus Vorspannung. Unter der Einwirkungskombination Eigengewicht G und Vorspannung P bleibt der Querschnitt in Feldmitte vollständig überdrückt. Ob oder ggf. in welcher Größe unter einer zusätzlichen veränderlichen Einwirkung Q Zugspannungen am Querschnittsrand auftreten, kann gezielt durch die Größe der Vorspannung gesteuert werden.

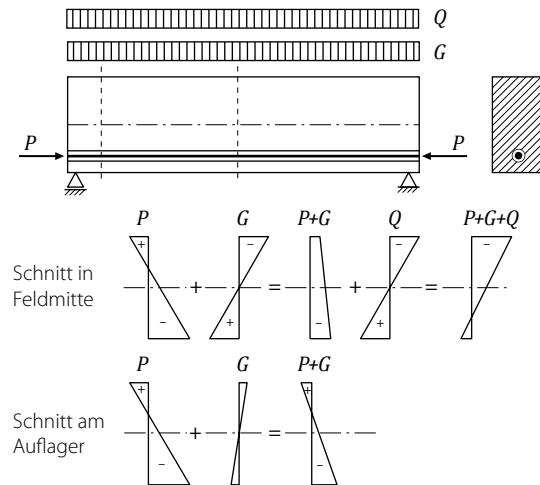


Bild 1. Grundprinzip der Vorspannung nach [8]

Im Auflagerbereich wirkt dem Exzentrizitätsmoment aus der Vorspannung nur ein geringes Moment aus äußeren Lasten entgegen, so dass sich unter der ständigen Einwirkungskombination ($G + P$) Zugkräfte an der Querschnittsoberseite einstellen.

Die Auswirkungen der Vorspannung hängen nicht nur von der Größe der Vorspannkraft, sondern auch wesentlich von der Form der Spanngliedführung ab.

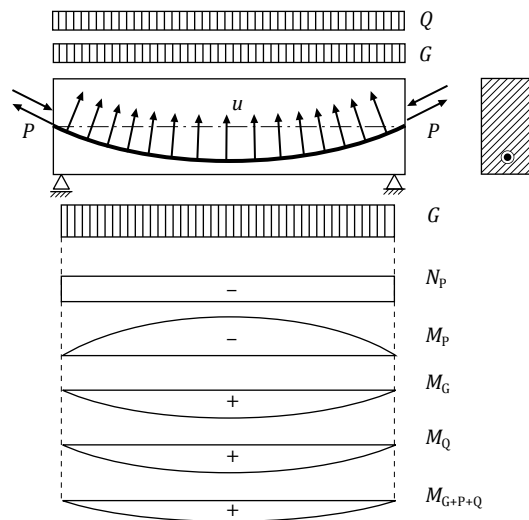


Bild 2. Vorspannen mit gekrümmter Spanngliedführung nach [8]

Eine parabolförmige Spanngliedführung führt unter der Annahme einer konstanten Vorspannkraft zu einem konstanten Umlenkdruk u und damit zu einem parabolförmigen Biegemoment (Bild 2). Diese Form der Spanngliedführung ermöglicht ein gezieltes Einstellen der Vorspannkraft, so dass Biegemomente aus Eigenlasten und Verkehrslasten neutralisiert werden, ohne dass Zugkräfte im Querschnitt entstehen. Eine wesentliche Ingenieuraufgabe liegt daher im Finden einer optimierten Spanngliedführung und der Größe der Vorspannkraft.

Da die Vorspannung einem inneren Eigenspannungszustand entspricht, entstehen bei statisch bestimmt gelagerten Systemen keine Auflagerkräfte – lediglich Verformungen – aus Vorspannung.

1.3 Vorteile der Anwendung von Spannbeton

Unter Beanspruchung folgen die einzelnen Werkstoffe eines Bauteils den jeweiligen materialabhängigen Werkstoffgesetzen. Ein auf Zug beanspruchter Bewehrungsstahl verhält sich bis zum Erreichen seiner Streckgrenze linear-elastisch. Mit zunehmender Dehnung steigt also die Spannung im Bewehrungsstahl. Die hohen Bewehrungsspannungen werden erst bei großen Dehnungen erreicht. In einem Stahlbetonbauteil sind große Dehnungen mit daraus resultierenden Rissbreiten bzw. Tragwerksverformungen verbunden. Unter Gebrauchslastniveau sind die hohen Stahlspannungen in einem Stahlbetonbauteil nicht nutzbar.

Infolge der Vordehnung der Spannstähle können die hohen Festigkeiten der Spannstähle – im Gegensatz zum Stahlbeton – sowohl im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit als auch im Grenzzustand der Tragfähigkeit gezielt genutzt werden. Die optimierte Ausnutzung der Werkstoffeigenschaften hochfester Baustoffe (Beton, Spannstahl) führt zu einer Verringerung der Querschnittsabmessungen sowie der Eigenlasten und ermöglicht schlankere Tragkonstruktionen und größere Spannweiten. Weiterhin wird durch die Vermeidung bzw. Verminderung der Rissbildung infolge Vorspannung die Gebrauchstauglichkeit verbessert und die Dichtigkeit der Betonkonstruktion erhöht.

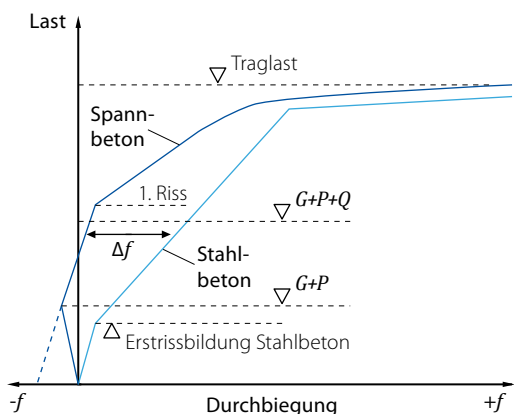


Bild 3. Last-Verformungsverhalten von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen nach [8]

Die Vorspannmaßnahmen können ein Verbleiben des Querschnitts im ungerissenen Zustand (Zustand I) sicherstellen. Bei Tragwerken mit Ermüdungsbeanspruchung bleiben die Spannungsschwankungen in der Bewehrung infolge des ungerissenen Zustands des Betons klein. Die Ermüdungsfestigkeit lässt sich somit durch eine Vorspannung günstig beeinflussen.

Vergleichend ist in Bild 3 das Last-Verformungsverhalten von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen dargestellt. Durch die Rissbildung und die zeitabhängigen Verformungen aus Kriechen und Schwinden werden die Tragwerksverformungen von Stahlbetonkonstruktionen beeinflusst.

