

# Zur Entwicklung des vorgespannten Betons in der Schweiz

Autor(en): **Birkenmaier, M. / Brandestini, A. / Roš, M.R.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **70 (1952)**

Heft 8

PDF erstellt am: **11.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-59561>

## **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.

## Zur Entwicklung des vorgespannten Betons in der Schweiz

Von M. BIRKENMAIER, A. BRANDESTINI, M. R. ROS, Dipl. Ingenieure ETH, Zürich

DK 624.012.47 (494)

### 1. Einleitung

Die grosse Entwicklung, die der vorgespannte Beton in den letzten Jahren erfahren hat, sieht man vielleicht am eindrücklichsten daraus, dass z. B. in Deutschland allein in den vergangenen vier Jahren an die 100 Brücken in dieser neuen Bauweise erstellt wurden. Ausser dem bekannten Vorspannverfahren von E. Freyssinet [1] sind verschiedene neue Verfahren entwickelt und erprobt worden. Die wichtigsten sind dabei unter folgenden Namen bekannt geworden: Magnel-Blaton, Belgien [2], Chalot, Frankreich [3], Baur-Leonhardt, Deutschland [4], Finsterwalder-Dywidag, Deutschland [5], Morandi, Italien [6], Lee-MacCall, England.

Alle diese neueren Verfahren stimmen mit dem Verfahren Freyssinet darin überein, dass hochwertige Stähle (Drähte, Litzen oder Stäbe), die in Röhren oder sonstigen Hüllen verlaufen, in den Beton eingelegt und dass nach Erhärten des Betons diese Stähle angespannt werden und damit der Beton vorgespannt wird. Meist wird noch der Hohlraum zwischen Hülle und Drähten mit Mörtel ausgepresst. Die verschiedenen Verfahren unterscheiden sich im wesentlichen nur in der Ausführung der Verankerung der Stähle, in der Verwendung verschiedener Stahlsorten und in der Grösse der erzeugten Vorspannkraft.

Beachtenswert ist auch, dass man immer mehr dazu übergeht, statisch unbestimmte Tragwerke vorzuspannen und damit erst die baulichen Möglichkeiten des vorgespannten Betons richtig ausnützt. Die materialtechnischen Grundlagen des vorgespannten Betons wurden gerade in den letzten Jahren weitgehend geklärt. Verschiedene Länder haben Normenentwürfe für die Ausführung und Berechnung vorgespannter Tragwerke herausgebracht, aufbauend auf diesen neuesten materialtechnischen Erkenntnissen.

Man kann heute feststellen, dass die vor mehr als 20 Jahren von Ing. E. Freyssinet ausgesprochenen kühnen Prohezeiungen über die Möglichkeiten des vorgespannten Betons schon weitgehend eingetroffen sind.

Im Folgenden soll ein schweizerisches Vorspannverfahren beschrieben werden, das von den Verfassern gemeinsam mit Dipl. Ing. K. Vogt entwickelt worden ist. Entsprechend dem ersten Buchstaben ihrer Namen wird es Verfahren BBRV genannt.

### 2. Das Verfahren BBRV

Das Verfahren soll zunächst am Beispiel einer Vorspannarmierung mit 80 t Vorspannkraft ausführlich erläutert werden. Gemäss Bild 1 besteht eine solche Vorspannarmierung aus 42 Stahldrähten  $\phi$  5 mm von hoher Festigkeit (hier 160/170 kg/mm<sup>2</sup>), die einzeln in einem Hauptanker aus Stahl befestigt sind. Die Befestigung der Einzeldrähte am Hauptanker erfolgt dabei durch maschinelles Aufstauchen eines Kopfes an den einzelnen genau abgelenkten Drähten (Bild 2). Der Hauptanker (Bilder 1, 2, 3) besteht aus einem dickwandigen Rohrstück mit Bodenplatte, die 42 Bohrungen  $\phi$  5,5 mm aufweist. In diese

Bohrungen werden die Einzeldrähte  $\phi$  5 mm eingeschoben und mittels Stauchanker an der Bodenplatte abgestützt. Am äusseren Grobgewinde des Hauptankers ist eine Stützmutter angeschraubt; am innern Gewinde kann die Zugspindel der Spanneinrichtung eingedreht werden. Die 42 Stahldrähte werden in gewissen Abständen gebündelt, indem die Drähte um ein kurzes Rohrstück  $\phi$  1/2" geordnet und mit dünnem Draht umschnürt werden. Das ganze Bündel der 42 Drähte liegt in einem Blechrohr  $\phi$  60 mm (Bilder 2 und 3), wobei die Stösse der Rohre (Fabrikationslänge 6 m) mit Muffen überdeckt werden. Die Blechrohre sind im Bereich der Hauptanker trompetenförmig zum sogenannten Uebergangsrohr erweitert. An

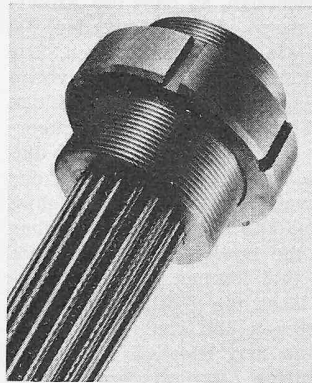


Bild 1. Hauptanker für 80 t Vorspannkraft, mit eingezogenen Drähten und Stützmutter



