

Zeitschrift: Cementbulletin
Herausgeber: Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton (TFB AG)
Band: 10-11 (1942-1943)
Heft: 6

Artikel: Vorspannung im Eisenbetonbau
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-153167>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 30.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

CEMENTBULLETIN

JUNI 1942

JAHRGANG 10

NUMMER 6

Vorspannung im Eisenbetonbau

Ziel und Zweck der Vorspannung im Eisenbeton. Vorteile der Anwendung hochzugfester Stähle. Stahlsaitenbeton Hoyer, Versuche von Freysinets, Verfahren Emperger. Einflüsse von Schwinden und plastischer Verformung des Betons auf den Grad der Vorspannung.

Einleitung.

Wohl jedem Baufachmann ist es geläufig, dass im Eisenbeton ein Verbundmaterial vorliegt, in welchem der Beton die Druckbeanspruchungen, das Eisen oder der Stahl dagegen vorwiegend die Zug- und Scherbeanspruchungen aufnimmt. Die Erkenntnis und zielbewusste Anwendung dieser Funktionen ist verhältnismässig neuzeitlich; denn erst seit etwa 50 bis 60 Jahren (seit 1886 durch Wayss & Koenen) wird Eisenbeton unter folgerichtiger Verwendung der Einzelstoffe angefertigt. Der scheinbar naheliegende Gedanke hat in der Folge die gewaltige Ausdehnung des Eisenbetonbaus ermöglicht und die organische Weiterentwicklung der modernen Eisenbetonkonstruktionen sichergestellt (s. Cement-Bulletin 1941, Nr. 18).

Einige materialtechnische Besonderheiten von Beton und Eisen.

Eisen und Beton sind zwei recht unterschiedliche Materialien, nicht nur äusserlich und im Hinblick auf ihre Entstehungsweise. Beiden ist lediglich die Wärmedehnungszahl gemeinsam, welche etwa 0.00001 beträgt, d. h. bei einer Temperaturerhöhung um 1°C verlängert sich ein 1 m langes Beton- oder Eisenstück um ca. $\frac{1}{100}$ mm. Aus diesem Grund vermögen Temperaturunterschiede die Verbundwirkung im Eisenbeton nicht zu beeinträchtigen.

2 In allen übrigen materialtechnischen Eigenschaften unterscheiden sich dagegen Eisen und Beton sehr beträchtlich. So beträgt z. B. die

Zerreissfestigkeit des Stahls	3000 — 24000 kg/cm ²
Zugfestigkeit des Betons	∞ 40 — 60 kg/cm ²
Druckfestigkeit des Betons	∞ 200 — 600 (1000) kg/cm ²

Um einen Beton-, bzw. Stahlkörper um $\frac{1}{1000}$ seiner Länge zusammenzudrücken, bzw. zu dehnen, benötigt man bei

Stahl	∞ 2000 kg/cm ²
Beton	∞ 250—450 kg/cm ² (je nach Betonzusammensetzung und Alter).

Ein besonders hervorstechendes Merkmal des Stahls ist der Umstand, dass er unter starker, mechanischer Beanspruchung, d. h. wenn 65—85 % seiner Zerreissfestigkeit erreicht sind, zu fließen beginnt und in diesem Fließzustand noch ein erhebliches **Arbeitsvermögen** aufweist. Beim Beton ist dagegen unter einseitiger Beanspruchung ein solches Fließen nicht ausgesprochen zu beobachten, d. h. Fließgrenze und Bruchzustand fallen praktisch zusammen.

In einem auf Biegung beanspruchten Eisenbetonbalken sind die Zugeisen und infolge Eigenfestigkeit und Haftung zwischen Eisen und Beton auch der letztere auf **Zug** beansprucht, während die entgegengesetzte Seite **zusammengedrückt** wird. Eigengewicht und Nutzlast verursachen infolge der Elastizität der Baustoffe eine Durchbiegung. Beim Überschreiten der Nutzlast vergrößert sich die Durchbiegung entsprechend der elastischen Dehnung der Armierung soweit, dass Risse auftreten. Trotzdem ist der Balken in diesem Zustand noch voll tragfähig und die Risse verschwinden bei Beseitigung der Überlastung meist wieder vollkommen, besonders wenn die Eisen nur innerhalb der sog. Proportionalitätsgrenze beansprucht worden sind.