Aufgrund der größeren Bauteilsteifigkeit des Spannbetonbauteils tritt eine Rissbildung erst unter einem deutlich höheren Lastniveau auf; die Verformung ist geringer.

1.4 Arten der Vorspannung

Das Vorspannen mit hochfesten Spannstählen hat sich in der Praxis als wirtschaftlich erwiesen. Unterschieden werden die Arten der Vorspannung mit hochfesten Spannstählen nach folgenden Merkmalen:

- Unterscheidung nach der Verbundwirkung zwischen Spannstahl und Beton (Vorspannung mit / ohne Verbund)
- Unterscheidung nach der Lage des Spanngliedes (interne / externe Vorspannung)
- Unterscheidung nach dem Zeitpunkt der Herstellung eines wirksamen Verbundes (Vorspannung mit sofortigem / nachträglichem Verbund)
- Unterscheidung nach dem Zeitpunkt des Spannens (Spannen im Spannbett / Spannen gegen den erhärteten Beton)

1.4.1 Vorspannung mit sofortigem Verbund (Spannbettvorspannung)

Vorspannung mit sofortigem Verbund wird üblicherweise zur Herstellung von Spannbetonfertigteilen verwendet. Der Spannstahl wird bereits vor dem Betonieren in einem Spannbett zwischen festen Widerlagern gedehnt und damit vorgespannt. Nach dem Betonieren und Erhärten des Bauteils wird die Verankerung der Spannglieder an den Widerlagern gelöst. Durch die Verbundwirkung des Spannstahls mit dem Beton kann dieser nicht mehr in einen spannungslosen Zustand zurückkehren. Bei diesem Vorgang wird der Beton elastisch gestaucht; er steht damit unter Druckspannung. Infolge der Betonstauchung geht die Stahldehnung um den Betrag der Betonstauchung in Höhe des Spanngliedes zurück. Dies führt zu einem geringfügigen Spannkraftverlust.

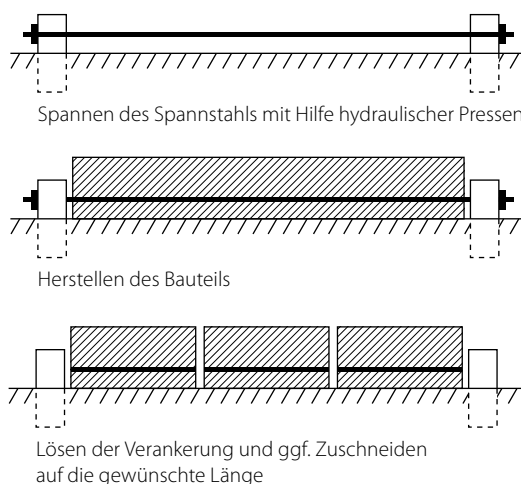


Bild 4. Vorspannen mit sofortigem Verbund; Prinzipdarstellung nach [8]

Mittels Verbundspannungen und zusätzlich durch Veränderung des Durchmessers des Spanndrahtes (Hoyer-Effekt) wird die Spannkraft am Bauteilende auf den Beton übertragen. Um eine hohe Verbundfestigkeit gewährleisten zu können, damit die Kraftübertragung vom Spannglied auf den Beton auf einer möglichst geringen Krafteinleitungslänge erfolgen kann, ist eine entsprechende Oberflächenbeschaffenheit des Spanngliedes erforderlich.

An dieser Stelle wird auf das Kapitel „Verbundverhalten von Spannbewehrung“ im 2. Teil des Artikels verwiesen, in dem das Verbundverhalten ausführlicher beschrieben wird.

Üblicherweise werden im Spannbett geradlinige Spanngliedführungen realisiert. In Sonderfällen ist jedoch auch eine polygonale Spanngliedführung mit Hilfe von Umlenkvorrichtungen möglich.

1.4.2 Vorspannung mit nachträglichem Verbund

Vorspannung mit nachträglichem Verbund wird im Regelfall für Ortbetonbauteile verwendet. Hierbei werden in ungespanntem Zustand in Hüllrohren verlegte Spannglieder gegen den erhärteten Beton vorgespannt und anschließend an der Spannstelle verankert.

Im Gegensatz zur Vorspannung mit sofortigem Verbund können die Spannglieder innerhalb des Tragwerks unter Beachtung von Mindestkrümmungsradien nahezu beliebig im Bauteil geführt werden. Dadurch ist es möglich, die Spanngliedführung hinsichtlich des Momentenverlaufs zu optimieren.

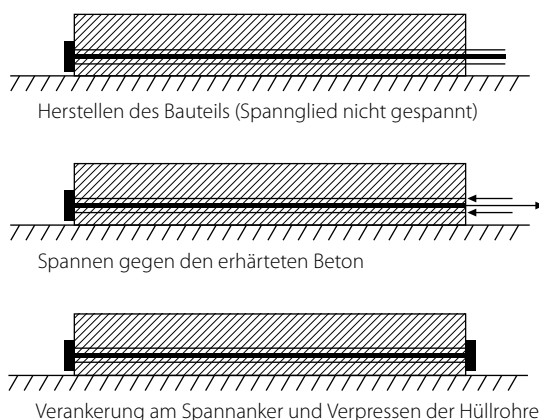


Bild 5. Vorspannen mit nachträglichem Verbund; Prinzipdarstellung nach [8]

1.4.3 Vorspannung (interne / externe) ohne Verbund

Bei Vorspannung ohne Verbund wird das Spannglied in einem Hüllrohr geführt, wobei der verbleibende Zwischenraum mit einer Korrosionsschutzmasse gefüllt wird. So können keine Verbundspannungen übertragen werden.

Wird das Spannglied innerhalb des Betonbauteils (interne Vorspannung) geführt, ist eine optimierte Spanngliedführung wie bei einer Spanngliedführung mit nachträglichem Verbund möglich. Nach dem Einbetonieren werden die Spannglieder angespannt und an ihren Enden verankert. Eine Kontrolle der Spannkraft, ein Nachspannen oder ggf. ein Austausch ist dadurch jederzeit möglich.

Extern vorgespannte Spannglieder, d. h. außerhalb des Bauteils geführte Spannglieder, werden lediglich mit dem Betonbauteil an den Verankerungs- und Umlenkstellen verbunden. Die Verbundwirkung wird im Wesentlichen durch die an den Anker- und Umlenkstellen eingetragenen Kräfte erzeugt.