Bild 2. Hauptanker 80 t mit Unterlagsplatte, Uebergangsrohr und Blechrohr

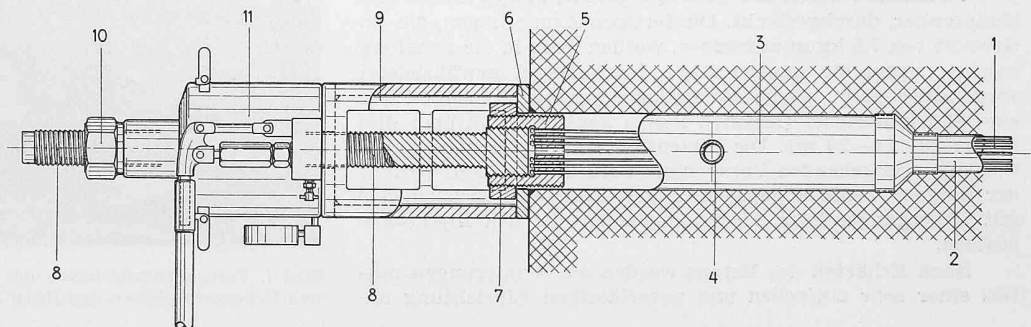


Bild 3. Vorspannarmierung BBRV für 80 t. Legende: 1 Stahldrähte  $\phi$  5 mm, gekerbt,  $\beta_z = 160 \dots 170$  kg/mm<sup>2</sup>. — 2 Blechrohr  $\phi$  60 mm, Wandstärke 0,75 mm. — 3 Uebergangsrohr  $\phi$  125 mm. — 4 Injektionsanschluss 1". — 5 Hauptanker  $\phi_a = 113$  mm, h = 120 mm, aus Stahl (60 ... 70 kg/mm<sup>2</sup>). — 6 Unterlagsplatte aus Eisen 220/220/20 mm. — 7 Stützmutter  $\phi_a = 155$  mm, h = 40 mm, aus Stahl (60 ... 70 kg/mm<sup>2</sup>). — 8 Zugspindel  $\phi_a = 53$  mm. — 9 Zylindrischer Stützbock  $\phi_a = 220$  mm. — 10 Gegenmutter. — 11 Vorspannpresse 100 t.

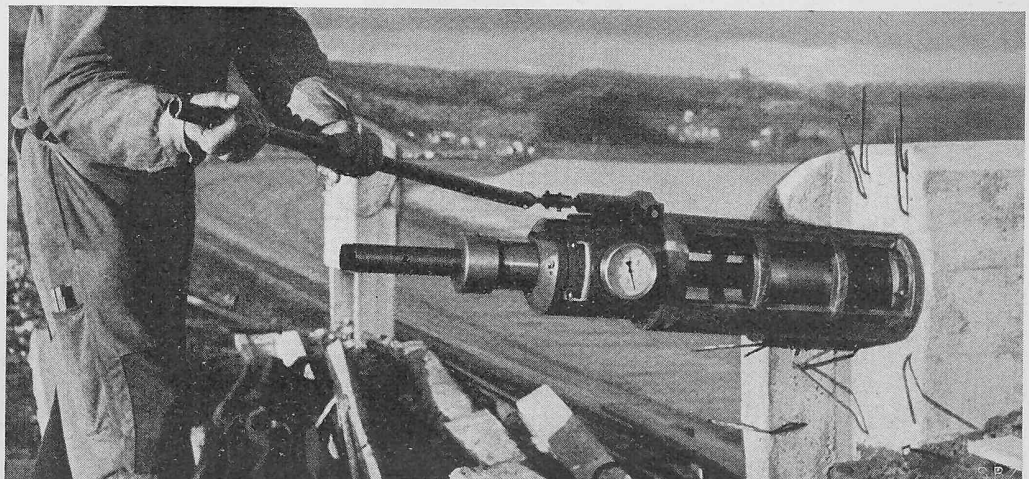


Bild 4. Zylindrischer Stützbock und Vorspannpresse beim Vorspannen

diesem ist auch die Unterlagsplatte 220/220/20 mm angeschweisst. Bei längeren Vorspannarmierungen, d. h. grösseren Spannweiten, liegt der Hauptanker (ohne Stützmutter) im Uebergangrohr versenkt und wird erst beim Anspannen der Armierung herausgezogen und von der Stützmutter gehalten.

Die beschriebene Vorspannarmierung wird auf der Baustelle zusammengebaut, wobei meistens die Stahldrähte auf genaue Länge geschnitten, zusammen mit Hüllen, Uebergangsröhren und Hauptankern angeliefert werden. Beim Schneiden der Drähte wird eine besondere Parallelschneideschere verwendet, die eine genau senkrechtstehende, saubere Schnittfläche ergibt; dies ist eine wichtige Voraussetzung für das spätere Anstauchen des Ankerkopfes am Draht. Die 42 Drähte werden einseitig durch die Löcher des Hauptankers durchgeschoben, derart, dass sie etwa 1 m herausstehen. Hierauf werden mittels der elektrisch angetriebenen Kopfstauchmaschine (Bild 5, Konstruktion Dipl. Ing. K. Vogt) die Ankerköpfe an den Drähten angestaucht. Diese Maschine erledigt das Aufstauchen der 42 Ankerköpfe in etwa fünf Minuten. Dann wird der Hauptanker vorgeschoben, so dass die Ankerköpfe satt an der Bodenplatte sitzen. Hierauf werden die Drähte geordnet und gebündelt wie oben beschrieben. Die nächste Arbeit besteht im Ueberschieben der Blechrohre, voran das Uebergangrohr mit der Unterlagplatte, dann die einzelnen Rohrstücke mit den Muffen, zuletzt wieder das gegenüberliegende Uebergangrohr mit der Unterlagplatte. Hinter diesem wird ein Rohrstück von etwa 2 m Länge eingefügt, das einen grösseren Durchmesser aufweist als die übrigen Rohre, so dass es teleskopartig über das nächste Rohrstück geschoben werden kann. Damit ragen dann die Drähte um rund 1,5 m aus dem Uebergangrohr heraus und können in den Hauptanker eingefädelt werden. Man lässt die Drähte wiederum um etwa 1 m aus diesen herausstehen und stellt die Ankerköpfe mit der Kopfstauchmaschine her. Hierauf wird auch dieser Hauptanker in seine endgültige Lage vorgezogen und das ineinandergefahrene Rohrstück mit dem Uebergangrohr in die richtige Lage gebracht. Damit die Hauptanker im Uebergangrohr sich nicht verschieben können, wird zum Schluss je ein Stahlstift durch das Uebergangrohr, knapp hinter dem Hauptanker, durchgesteckt. Die fertigen Armierungen, die ein Gewicht von 7,5 kg/m aufweisen, werden dann in die Schalung verlegt, wobei die genaue Lage durch Bügel gewährleistet wird. Bild 6 zeigt solche Vorspannarmierungen von 80 t für eine Strassenbrücke (massive Platte kontinuierlich über drei Felder 20—24—20 m). Die Linienführung der über die ganze Brücke durchgehenden Vorspannarmierungen ist dem Verlauf der Biegemomente angepasst. Bild 7 zeigt das Brückenende mit Uebergangsröhren, Unterlagplatten und den Injektionsstützen.