Bei den bisher üblichen Armierungsstählen (St.37) mit ihrer verhältnismässig niedern Gebrauchsspannung von ≈ 1200 kg/cm² treten im Eisenbeton Risse meist erst nach Überschreitung der Nutzlast auf. Nach den obigen Angaben wird sich der Stahl unter dieser Gebrauchsspannung theoretisch um ≈ 0.6 Promille dehnen. Die totale Rissbreite auf 1 m Balkenlänge müsste also 0.6 mm betragen, wenn der Beton während der Dauer der Nacherhärtung sich nicht weitgehend durch plastische Deformation (Gel-Alterung, Kristallisation der Kalkverbindungen, Verteilung von Haarrissen) den neuen Spannungszuständen **anpassen** würde.

Ziel und Zweck der Vorspannung im Eisenbeton.

Schon lange ist die Frage studiert worden, durch Verwendung höherwertiger Bewehrungsstähle den Eisenverbrauch im Eisen-

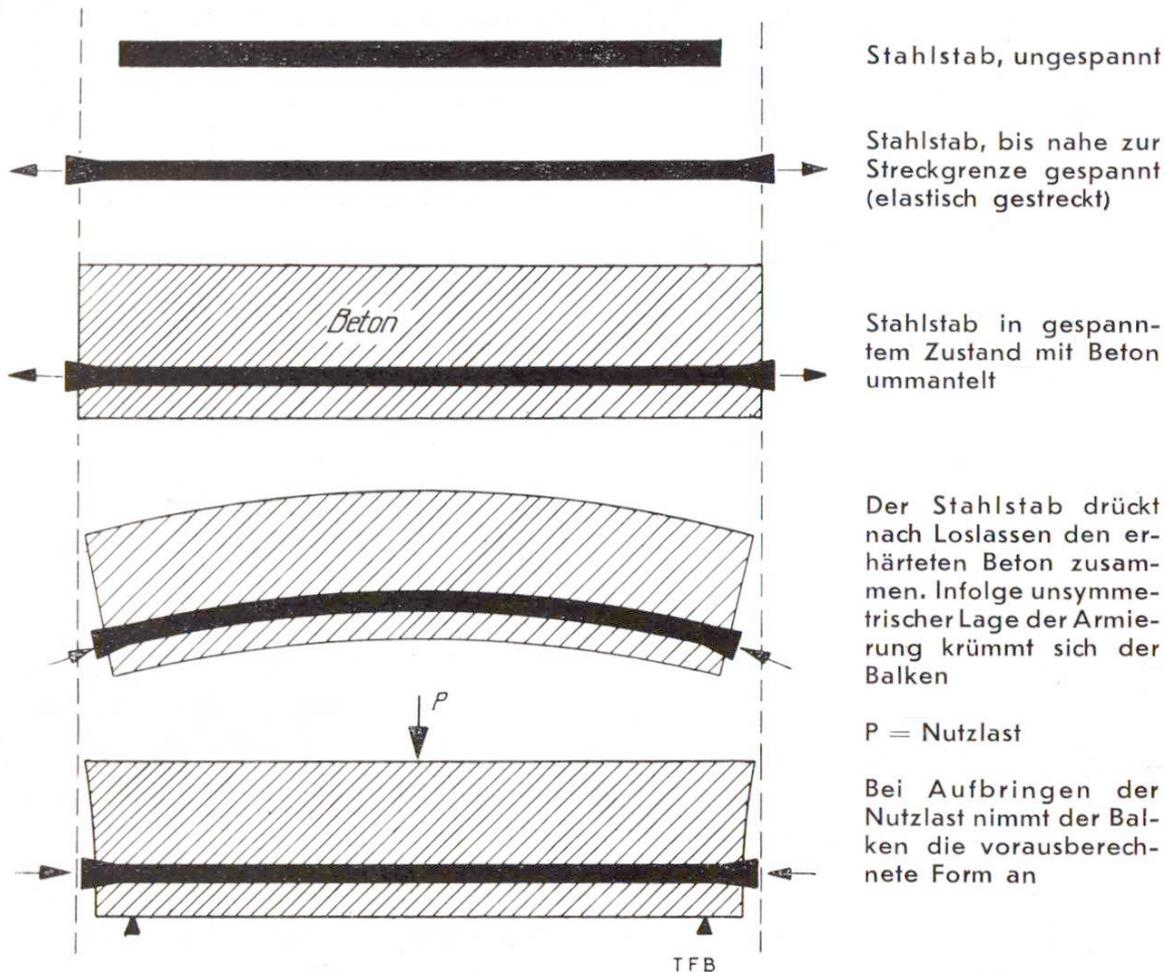


Abb. 1 Schematische Darstellung der Vorspannung. Die elastischen Deformationen der Armierung und des Betons sind zur besseren Veranschaulichung stark übertrieben gezeichnet