2 Vorspanntechnologie

Vorgespannt wird mit Spann Stahl, der in den Lieferformen Litze, Draht oder Stab verwendet wird. Lediglich bei Vorspannung mit sofortigem Verbund (Spannbettvorspannung) wird der Spann Stahl alleine verwendet. Neben dem Spann Stahl gehören weitere Teile wie Hüllrohr, Ankerkörper und ggf. Kopplungen zu einem Spannglied. Alle diese Bestandteile gehören zu einem „Spannverfahren“. Für die Spannbettvorspannung werden Litzen, gerippte oder profilierte (Verbundspannungen) Spanndrähte verwendet. Für Vorspannung mit nachträglichem Verbund oder ohne Verbund kommen Litzen, Stabspannstähle oder glatte Spannstähle zum Einsatz.

2.1 Spannstahl

Damit Spannkraftverluste aus Bauteilverkürzung, Kriechen und Schwinden sowie Relaxation möglichst gering bleiben, muss der Spannstahl eine hohe Festigkeit aufweisen. Die gegenüber Betonstahl höhere Stahlqualität ergibt sich aus der Anpassung der chemischen Zusammensetzung des Stahls (Erhöhung des Kohlenstoffgehalts) und der Verbesserung der Gefügestruktur z. B. durch Wärmebehandlung oder Kaltverformung. Es ist streng darauf zu achten, dass hierbei die Gleichmaßdehnung nicht absinkt, so dass der Spannstahl nicht mehr ausreichend duktil wäre.

Werkstoffkennwerte

Die Werkstoffkennwerte der einzelnen Stahlsorten können den bauaufsichtlichen Zulassungsbescheiden entnommen werden, durch die die Anwendung der jeweiligen Stähle und Spannverfahren in Deutschland geregelt ist. Wegen des hohen Kohlenstoffgehalts sind Spannstähle nicht schweißbar.

In Bild 6 sind Spannungs-Dehnungs-Linien verschiedener Stähle im Vergleich angegeben, während in Bild 7 Spannungs-Dehnungs-Linien ausgewählter Spannstähle dargestellt sind.

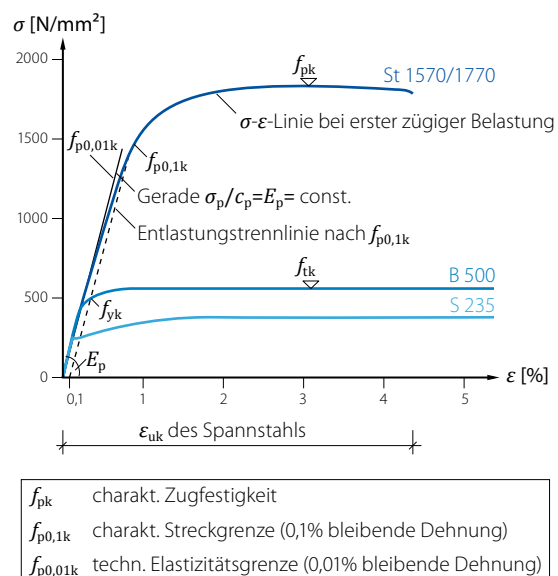


Bild 6. Spannungs-Dehnungs-Linien verschiedener Stähle im Vergleich nach [9]

Die Werkstoffeigenschaften von Spannstählen werden durch nachfolgende Kenngrößen charakterisiert:

f_{pk}	charakteristische Zugfestigkeit
$f_{p0,1k}$	charakteristische Stahlspannung bei 0.1% bleibender Dehnung
$f_{p0,2k}$	charakteristische Stahlspannung bei 0.2% bleibender Dehnung
ϵ_{uk}	Dehnung bei Höchstlast (Gleichmaßdehnung)
ϵ_{10}	Bruchdehnung über eine Messlänge des 10-fachen Durchmessers
E_p	Elastizitätsmodul

In Deutschland werden meist Spannstähle mit Zugfestigkeiten von 1.860 N/mm² (Litzen) bzw. 1.770 N/mm² (Drähte) oder 1.050 N/mm² (Stäbe) verwendet.

Der Elastizitätsmodul beträgt bei Litzen 195.000 N/mm², bei den anderen Spannstählen 205.000 N/mm². Sofern in der Zulassung des Spannverfahrens ein anderer Wert steht, ist dieser maßgebend.

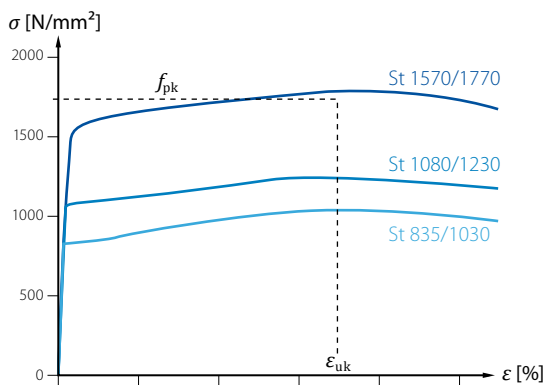


Bild 7. Spannungs-Dehnungs-Linien ausgewählter Spannstähle nach [8]

Für die statische Berechnung (linear-elastisch) kann das Werkstoffgesetz entsprechend Bild 8 mit dem vereinfachten / idealisierten Verlauf angenommen werden. Bei nichtlinearen Verfahren der Schnittgrößenermittlung ist eine wirklichkeitsnahe Spannungs-Dehnungs-Linie zu verwenden [1].

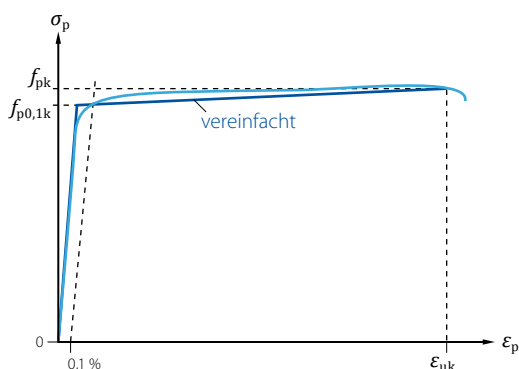


Bild 8. Spannungs-Dehnungs-Linien des Spannstahls für die Schnittgrößenermittlung nach [1, Bild NA.3.10.1]

2.2 Spannverfahren

In Deutschland werden Spannverfahren allgemein bauaufsichtlich vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) oder von Mitgliedern der European Organisation for Technical Approvals (EOTA) zugelassen und dürfen nur mit einer derartigen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) verwendet werden. Die Zulassungen enthalten nach [8] Angaben über:

- die im Spannverfahren verwendete Stahlsorte und die zugehörigen Materialeigenschaften
- die Anzahl und die Querschnittsform der verwendeten Drähte oder Litzen je Spannlied und den zugehörigen Hüllrohrquerschnitt
- Art, Form und Abmessungen der Verankerungskörper in Abhängigkeit der Vorspannkraft und der Druckfestigkeit des Betons
- die zulässigen Mindestabstände der Ankerkörper untereinander und zum Bauteilrand
- die zusätzlich erforderliche Betonstahlbewehrung im Verankerungsbereich
- die zulässige Vorspannkraft beim Anspannen zum Zeitpunkt $t = 0$
- die erforderliche Mindestfestigkeit des Betons zum Zeitpunkt des Vorspannens
- den auftretenden Schlupf in der Verankerung
- den Reibungsbeiwert und den ungewollten Umlenkwinkel der Spannlieder zur Ermittlung von Spannkraftverlusten
- den zulässigen Krümmungshalbmesser des Spannlieds im Bauwerk
- die erforderliche Ermüdungsfestigkeit von Verankerungen und Kopplungen

Zusätzlich zu den Angaben der Zulassungen sind die Bemessungsregeln des Eurocode 2, d. h. der DIN EN 1992-1-1 [1], der DIN EN 1992-2 [3] und der entsprechenden Nationalen Anhänge [2, 4] zwingend zu beachten.

Eine Übersicht der aktuell gültigen deutschen und europäischen Zulassungen ist auf der Internetpräsenz des DIBt (www.dibt.de) zu finden.

Auf eine Beschreibung der weiteren Teile eines Spannliedes (Anker, Hüllrohr, ...) und die möglichen Spannliedverankerungen wird an dieser Stelle verzichtet und auf die weiterführende Literatur [8, 9] verwiesen.

3 Schnittgrößen infolge Vorspannung

3.1 Ermittlung der Vorspannkraft

Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit werden die Nachweise mit den charakteristischen Werten der Einwirkungen und der Widerstände geführt. Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit sind mit Bemessungswerten der Einwirkungen und Widerständen, die durch Material-Teilsicherheitsbeiwerte dividiert werden, zu führen. Nachfolgend werden die Werte der Vorspannkraft, die für die Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit und der Tragfähigkeit anzusetzen sind, erläutert.

3.1.1 Mittelwert der Vorspannkraft

Alle Werte der Vorspannkraft basieren auf dem Mittelwert der Vorspannkraft. Zu einem bestimmten Zeitpunkt t bestimmt sich der Mittelwert der Vorspannkraft $P_{m,t}$ zu:

$$P_{m,t} = P_{max} - \Delta P_{el} - \Delta P_{c+s+r}(t) - \Delta P_{\mu}(x) - \Delta P_{sl} \quad (1)$$

mit

$P_{(m,t)}$	Mittelwert der Vorspannkraft zur Zeit t an einer Stelle x längs des Bauteils
P_{max}	maximale Kraft am Spannende während des Spannvorgangs
ΔP_{el}	Spannkraftverlust infolge elastischer Verformung des Bauteils bei der Spannkraftübertragung
$\Delta P_{c+s+r}(t)$	Spannkraftverluste infolge Kriechens, Schwindens und Relaxation zur Zeit t
$\Delta P_{\mu}(x)$	Spannkraftverluste infolge Reibung
ΔP_{sl}	Spannkraftverluste infolge Verankerungsschlupf (nicht bei sofortigem Verbund)

Nach DIN EN 1992-1-1 ist die am Spannglied aufgebrachte Höchstkraft P_{max} auf folgenden Wert zu begrenzen:

$$P_{max} = A_p \cdot \sigma_{p,max} \quad (2)$$

mit

A_p	Querschnittsfläche des Spannglieds
$\sigma_{p,max}$	maximal auf das Spannglied aufgebrachte Spannung während des Spannvorgangs
$\sigma_{p,max} = \min \begin{cases} 0.80 \cdot k_{\mu} \cdot f_{pk} \\ 0.90 \cdot k_{\mu} \cdot f_{p0,1k} \end{cases}$	

Der Nationale Anhang zur DIN EN 1992-1-1 schränkt die Größe der Spannung $\sigma_{p,max}$ über den Faktor k_{μ} nochmals für den Fall ein, dass bei Vorspannung mit nachträglichem Verbund die Kontrolle der Spannkraft nicht genügend genau ist und lediglich der Spannweg exakt kontrolliert wird. Nähere Erläuterungen zum Faktor k_{μ} siehe [2].

Nach DIN EN 1992-1-1 ist neben der maximalen Pressenkraft P_{max} auch die mittlere Vorspannkraft P_{m0} zu begrenzen. Die Vorspannkraft P_{m0} bezeichnet die Kraft, die zum Zeitpunkt $t = t_0$ unmittelbar nach dem Absetzen der Pressenkraft auf den Anker oder nach dem Lösen der Verankerung (Spannen mit sofortigem Verbund) auf den Beton aufgebracht wird.

$$P_{m0} = A_p \cdot \sigma_{p,m0} \quad (3)$$

mit

A_p	Querschnittsfläche des Spannglieds
$\sigma_{p,m0}$	Spannung im Spannglied unmittelbar nach dem Spannen oder der Krafteinleitung
$\sigma_{p,m0} = \min \begin{cases} 0.75 \cdot f_{pk} \\ 0.85 \cdot f_{p0,1k} \end{cases}$	

3.1.2 Charakteristischer Wert der Vorspannkraft

In den Gebrauchstauglichkeits- und Ermüdungsnachweisen müssen nach [1] Abschnitt 5.10.9 (1) die möglichen Streuungen der Vorspannung berücksichtigt werden. Dabei dürfen die charakteristischen Werte der Vorspannung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit abgeschätzt werden zu:

$$P_{k,sup} = r_{sup} \cdot P_{m,t}(x) \quad (4)$$

$$P_{k,inf} = r_{inf} \cdot P_{m,t}(x) \quad (5)$$

mit

$P_{k,sup}$	oberer charakteristischer Wert
$P_{k,inf}$	unterer charakteristischer Wert
$P_{m,t}(x)$	Mittelwert der Vorspannung zur Zeit t an der Stelle x längs des Bauteils

Die landesspezifischen Werte r_{sup} und r_{inf} sind nach dem Nationalen Anhang anzusetzen mit:

r_{sup}	= 1.05 für sofortigen oder ohne Verbund = 1.10 für nachträglichen Verbund
r_{inf}	= 0.95 für sofortigen oder ohne Verbund = 0.90 für nachträglichen Verbund

Bei nachträglichem Verbund, bei dem Spannkraftverluste sowohl als zeitabhängige Verluste als auch als Verluste aus Reibung auftreten, sind die anzusetzenden Werte r_{sup} und r_{inf} höher, da in diesen Fällen – im Vergleich zum sofortigen oder ohne Verbund – die Streuungen größer sind.