Nach Erhärten des Betons werden die Armierungen mittels einer sehr einfachen und zuverlässigen Einrichtung an-

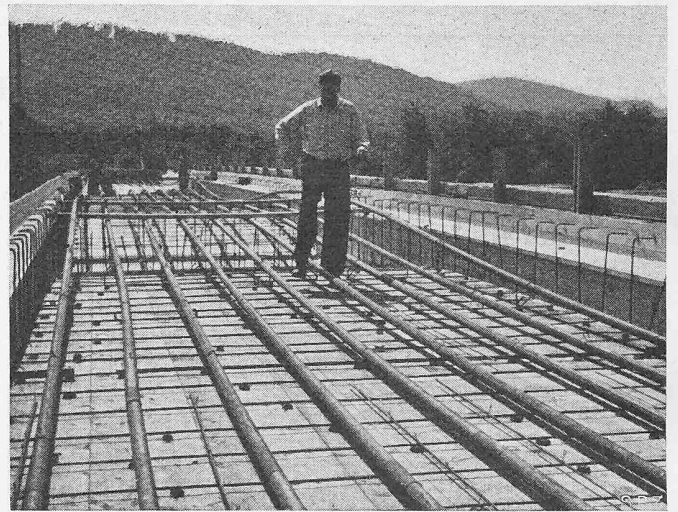


Bild 6. Vorspannarmierungen 80 t in einer Strassenbrücke verlegt

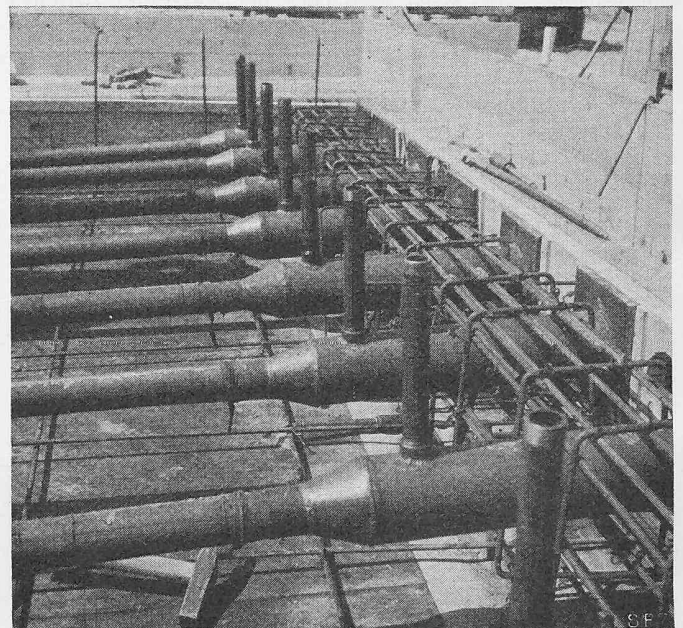


Bild 7. Vorspannarmierungen der Brücke Bild 6 mit Unterlagplatten und Uebergangsröhren und ihren Injektionsstützen