beton zu vermindern. Heute ist dieses Problem besonders dringlich. Tatsächlich kann die Qualität des Stahls durch mechanische, thermische oder chemische Behandlung auf das Vielfache ohne prohibitive Mehrkosten gesteigert werden. Aber wie kann man von den hohen mechanischen Eigenschaften der Qualitätsstähle Gebrauch machen, ohne die Rissbildung im Eisenbeton bei den mit hohen Spannungen parallel gehenden Dehnungen zu begünstigen? Bei einer Gebrauchsspannung von $10\,000\text{ kg/cm}^2$, die praktisch ohne weiteres denkbar ist, würden nämlich die Dehnungen schon 5 mm per m^1 betragen.

Hier tritt nun der auf den ersten Blick scheinbar einfache Gedanke der **Vorspannung** der Eiseneinlagen in die Lücke; d. h. man versetzt die Eisen schon vor dem Einbetonieren in den Zustand, den sie annähernd im Belastungsfall aufweisen. Wenn nun die derart vorgespannten Stahlstäbe mit Beton ummantelt und nach dessen völliger Erhärtung wieder freigelassen werden, so versuchen sie naturgemäß **wie eine Feder** sich zusammenzuziehen und üben somit vermöge der Endenverankerung oder der direkten Haftung zwischen Beton und Stahl auf den ersteren eine Druckwirkung aus. Unter dieser Druckwirkung wird der Beton elastisch zusammengepresst und der Beton ist also **selbst in der Zugzone auf Druck** beansprucht.

4 Durch die Vorspannung der Armierung gewinnt man zwei wesentliche Vorteile:

- a) die Vermeidung von **Rissen** und
- b) **Eiseneinsparung** durch Ausnützung höchstwertiger Stähle, gleichzeitig Verminderung der Querschnitte und damit der Eigengewichte.

Vorteile der Anwendung hochzugfester Stähle.

Die früheren Versuche mit vorgespannten Bewehrungen, welche etwa 50 Jahre zurückreichen, scheiterten im Wesentlichen an drei Ursachen:

1. Verwendung von Stählen mit verhältnismässig geringer Streckgrenze und geringer Vorspannung.
2. Zurückgehen der Vorspannung infolge Nachgebens und Schwindens des Betons.
3. Unwirtschaftliche Einrichtungen zur Erzeugung der Vorspannungen.

Vor allem durch Hoyer (s. Literaturangaben) ist eindrücklich der Vorteil beleuchtet worden, der in der Verwendung besonders zugfester Stähle liegt. Die Armierungen müssen so stark gedehnt werden können, dass auch trotz der unvermeidlichen, elastischen und bleibenden Verformung (Kriechen und Schwinden) des Betons ein grosser Teil der Vorspannung erhalten bleibt. Dieser Forderung genügen aber nur Stahlsorten mit besonders hoher Streckgrenze und bei Vorspannung bis nahe an die Streckgrenze.