3.1.3 Bemessungswert der Vorspannkraft

Der Bemessungswert $P_{d,t}(x)$ der Vorspannung, der für Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit zu berücksichtigen ist, ermittelt sich nach Abschnitt 5.10.8 (1) [1] zu:

$$P_{d,t}(x) = \gamma_p \cdot P_{m,t}(x) \quad (6)$$

mit

γ_p	Teilsicherheitsbeiwert für ständige und vorübergehende Bemessungssituationen
$P_{m,t}(x)$	Mittelwert der Vorspannkraft zum Zeitpunkt t an der Stelle x längs des Bauteils

Die Vorspannung wirkt im Allgemeinen günstig, so dass für Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit und für Ermüdungsnachweise nach 2.4.2.2 (1) [1] ein Wert von $\gamma_p = 1.0$ ($\gamma_{p,fav}$) zu berücksichtigen ist.

Im Nationalen Anhang [2] sind für die Schnittgrößenermittlung nach einem nichtlinearen Rechenverfahren zwei Grenzwerte für γ_p zu untersuchen. Der ungünstigere Wert ist maßgebend:

$\gamma_{p,unfav}$	= 1.20
$\gamma_{p,fav}$	= 0.83

Bei Spannbetonbauteilen mit Spanngliedern ohne Verbund muss im Allgemeinen die Verformung des gesamten Bauteils zur Ermittlung des Spannungszuwachses angesetzt werden.

Dabei sind die Mittelwerte der Baustoffeigenschaften zu verwenden. Der Bemessungswert des Spannungszuwachses $\Delta\sigma_{pd} = \Delta\sigma_p \cdot \gamma_{\Delta p}$ ist mit den maßgebenden Teilsicherheitsbeiwerten $\gamma_{\Delta p, \text{sup}}$ und $\gamma_{\Delta p, \text{inf}}$ zu bestimmen, die nach dem NDP zu 5.10.8 (3) mit nachfolgenden Werten anzusetzen sind:

$\gamma_{\Delta p, \text{sup}}$	= 1.20 bei nichtlinearen Verfahren
$\gamma_{\Delta p, \text{sup}}$	= 1.00 bei linearen Verfahren mit ungerissenen Querschnitten
$\gamma_{\Delta p, \text{inf}}$	= 0.80 bei nichtlinearen Verfahren
$\gamma_{\Delta p, \text{inf}}$	= 1.00 bei linearen Verfahren mit ungerissenen Querschnitten

3.2 Wirkung der Vorspannung

Im Spannbett vorgespannte Fertigteile werden üblicherweise mit geradlinigen Spanndrähten oder Litzen mit sofortigem Verbund hergestellt. Darüber hinaus sind keine Anker zur Krafteinleitung erforderlich, da die Vorspannkraft über Verbundwirkung in den Beton übertragen wird. Der Vollständigkeit halber wird die Wirkung der Vorspannung auf den Beton auch für Betonbauteile mit nachträglichem Verbund und gekrümmter Spanngliedführung aufgeführt, jedoch ohne die Berechnungsangaben detailliert anzugeben.

3.2.1 Grundlage

Graubner et. al. geben in [8] zwei Betrachtungsweisen für die Wirkung der Vorspannung auf den Beton an:

- **Vorspannen = Vorbelasten**

Vorspannung mittels Spanngliedern kann als eine Einwirkung aus Anker-, Umlenk- und Reibungskräften betrachtet werden, die im statischen System Schnittgrößen hervorruft (Umlenkmethode).

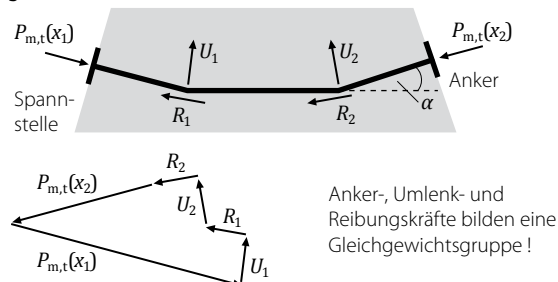


Bild 9. Anker-, Umlenk- und Reibungskräfte und ihre Wirkung auf den Beton; Prinzipdarstellung nach [8]

- **Vorspannen = Vorverformen**

Die Vorspannung wird als Eigenspannungszustand (Zugkräfte in den Spanngliedern und Druckkräfte im Beton stehen im Gleichgewicht) betrachtet, der eine Vorverformung des Querschnitts hervorruft.

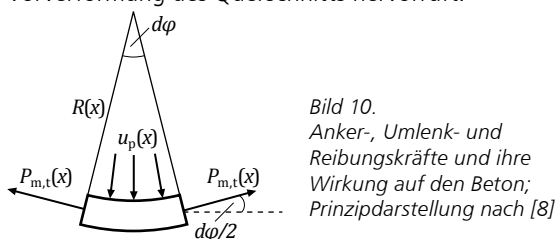


Bild 10. Anker-, Umlenk- und Reibungskräfte und ihre Wirkung auf den Beton; Prinzipdarstellung nach [8]

Die Umlenkkräfte bestimmen sich zu:

$$U_p = 2 \cdot P_{m,t} \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (7)$$

3.2.2 Spanngliedverlauf

Spannglieder werden entsprechend der Bauteilbeanspruchung geführt; d. h. die Form der Spanngliedführung ist der Momentenbeanspruchung aus den übrigen äußeren Belastungen anzupassen. Üblicherweise werden sie in Feldbereichen unten, bei Zwischenstützungen und Kragbereichen oben, angeordnet. An Endauflagern enden sie in der Systemachse.

3.2.3 Statisch bestimmte Systeme

Mit der Spanngliedführung hat man die Möglichkeit, die Beanspruchungen aus Vorspannung und äußerer Belastung aufeinander abzustimmen. Dazu weist man den Stellen der größten Biegemomente aus äußerer Belastung die größten Exzentrizitäten der Spanngliedführung zu. In statisch bestimmten Systemen können sich die Verformungen frei einstellen, so dass lediglich ein Eigenspannungszustand entsteht. Die Zugkräfte in den Spanngliedern stehen mit den Druckkräften im Beton im Gleichgewicht. Die Schnittgrößen lassen sich einfach mit den drei Gleichgewichtsbedingungen ($\sum M = 0, \sum V = 0, \sum H = 0$) bestimmen.