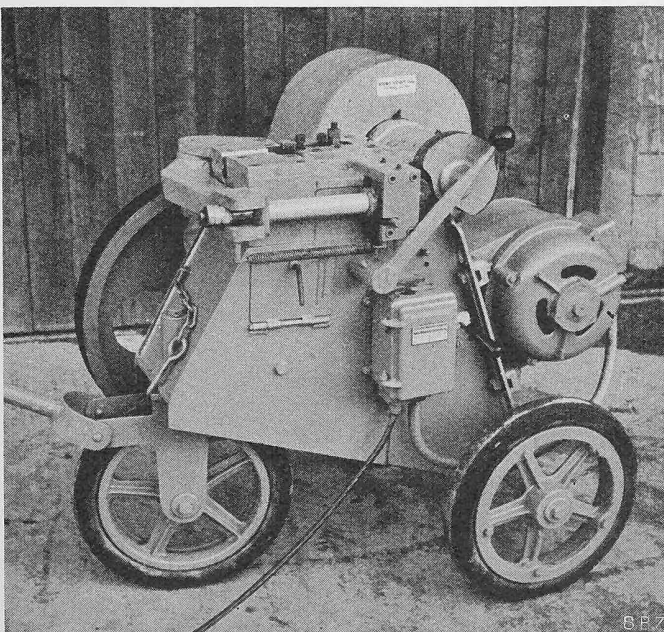


Bild 5. Elektrisch angetriebene Kopfstauchmaschine

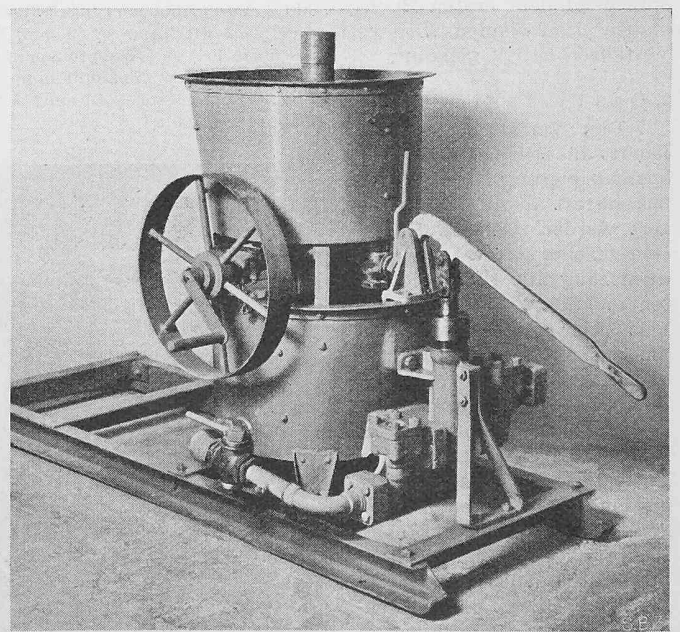


Bild 8. Injektionsgerät

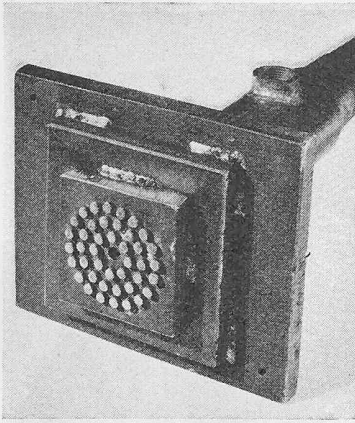


Bild 9. Fester Hauptanker für 42 Drähte  $\phi$  5 mm

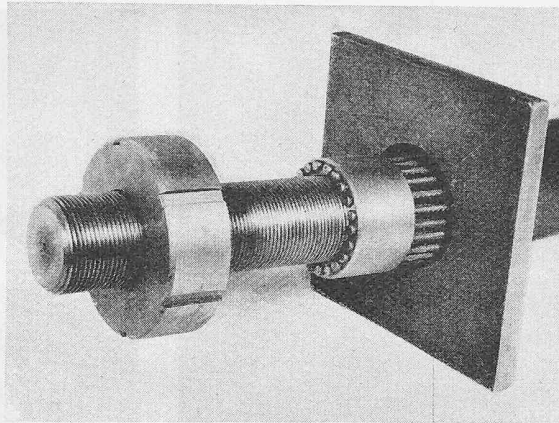


Bild 10. Hauptanker BBRV für 42 Drähte  $\phi$  5 mm mit verloreinem Gewindestab

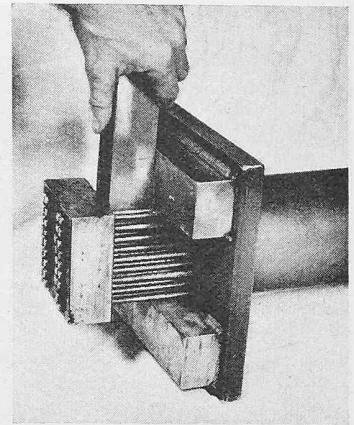


Bild 11. Hauptanker für 36 Drähte  $\phi$  5 mm mit Unterlagseisen

gespannt (Bilder 3 u. 4). Dabei wird in den Hauptanker eine Zugspindel eingeschraubt und darüber die Vorspannpresse, die ein axiales Loch besitzt, geschoben und mit Gegenmutter an der Zugspindel festgehalten. Die Vorspannpresse stützt sich mit einem seitlich offenen Fuss auf die Unterlagsplatte ab. Die seitlichen Oeffnungen an diesem Fuss erlauben dabei das Nachstellen der Stützmutter am Hauptanker. Durch Betätigung der an der Presse angebauten Pumpe wird die Vorspannarmierung gespannt und der Hauptanker durch Drehen der Stützmutter gegen die Unterlagsplatte abgestützt. Die einzelnen Drähte der Armierung sind dabei mit Sicherheit gleichmässig gespannt.

In der Regel nimmt man die Vorspannung in mehreren Etappen vor. Zum Beispiel wird nach wenigen Tagen Erhärtungszeit eine kleine Vorspannung zwecks Vermeidung von Schwindrissen im Beton angeordnet. Oft werden die Armierungen um ein bestimmtes Mass überspannt und nachher wieder entspannt, um damit die Reibungsverluste in gekrümmten Armierungen herabzusetzen. Die Vorspannkraft wird durch die Messung des Flüssigkeitsdruckes der Presse mit einem Manometer bestimmt oder genauer durch einen in der Zugspindel eingebauten Dehnungsmesser festgestellt. Gleichzeitig können die Dehnungen der Armierung einfach und genau gemessen werden. Bei den hier verwendeten Stahldrähten wird eine Vorspannung bis  $110 \text{ kg/mm}^2$  ausgeübt, was einer Dehnung des Drahtes von  $5,5 \text{ mm/m}$  entspricht.

Nach beendeter Vorspannung wird der Hohlraum zwischen Blechrohr und Drähten durch Einpressen von hochwertigem Mörtel ausgefüllt. Damit diese Injektion auch bei längeren Vorspannarmierungen zuverlässig ausgeführt wird, müssen bestimmte Anforderungen an den Mörtel gestellt werden. Eine Mischung aus Wasser und Zement allein gibt z. B. keine Gewähr für eine gleichmässige Umhüllung der Drähte.