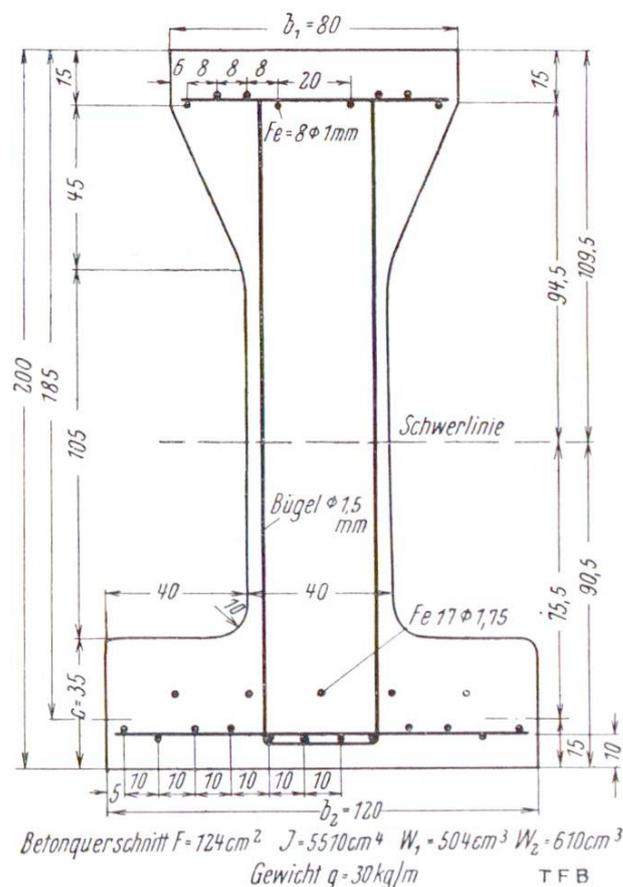


Abb. 2 Querschnitt eines Hoyer-Stahlsaitenbalkens. (Aus Hoyer: „Der Stahlsaitenbeton“, erster Band)

5 Unter diesen Voraussetzungen hat sich das **Kräftespiel im Beton grundlegend verändert**. In der ehemaligen Zugzone eines Eisenbetonbalkens ist der Beton nicht mehr auf Zug, sondern auf Druck beansprucht. Der Querschnitt ist also, wie man sich ausdrückt, homogen geworden, weil er durchgehend unter Druck steht und im Balken also keine Zugrisse auftreten können. Je nach dem Grad der Vorspannung herrscht dieser Zustand nicht nur unter der Nutzlast, sondern weit darüber hinaus vor.

Allerdings sind die erforderlichen hochzugfesten Stähle naturgemäss teurer als die normalen Armierungseisen. Freyssinet hat aber nachgewiesen, dass das Verhältnis Preis : Festigkeit mit zunehmender Güte des Stahls günstiger wird. Abgesehen vom Mehraufwand an Arbeit (bessere Verarbeitung des Betons, grössere Sorgfalt im Verlegen der Armierung, Anbringen der Vorspannung, etc.) ist der Kostenaufwand für die Armierung bei Verwendung hochzugfester Stähle also geringer. Was heute aber besonders wichtig ist: Man kommt mit einem geringeren Metallgewicht aus.

Stahlsaitenbeton.

Das Prinzip, vorgespannte Stahldrähte hoher Festigkeit im Beton als Armierung zu verwenden, ist seit Jahrzehnten bekannt, aber eigentlich erst durch die Arbeiten von Hoyer (s. Lit.) und durch die gegenwärtige Metallverknappung der Fachwelt wieder nähergebracht worden.

Hoyer verwendet für seine Balken und Betonbretter Klaviersaiten von ca. 2 mm \varnothing , welche mit 13 500 und mehr kg/cm² gespannt und mit Beton umhüllt werden. Im durchgehärteten Balken geht die Stahlspannung infolge Kriechen und Schwinden auf ca. 90 0/0, also ca. 12 000 kg/cm² zurück, beträgt also immer noch das 10-fache der üblichen Gebrauchsspannung bei Verwendung von St. 37. Der charakteristische Querschnitt eines Hoyer-Balkens ist in Abb. 2 dargestellt.

Infolge des geringen Drahtdurchmessers ist die Haftfläche zwischen Beton und Draht im Vergleich zum Querschnitt des Drahtes gross, wodurch keine besondere Verankerung der Drähte erforderlich ist, ja die Hoyerbalken können sogar an beliebiger Stelle durchgeschnitten werden, ohne dass ausser den Enden (ca. 50 cm) die Vorspannung der Armierung zurückgeht. Dieses Prinzip ist allerdings schon seit Jahrzehnten durch unseren Landsmann Wettstein bekannt und angewandt worden.

Versuche von Freyssinet.

In zielbewusster Weise ist der Gedanke der Vorspannung auch von Freyssinet gefördert worden. Versuche an Balkenträgern grosser Spannweite (33 m und mehr) erwiesen die Richtigkeit und

6 praktische Anwendbarkeit der Berechnungen von Freyssinet, der sowohl hochzugfeste Stähle und Beton von höchster Qualität heranzog. Im Gegensatz zu Hoyer verwendet Freyssinet stärkere Stahleinlagen, welche sicherheitshalber eine spezielle Verankerung erfordern.