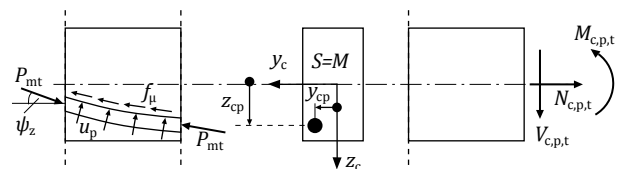


Bild 11. Schnittgrößen des Betonquerschnitts an der Stelle x infolge statisch bestimmter Wirkung der Vorspannung nach [8]

An der Stelle x werden im Betonquerschnitt nachfolgende Schnittgrößen erzeugt:

$$N_{c,p,t} \approx -P_{m,t} \quad (8.1)$$

$$M_{c,p,ty} = -P_{m,t} \cdot z_{cp} \quad (8.2)$$

$$M_{c,p,tz} = -P_{m,t} \cdot y_{cp} \quad (8.3)$$

$$V_{c,p,ty} = -P_{m,t} \cdot \sin \psi_y \quad (8.4)$$

$$V_{c,p,tz} = -P_{m,t} \cdot \sin \psi_z \quad (8.5)$$

$$T_{c,p,t} = -V_{c,p,tz} \cdot y_{cp} - V_{c,p,ty} \cdot z_{cp} \quad (8.6)$$

Bei sofortigem Verbund wird die geradlinige Spanngliedführung angestrebt, wobei in Einzelfällen auch eine polygonale Spanngliedführung gewählt wird. Bei exzentrischer Spanngliedführung und bei Bauteilen mit veränderlicher Höhe bewirkt auch die geradlinige Vorspannung veränderliche Momente.



Bild 12. Statisch bestimmt gelagerter Spannbetonträger während der Bauphase [Foto: Max Bögl]

3.2.4 Statisch unbestimmte Systeme

Im Gegensatz zu den statisch bestimmten Systemen können sich bei statisch unbestimmten Systemen die Verformungen aus Vorspannung nicht frei einstellen. Es entstehen statisch unbestimmte Schnittgrößen infolge behinderter Verformung. Die Umlenkkräfte wirken auf das statisch unbestimmte System und erzeugen so zusätzlich zur Beanspruchung aus der statisch bestimmten Vorspannung eine Zwangsbeanspruchung.

Die Größe und die Richtung der Umlenkkräfte und damit auch die Zwangsbeanspruchungen werden durch die Lage der Spannglieder im System (Krümmung, Lage der Wendepunkte, Durchgang durch Nulllinie) bestimmt. Sie sind vor allem abhängig von der Größe der positiven und negativen Anteile aus statisch bestimmter Vorspannung. Zur Ermittlung der Schnittgrößen in statisch unbestimmten Systemen und zur Wahl einer möglichst optimalen Spanngliederführung wird an dieser Stelle auf die weiterführende Literatur verwiesen.

3.3 Verfahren der Schnittgrößenermittlung

Die Verfahren zur Ermittlung der Schnittgrößen sind im Abschnitt 5 der DIN EN 1992-1-1 [1], mit Angaben zu den Anforderungen und Anwendungsgrenzen, angegeben. Zweck einer statischen Berechnung ist die Bestimmung der Verteilung entweder der Schnittgrößen oder der Spannungen, Dehnungen und Verschiebungen am Gesamttragwerk oder einem Teil davon. Folgende vier Verfahren zur Schnittgrößenermittlung sind im EC 2 aufgeführt:

- Linear-elastische Berechnung
- Linear-elastische Berechnung mit Umlagerung
- Verfahren nach der Plastizitätstheorie
- Nichtlineare Verfahren

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) dürfen alle vier Verfahren angewendet werden, während für die Nachweisführung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) nur die linear-elastische Berechnung oder die nichtlinearen Verfahren zugelassen sind.

Linear-elastische Berechnung:

Die linear-elastische Schnittgrößenermittlung geht von ungerissenen Querschnitten (Zustand I) und linearen Spannungs-Dehnungs-Linien aus. Es dürfen aber auch die Steifigkeiten der gerissenen Querschnitte (Zustand II) verwendet werden. Die Berechnung erfolgt mit Mittelwerten der Werkstoffe.

Die linear-elastische Berechnung liefert nur realistische Ergebnisse, wenn die Rechenannahmen (linear-elastische Werkstoffe, ungerissene Querschnitte, ...) zutreffen. Die Ergebnisse liegen meist auf der sicheren, wenn auch oft auf der unwirtschaftlichen Seite.

Linear-elastische Berechnung mit Umlagerung:

Die linear-elastische Berechnung mit begrenzter Umlagerung darf für die Nachweise von Bauteilen im GZT verwendet werden, wobei die Auswirkungen einer Mo-

mentenumlagerung durchgängig berücksichtigt werden müssen. Die infolge Rissbildung entstehende Steifigkeitsabminderung führt in statisch unbestimmten Systemen zu Momentenumlagerungen. Die nach dem Umlagern ermittelte Schnittgrößenverteilung muss mit den einwirkenden Lasten im Gleichgewicht stehen.

Voraussetzung für eine mögliche Momentenumlagerung ist eine erforderliche Rotationskapazität. Zu den Anforderungen der Rotationsfähigkeit und der Größe der möglichen Momentenumlagerungen siehe Abschnitt 5.5 [1].

Verfahren nach der Plastizitätstheorie:

Das in Abschnitt 5.6 [1] beschriebene Verfahren nach der Plastizitätstheorie darf nur für Nachweise im GZT verwendet werden. Voraussetzung für die Anwendung dieses Verfahrens ist, dass ein expliziter Nachweis der Rotationsfähigkeit geführt wird. Nähere Angaben zum Verfahren sind DIN EN 1992-1-1 Abschnitt 5.6 zu entnehmen.

Nichtlineare Verfahren:

Nichtlineare Verfahren der Schnittgrößenermittlung dürfen sowohl für die Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit als auch der Tragfähigkeit angewendet werden. Diese Verfahren erfüllen sowohl die Gleichgewichts- als auch die Verträglichkeitsbedingungen und bilden die Nichtlinearitäten der Werkstoffe durch wirklichkeitsnahe Spannungs-Dehnungs-Linien ab. Das Trag- und Verformungsverhalten des Bauteils wird dadurch realitätsnah erfasst.