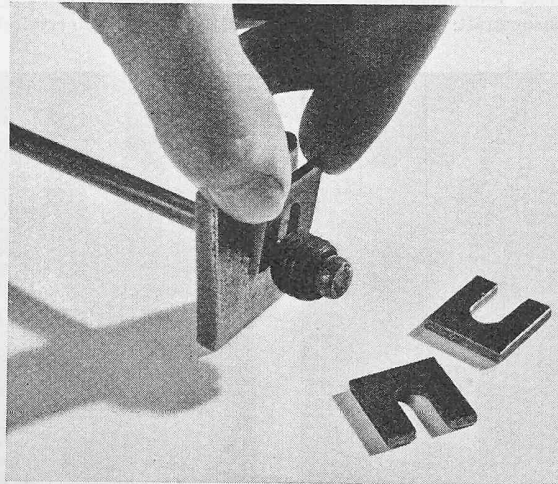


Bild 12. Einzeldrahtanker für Drähte  $\phi$  6 mm  
Text siehe Seite 112

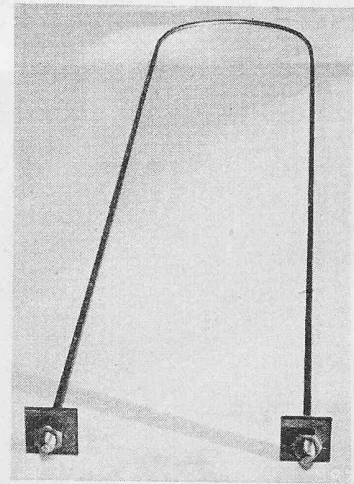


Bild 13. Einseitige Schlaufenverankerung

Beim Verfahren BBRV wird ein sog. «Prepakt»-Mörtel [7] verwendet, der durch geeignete Wahl der Mischkomponenten und durch Beifügung eines Injektionshilfsmittels erlaubt, einen volumenbeständigen Mörtel bei sehr geringem Wassergehalt (Wasser : Bindemittel =  $0,4:1$ ) zu erzeugen. Der kleine Wassergehalt ist dabei besonders wichtig, da beim Injizieren der dichten Hüllen, auch unter Druck, kein Ueberschusswasser ausgepresst werden kann. Das verwendete Spezialinjektionsgerät ist auf Bild 8 dargestellt. Es besteht aus einem obern und untern Mischbehälter von je 100 l Inhalt, in denen ein durch Motor angetriebenes Rührwerk eingebaut ist. Der untere Mischbehälter ist mit einer Handkolbenpumpe verbunden, an welcher ein Dämpfer zum Ausgleich der Kolbenstösse, sowie ein Manometer angebracht ist. Das Gerät ist so gebaut, dass ein kontinuierlicher Injektionsvorgang möglich ist. An den Enden jeder Armierung, sowie an den höchsten Punkten der einzelnen Krümmungen sind Injektions-, bzw. Entlüftungsstutzen  $\phi$  1" angeordnet. Eine besonders gute Einbettung der Drähte wird an den Enden im Bereiche des Uebergangsrohres (Bilder 2 u. 3) gewährleistet, so dass

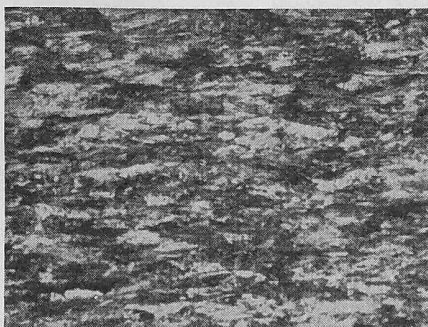


Bild 14. Mikrogefüge des patentierten, gezogenen Stahldrähtes



Bild 15. Mikrogefüge im aufgestauchten Kopf des pat., gez. Stahldrähtes

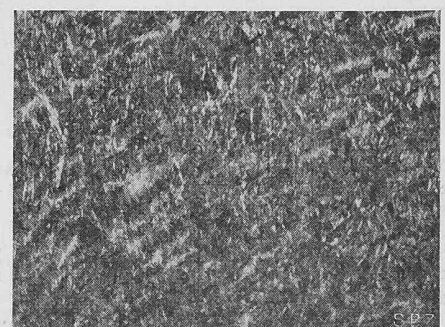
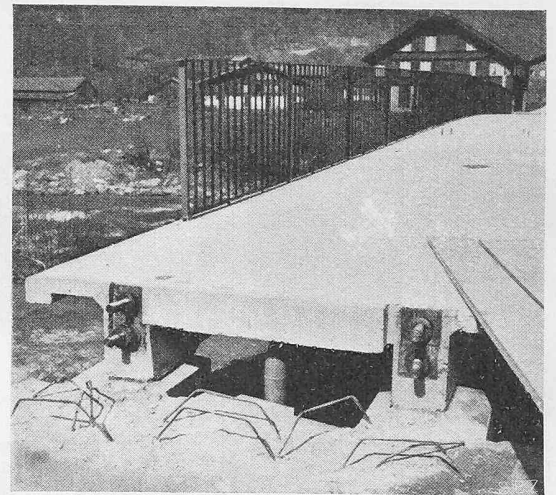
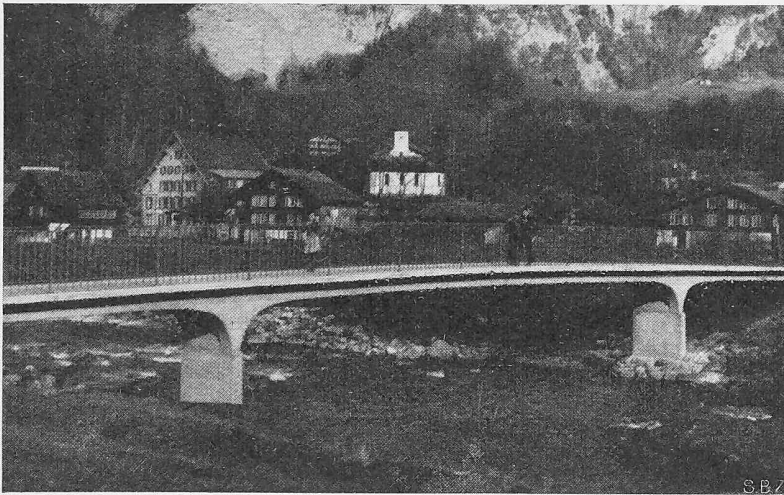
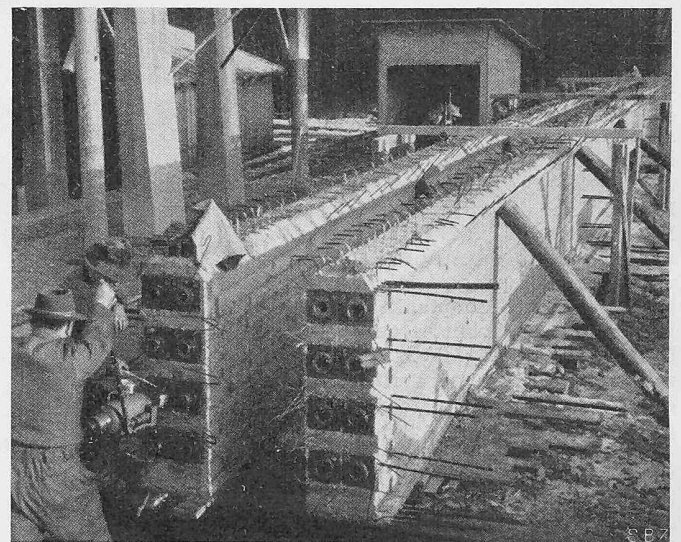
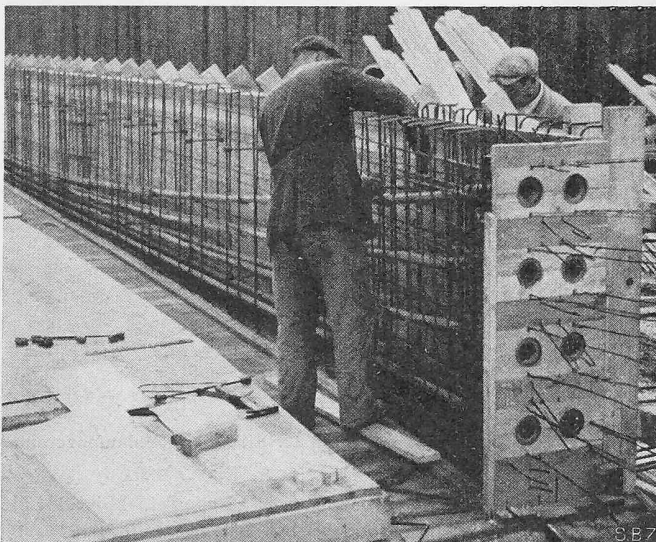