Derartige Balkenträger sind versuchsweise bis zum Bruch belastet worden und ergaben sehr zufriedenstellende Resultate. Sie wurden bereits für grosse Hallenbauten, Brücken, etc. mit bestem Erfolg angewandt.

Verfahren Emperger.

Eine Kombination vorgespannter und »schlaffer« Armierungen ist vom kürzlich verstorbenen Altmeister des Eisenbetons, Oberbau- rat Dr. h. c. von Emperger, angegeben worden. Die vorgespannten Teile der Armierung sollen in erster Linie die Rissgefahr vermindern. Durch eine sinnreiche Vorrichtung zum Anspannen der verhältnismässig geringen Vorspannarmierung ist das Verfahren wirtschaftlich und in vielen Fällen anwendbar. Emperger verzichtet allerdings bewusst auf eine Eiseneinsparung zugunsten erhöhter Sicherheiten.

Unsere schweizerischen Forschungsstätten haben sich ebenfalls eingehend mit den Problemen des Vorspannbetons befasst. Eine

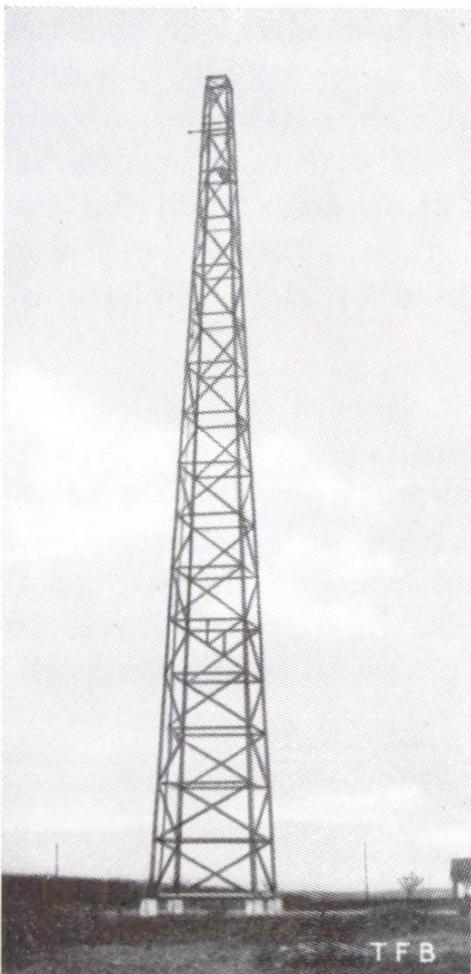


Abb. 3 Fachwerkturm aus vorgespannten Eisenbetonsäulen. (Aus „Beton und Eisen“, 1940, Heft 11 und 12)

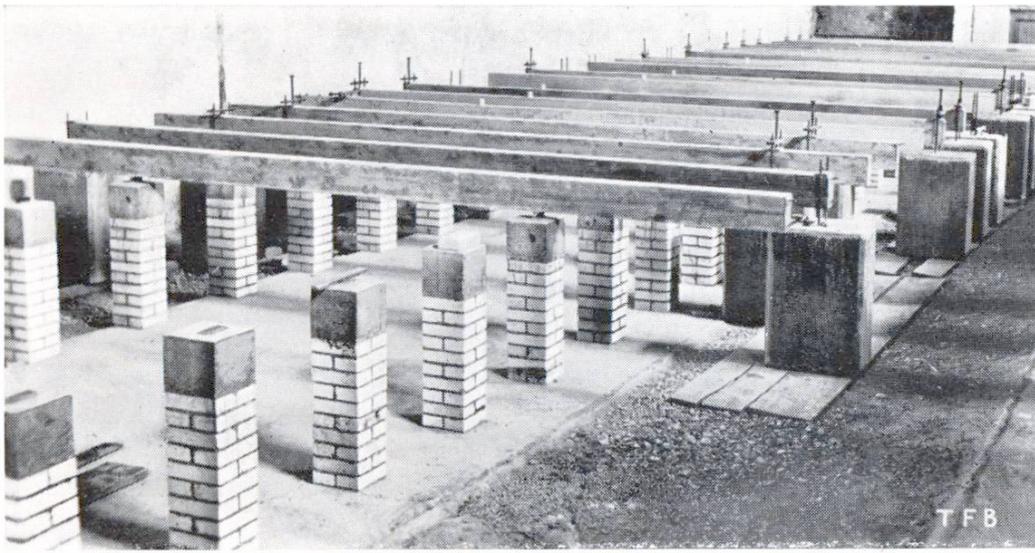


Abb. 4 Probekbalken aus vorgespanntem Eisenbeton. Versuchsanlage in Schinznach-Bad der SIA-Kommission für vorgespannten Eisenbeton