Entsprechend dem Nationalen Anhang (NCI zu 5.7) [2] sollte für den Bemessungswert des Tragwiderstands ein einheitlicher Teilsicherheitsbeiwert gewählt werden von:

$\gamma_R = 1.30$	für ständige und vorübergehende Bemessungssituationen und Nachweis gegen Ermüdung oder
$\gamma_R = 1.10$	für außergewöhnliche Bemessungssituationen

Dabei sind nach [2] der Berechnung die rechnerischen Mittelwerte (f_{cR}, f_{yR}) der Werkstoffeigenschaften statt der charakteristischen Werte (f_{ck}, f_{yk}) zugrunde zu legen.

3.4 Spannkraftverluste

Wie bereits aus Gleichung (1) „Mittelwert der Vorspannung“ zu erkennen ist, wird die maximale Spannkraft P_{max} infolge von sofortigen und zeitabhängigen Spannkraftverlusten reduziert.

Bei Vorspannung mit sofortigem Verbund (Spannbettvorspannung) tritt keine Reibung auf, da die Spannglieder im Luftraum vorgespannt werden. Ebenfalls tritt bei Vorspannung mit sofortigem Verbund kein Spannkraftverlust infolge Verankerungsschlupf auf. Dadurch sind die Spannkraftverluste bei sofortigem Verbund insgesamt wesentlich geringer als bei Vorspannung mit nachträglichem Verbund.

Eine Vorspannung ohne Verbund liefert ebenfalls deutlich geringere Spannkraftverluste, als eine Vorspannung mit nachträglichem Verbund. Dies ist u. a. darin begründet, dass der Reibungsbeiwert von Spanngliedern ohne Verbund erheblich geringer ist als die Werte von Spanngliedern mit nachträglichem Verbund.

3.4.1 Spannkraftverluste infolge Reibung

Die Dehnung eines Spanngliedes während des Spannvorgangs führt bei Vorspannung in einem Hüllrohr zu einer Relativverschiebung zwischen Spannstahl und Hüllrohr. An der Kontaktstelle Hüllrohr und Spannstahl tritt bei gekrümmten oder umgelenkten Spanngliedern eine Umlenkraft auf. Dies führt bei einer Verschiebung zu Reibungskräften. Soweit es von den hierfür zulässigen Spannungen im Spannstahl möglich ist, werden die Reibungsverluste durch Überspannen ausgeglichen, d. h. „sie werden rausgespannt“.

Die Reibungsverluste $\Delta P_\mu(x)$ bei Spanngliedern mit nachträglichem Verbund dürfen nach Abschnitt 5.10.5.2 [1] wie folgt abgeschätzt werden:

$$\Delta P_\mu(x) = P_{\max} \cdot [1 - e^{-\mu(\theta+k \cdot x)}] \quad (9)$$

mit

- θ Summe der planmäßigen, horizontalen und vertikalen Umlenkwinkel über die Länge x
- μ Reibungsbeiwert zwischen Spannglied und Hüllrohr
- k ungewollter Umlenkwinkel (je Längeneinheit) abhängig von der Art des Spanngliedes
- x Länge entlang des Spanngliedes von der Stelle an, an der die Vorspannkraft gleich P_{\max} ist

Die Werte μ und k werden in den entsprechenden Europäischen Technischen Zulassungen angegeben. Der Reibungsbeiwert μ hängt von der Oberflächeneigenschaften der Spannglieder und der Hüllrohre, von etwaigem Rostansatz, von der Spannglieddehnung und von der Spannstahlprofilierung ab.

3.4.2 Spannkraftverluste infolge Kriechens und Schwindens des Betons und Relaxation des Spannstahls

Kriechen und Schwinden sind zeitabhängige Verformungen, die eine plastische Stauchung des Betons zur Folge haben. Die Verkürzung / Stauchung des Betons bewirkt eine zeitabhängige Verminderung der eingebrachten Spannkraft. Infolge der Verringerung der Spannstahlspannungen entstehen entgegengesetzt wirkende bzw. „erholende“ Beanspruchungen.

Bei hohen Spannstahlspannungen setzt ein zeitabhängiges Dehnungsverhalten des Spannstahls ein. Dieses zeitabhängige Verformungsverhalten des Spannstahls, die sogenannte „Relaxation“, führt zu einer Verringerung der Spannstahlspannung bei konstanter Dehnung. Ursache für dieses Materialverhalten sind Bewegungen und Versetzungen im

Kristallgitter des Stahls, wenn dieses dauerhaft hoch beansprucht wird. Die Spannstahlrelaxation hängt von der Verformung des Betons infolge Kriechens und Schwindens ab. Diese Wechselwirkung darf im Allgemeinen näherungsweise mit einem Abminderungsbeiwert von 0.8 (d.h. $0.80 \cdot \Delta\sigma_{pr}$) berücksichtigt werden. Nach [12] kann der Verlust infolge Relaxation bei hohen Spannungsausnutzungen fast 10% betragen.

Die Einflüsse des Kriechens und des Schwindens können mit Hilfe des Berechnungsverfahrens von Trost bestimmt werden. Auf die Herleitung des Verfahrens wird an dieser Stelle verzichtet und auf die weiterführende Literatur (z. B. [9]) verwiesen.

Mit Gleichung (5.46) der DIN EN 1992-1-1 [1] wird ein vereinfachtes Verfahren zur Ermittlung der zeitabhängigen Verluste aus Kriechen, Schwinden und Relaxation an der Stelle x unter ständigen Lasten angegeben. Die Bestimmungsgleichung hierfür lautet:

$$\Delta P_{c+s+r} = A_p \cdot \Delta\sigma_{p,c+s+r}$$

$$= A_p \cdot \frac{\epsilon_{cs} \cdot E_p + 0.8 \cdot \Delta\sigma_{pr} + \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot \varphi(t, t_0) \cdot \sigma_{c,QP}}{1 + \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot \frac{A_p}{A_c} \cdot \left(1 + \frac{A_c}{I_c} \cdot z_{cp}^2\right)} \cdot [1 + 0.80 \cdot \varphi(t, t_0)] \quad (10)$$