Bild 16. Mikrogefüge im aufgest. Kopf des pat., gez. und schlussvergüteten Drahtes

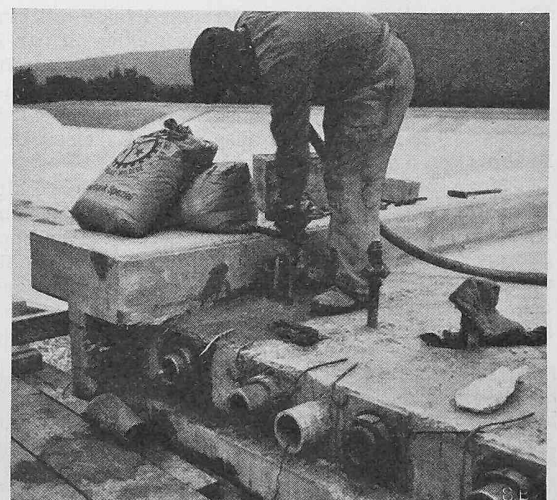
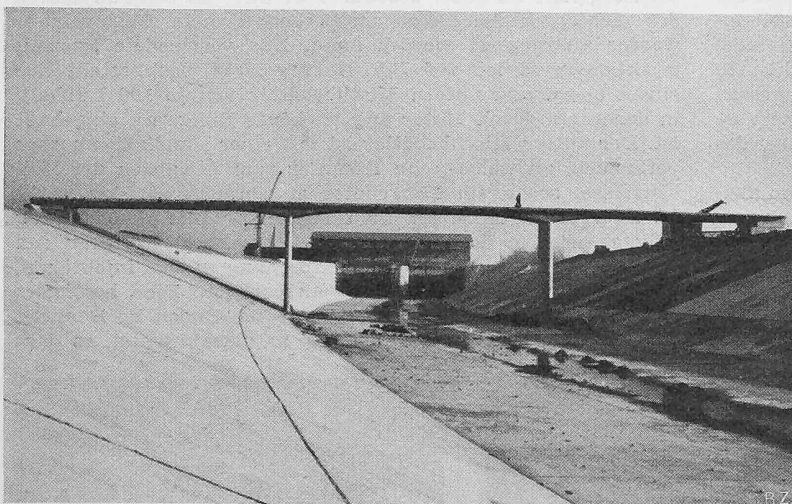
Bilder 14 bis 16: Draht horizontal liegend



Bilder 17 und 18. Aaresteg bei Innertkirchen, Kontinuierlicher Plattenbalken, Spannweiten 11,5+19,5+11,5 m, Trägerhöhe in Feldmitte 0,48 m, Vorgespannt mit 4 Kabeln mit je 60 t Vorspannkraft. Projekt: Obering. J. Bächtold, Innertkirchen und Ing.-Bureau M. R. Ros, Zürich



Bilder 19 und 20. Brücke über das Hilfswehr des Kraftwerks Wildegg-Brugg, Vorgespannte Trägerrippen  $0,41 \times 1,2$  m, als vorfabrizierte Träger am Ufer hergestellt. Total 4 Oeffnungen mit je 23 m Spannweite. Projekt: Ing.-Bureau E. Schübiger, Zürich.

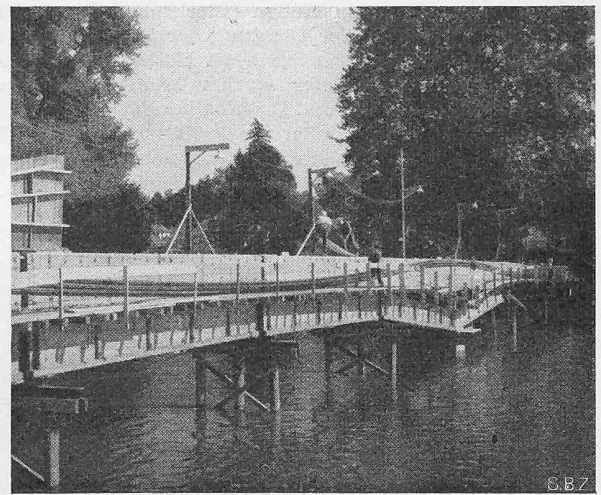
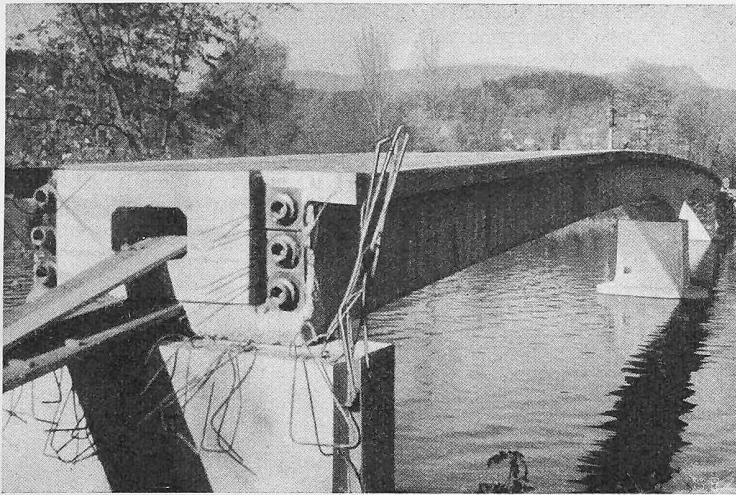


Bilder 21 und 22. Brücke über den Oberwasserkanal des Kraftwerks Wildegg-Brugg, rechts Injektion der Vorspannarmierungen, Vorgespannte kontinuierliche Massivplatte, Spannweiten 19,5 + 24,0 + 19,5 m, Plattenstärke in Feldmitte 0,40 m, totale Vorspannkraft 660 t. Projekt: Ing. E. Schübiger, Zürich.

hier noch eine zusätzliche Verankerung der Drähte vorhanden ist.