Kommission des S.I.A. führt unter der Leitung von Prof. Ing. Ritter umfangreiche Versuche an vorgespannten Eisenbetonbalken durch. Ebenso arbeiten die Eidg. Material-Prüfungsanstalt in Zürich, die Ecole d'Ingénieurs in Lausanne und zahlreiche Industrielaboratorien und Ingenieure intensiv an der Erprobung und Verbesserung der verschiedenen bekannten und neuen Verfahren. Die Anwendungsgebiete sind nicht allein in den allgemeinen Verwendungen des Eisenbetons gelegen, sondern sie erstrecken sich auf verschiedene Spezialzweige, wie die Cimentröhrenfabrikation, Betonfertigbalken, Eisenbetonschwellen, etc. Es untersteht keinem Zweifel, dass die Anwendung der Vorspannung neue und kühne Konstruktionen bei günstigster Ausnützung der Baustoffe ermöglichen wird.

Einflüsse von Schwinden und plastischer Verformung des Betons auf den Grad der Vorspannung.

Die neuartigen Beanspruchungen der Baustoffe haben es nötig gemacht, deren Qualitäten vermehrte Aufmerksamkeit zu schenken. Wenn das Kriechen und Schwinden des Betons im normalen Eisenbeton ohne wesentlichen Belang, ja in gewissem Sinn sogar günstig ist, so wirken diese Erscheinungen im Vorspannbeton nachteilig. Man ist daher genötigt, Beton zu bereiten, welcher unter den hohen Druckbeanspruchungen (bis 200 kg/cm^2 und mehr) möglichst wenig nachgibt. Versuche haben gezeigt, dass diesbezüglich der druckfesteste Beton (wie er durch die Vibrationsverfahren erhalten wird) die beste Gewähr für Unnachgiebigkeit bietet. Während z. B. ein weichangemachter Beton mit 300 bis 400 kg/cm^2 Druckfestigkeit unter einer ständigen Last von 100 kg/cm^2 innerhalb von 2 Jahren bis $2\frac{1}{2}$ Millimeter per Meter nachgibt, verringert sich dieses Mass bei einem vibrierten Beton von ca. 600 kg/cm^2 Druckfestigkeit auf ca. 1 Millimeter per Meter.

- 8 Wenn ausserdem die Last nicht unmittelbar nach der ersten Erhärtung aufgebracht, sondern nur gut durchgehärteter Beton dieser Last ausgesetzt wird, so vermindert sich die Nachgiebigkeit weiter bis auf ca. $\frac{1}{2}$ Millimeter per Meter. (Die angegebenen Beispiele umfassen die Summe der durch Schwinden und »Kriechen« verursachten Deformationen.)

Literatur:

- Vorspannung im Eisenbetonbau, 80 Seiten, Verlag W. Ernst & Sohn, 1940.
Freyssinet, Une Révolution dans les Techniques du Béton, Libr. de l'Enseignement Techn., 1936.
Hoyer, E., Der Stahlsaitenbeton, Verlag O. Elsner, 1939.
Kammüller, K., Gegenwartsaufgaben des Beton- und Eisenbetonbaues, Beton und Eisen 1938, Heft 6.
v. Emperger, Vorgespannte Armierungs-Zulagen in den Tragwerken aus Eisenbeton, Schweiz. Bauzeitung 1939, Heft 13.
Paris, A. Prof., Mise en tension préalable des armatures du béton armé, Lausanne, Rouge & Cie., S. A., 1936.
Glanville, Building Research 1930, Techn. Hefte 11 und 12.
Haller, P. Ing., Schwinden und Kriechen von Mörtel und Beton, Disk. Bericht EMPA Nr. 124.