mit

- $\Delta\sigma_{p,c+s+r}$ absoluter Wert der Spannungsänderung in den Spanngliedern aus Kriechen, Schwinden und Relaxation an der Stelle x , bis zum Zeitpunkt t
- ϵ_{cs} ermittelte Schwinddehnung als absoluter Wert
- E_p Elastizitätsmodul für Spannstahl
- E_{cm} Elastizitätsmodul für Beton
- $\Delta\sigma_{pr}$ absoluter Wert der Spannungsänderung in den Spanngliedern an der Stelle x zum Zeitpunkt t infolge Relaxation des Spannstahls. Sie wird für eine Spannung $\sigma_p = \sigma_p \{G + P_{m0} + \psi_2 \cdot Q\}$ bestimmt. Dabei ist σ_p die Ausgangsspannung in den Spanngliedern unmittelbar nach dem Vorspannen und infolge der quasi-ständigen Einwirkungen. Die Spannungsänderung $\Delta\sigma_{pr}$ im Spannstahl an der Stelle x infolge Relaxation darf mit den Angaben der Zulassung des Spannstahls für das Verhältnis der Ausgangsspannung zur charakteristischen Zugfestigkeit (σ_p / f_{pk}) bestimmt werden.
- $\varphi(t, t_0)$ Kriechbeiwert zum Zeitpunkt t bei einer Lastaufbringung zum Zeitpunkt t_0
- $\sigma_{c,QP}$ Betonspannung in Höhe der Spannglieder infolge Eigenlast und Ausgangsspannung sowie weiterer maßgebender quasi-ständiger Einwirkungen
- A_p Querschnittsfläche aller Spannglieder an der Stelle x
- A_c Betonquerschnittsfläche
- I_c Flächenträgheitsmoment des Betonquerschnitts
- z_{cp} Abstand zwischen dem Schwerpunkt des Betonquerschnitts und den Spanngliedern

3.4.3 Spannkraftverluste infolge elastischer Bauteilverkürzung

Die einzelnen Spannglieder werden beim Vorspannen mit nachträglichem und ohne Verbund in der Regel nacheinander vorgespannt. Der Spannkraftverlust infolge der Verformung des Betons ist deshalb unter Berücksichtigung der Reihenfolge, in der die Spannglieder angespannt werden, zu ermitteln.

Nach 5.10.5 [1], Gleichung (5.44) wird der Spannkraftverlust ΔP_{el} als Mittelwert in jedem Spannglied bestimmt zu:

$$\Delta P_{el} = A_p \cdot E_p \cdot \sum \left[\frac{j \cdot \Delta \sigma_c(t)}{E_{cm}(t)} \right] \quad (11)$$

mit

$\Delta \sigma_c(t)$	Spannungsänderung im Schwerpunkt der Spannglieder zum Zeitpunkt t
j	ein Beiwert mit: ($n - 1$) / $2n$: wobei n die Anzahl identischer, nacheinander gespannter Spannglieder ist. Näherungsweise darf j mit $\frac{1}{2}$ angenommen werden
1	für die Spannungsänderung infolge der ständigen Einwirkungen nach dem Vorspannen

Dr.-Ing. Joachim Kretz
mb AEC Software GmbH
mb-news@mbaec.de

Literatur

- [1] DIN EN 1992-1-1:2011-01, Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.
- [2] DIN EN 1992-1-1/NA: 2011-01, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.
- [3] DIN EN 1992-1-2:2010-12, Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton und Spannbetontragwerken - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall.
- [4] DIN EN 1992-1-2/NA: 2010-12, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton und Spannbetontragwerken - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall.
- [5] DIN EN 1992-2:2011-01, Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton und Spannbetontragwerken - Teil 2: Betonbrücken - Bemessungs- und Konstruktionsregeln.
- [6] DIN EN 1992-2/NA: 2013-04, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton und Spannbetontragwerken - Teil 2: Betonbrücken - Bemessungs- und Konstruktionsregeln.
- [7] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton - Heft 600: Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA, Beuth Verlag 2012.
- [8] Graubner, C.-A.; Six, M.; Zeier, J.: Spannbeton. In Stahlbetonbau aktuell, Praxishandbuch 2015, Bauwerk Beuth Verlag 2015.
- [9] Avak, R.; Meiss, K.: Spannbetonbau: Theorie, Praxis, Berechnungsbeispiele nach Eurocode 2, 3. Auflage, Beuth Verlag 2015.
- [10] Fingerloos, F.; Hegger, J.; Zilch, K.: Kommentar Eurocode 2 für Deutschland, Ernst & Sohn, Beuth, 2012.
- [11] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V.: Beispiele zur Bemessung nach Eurocode 2, Band 1 - Hochbau, Ernst & Sohn Verlag, 2011.
- [12] Geißler, K.: Handbuch Brückenbau. Entwurf, Konstruktion, Berechnung, Bewertung und Ertüchtigung. Ernst & Sohn Verlag, Berlin 2014.
- [13] Holst, R.; Holst, K-H.: Brücken aus Stahlbeton und Spannbeton. Entwurf, Konstruktion und Berechnung. Ernst & Sohn Verlag, Berlin 2013.

Zur Verstärkung unseres Teams suchen wir zum nächstmöglichen Zeitpunkt eine/n engagierte/n Mitarbeiter/in für den Bereich:

Hotline



Ihr Profil:

- Studium im Bereich Bauingenieurwesen
- Berufserfahrung in der Tragwerksplanung, idealerweise mit mb Software
- Freude am ständigen Lernen sowie dem Umgang mit Software
- fundierte Erfahrungen in der Anwendung von Software
- sichere und zielführende Kommunikation am Telefon

Ihre Aufgabe:

Sie arbeiten in der Kunden-Hotline der mb AEC Software GmbH. Dabei haben Sie ein offenes Ohr für die spezifischen Anforderungen und Probleme der Anwender und lösen diese schnell und unkompliziert. Innerhalb des gesamten Teams tauschen Sie Ihre Erfahrungen mit Kollegen verschiedener Abteilungen aus und leisten so einen wichtigen Beitrag zu Qualität und Kundenzufriedenheit bei der mb AEC Software GmbH.

Unsere Erwartungen:

Neben einwandfreien Umgangsformen erwarten wir Leistungsbereitschaft, eigenverantwortliches Handeln und Teamfähigkeit.

Freuen Sie sich auf ein spannendes Aufgabengebiet in einem aufstrebenden, innovativen Unternehmen.

Es erwarten Sie ein offenes, von Teamgeist und Erfolgsorientierung geprägtes Arbeitsklima sowie ein auf langfristige Zusammenarbeit angelegter Arbeitsplatz mit attraktiven Konditionen.

Ihre aussagekräftigen Bewerbungsunterlagen unter Angabe Ihrer Gehaltsvorstellung sowie eines möglichen Eintrittstermins richten Sie bitte an:
mb AEC Software GmbH · Personalabteilung · Europaallee 14 · 67657 Kaiserslautern · personal@mbaec.de