Die Vorspannarmierung, wie sie hier beschrieben wurde, erfüllt die nach Meinung der Verfasser an ein Vorspannverfahren zu stellenden technischen Bedingungen weitgehend. Diese Bedingungen können etwa wie folgt formuliert werden:

a) Verwendung von Stahldrähten höchster Festigkeit, daher grosser Federweg beim Anspannen, so dass Vorspannverluste aus Kriechen und Schwinden des Betons gering sind. Die Stahldrähte müssen genügende Bruchdehnung (6 ... 8% auf das 10fache des Durchmessers), grosse Kerbzähigkeit, geringes Kriechmass und genügende Ermüdungsfestigkeit besitzen.



Bilder 23 und 24. Aaresteg bei Aarau. Kontinuierlicher Plattenbalken über 3 Felder, Spannweiten 34,0 + 41,0 + 34,0 m, Brückenstärke in Feldmitte 1,25 m, totale Vorspannkraft 450 t. Projekt: Ing.-Bureau E. Schübiger, Zürich.

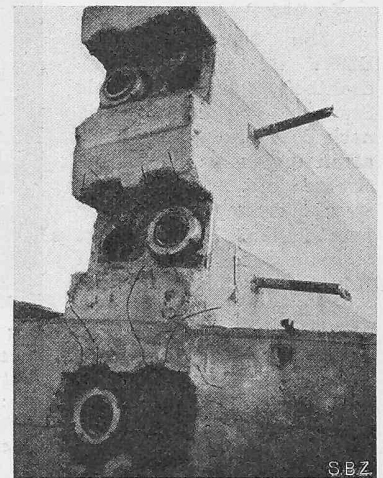
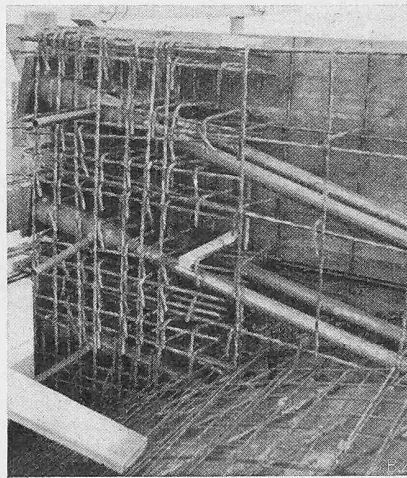


Bild 25. Fabrikneubau in Müntschemier. Vorgespannter Zugband für dreieckförmige Hallenbinder mit 20 m Spannweite, Vorspannkraft 40 t pro Zugband. Projekt: Ing.-Bureau Hartenbach & Wenger, Bern.

Bilder 26 und 27. Stadion Wankdorf in Bern. Tribünenstützen von 36 m Spannweite als Träger für vorkragende Zylinderschalen, Vorspannkraft pro Träger  $12 \times 80 = 960$  t. Rechts Vorspannarmierungen zum Teil schon gespannt. Projekt: Ing.-Bureau Hartenbach & Wenger, Bern.



Bild 28. Weberei Boller, Winkler & Cie. in Turbenthal. Schalenshed mit 30 m Spannweite, Vorspannung der Fensterträger mit je 2 Kabeln zu 80 t. Projekt: Ing.-Bureau A. Sabathy, Winterthur.

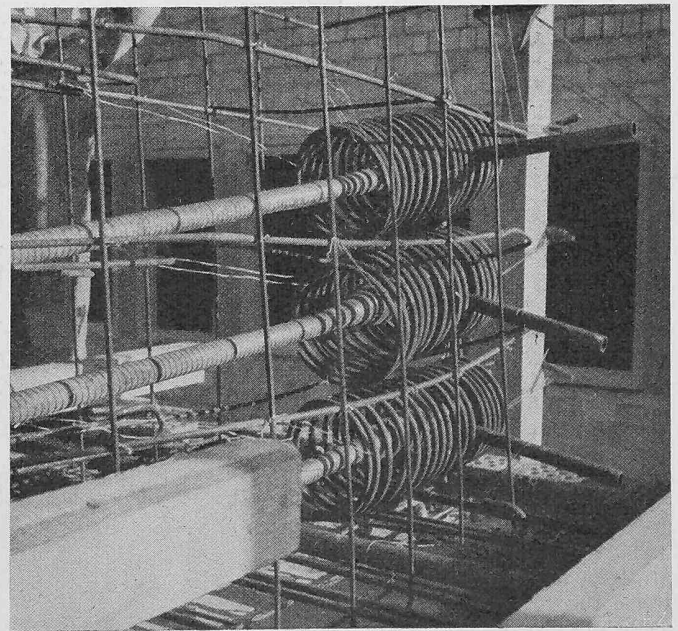


Bild 29. Neubau Kantonsspital Schaffhausen. Ueberzüge im Dachraum, Spannweite 18,0 m, Totale Vorspannkraft  $3 \times 55$  t. Spiralarmerung unter der Unterlagsplatte zur Verbesserung der Kräfteinleitung. Projekt: Ing.-Bureau A. Wildberger, Schaffhausen.

b) Verwendung von Hüllen (Blechrohren) ausreichender Wandstärke mit sauberer Dichtung der Stösse, so dass beim Betonieren keine Verletzungen dieser Hüllen eintreten können. Durch Verwendung solcher starker Hüllen wird auch die Reibung zwischen Hülle und Drähten herabgesetzt.

c) Zuverlässige Verankerung der Einzeldrähte am Hauptanker mit Gewähr, dass alle Drähte gleichmässig angespannt werden.

d) Möglichkeit der Vorspannung in mehreren Etappen unter Verwendung einer einwandfreien, handlichen Vorspanneinrichtung. Messung der Vorspannkraft und des Federweges.

e) Einwandfreie Einleitung der Vorspannkraft.

f) Anwendung einer wirkungsvollen Injektionstechnik, um einen ausreichenden Verbund der Vorspannarmierung mit dem Tragwerk zu gewährleisten.

### 3. Weitere Hauptankertypen

Die beim Verfahren BBRV verwendete Einzeldrahtbefestigung mittels Stauchanker erlaubt, je nach Bauaufgabe Vorspannarmierungen in beliebiger Grösse mit dem jeweils zweckmässigen Hauptanker herzustellen. Bild 9 zeigt beispielsweise einen festen Hauptanker für 42 Drähte  $\phi$  5 mm, bestehend aus Stahlplatte mit entsprechenden Löchern. Bild 10 zeigt einen Hauptanker für 42 Drähte  $\phi$  5 mm mit verlorenem Gewindestab. Bild 11 zeigt einen einfachen und billigen Hauptanker für 36 Drähte  $\phi$  5 mm, bei dem die Vorspannung durch Ausziehen der Stahlplatte (an welcher die Einzeldrähte befestigt sind) mittels Zange erzeugt wird. Durch Einlegen eines Stahlstückes wird dann diese Ankerplatte gegen die Unterlagsplatte festgestellt. Weiter zeigt Bild 12 einen Einzeldrahtanker für Drähte  $\phi$  6 mm (Vorspannkraft 3 t), wie er für die Herstellung von vorgespannten Betonfertigteilen verwendet wird. Der glatte Draht ist hier mit einem Gleitanstrich versehen, der das Spannen des Drahtes nach dem Erhärten des Betons gestattet, wobei auf den Verbund mit dem Beton verzichtet wird. Schliesslich zeigt das Bild 13 ebenfalls eine Einzeldrahtarmierung  $\phi$  6 mm mit einseitiger Schlaufenverankerung und anderseitiger Verankerung mit Gewindestiften und Mutter, wie sie beispielsweise für vorgespannte Eisenbahnschwellen oder auch als vorgespannte Bügel verwendet werden können.

Diese wenigen Beispiele zeigen, dass mit dem be-

schriebenen Verfahren, je nach Aufgabe, die zweckentsprechende Vorspannarmierung gebaut werden kann, mit Vorspannkraften von 3, 25, 50, 80 t, und grosse Einheiten bis 1000 t.

### 4. Versuche

#### A) Prüfung der Einzeldrahtverankerung

Die beim Verfahren BBRV meist verwendeten Stahl-

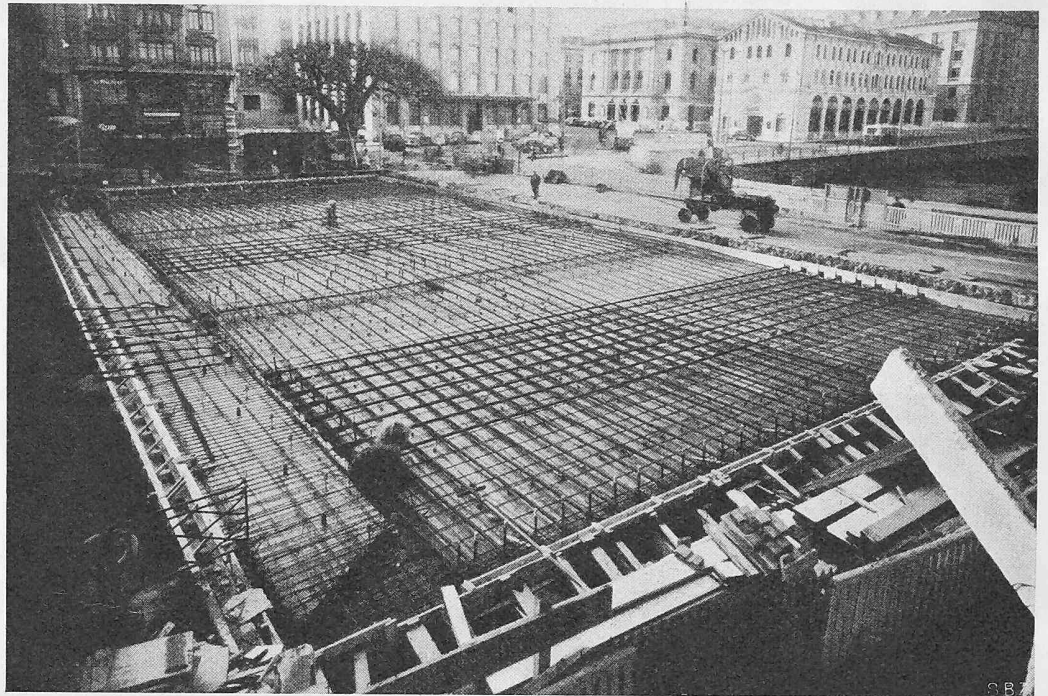


Bild 30. Ponts de l'Île in Genf, linker Arm, Kontinuierliche Massivplatte über 3 Felder mit Spannweite 14,5 + 14,0 + 14,0 m, Brückenbreite 44 m, Plattenstärke in Feldmitte 0,40 m, Totale Vorspannkraft in Längsrichtung 3000 t (37 Kabel), in Querrichtung 1900 t (24 Kabel). — Daten der Brücke über den rechten Flussarm: kontinuierliche Hohlplatte über 2 Felder mit Spannweite rd. 22 m, Brückenbreite 44 m, Plattenstärke 0,90 m, totale Vorspannkraft in Längsrichtung rd. 3800 t, in Querrichtung rd. 1700 t, Projekt: Ing.-Bureau Schubiger, Zürich, und Ing.-Bureau Tremblat, Genf.

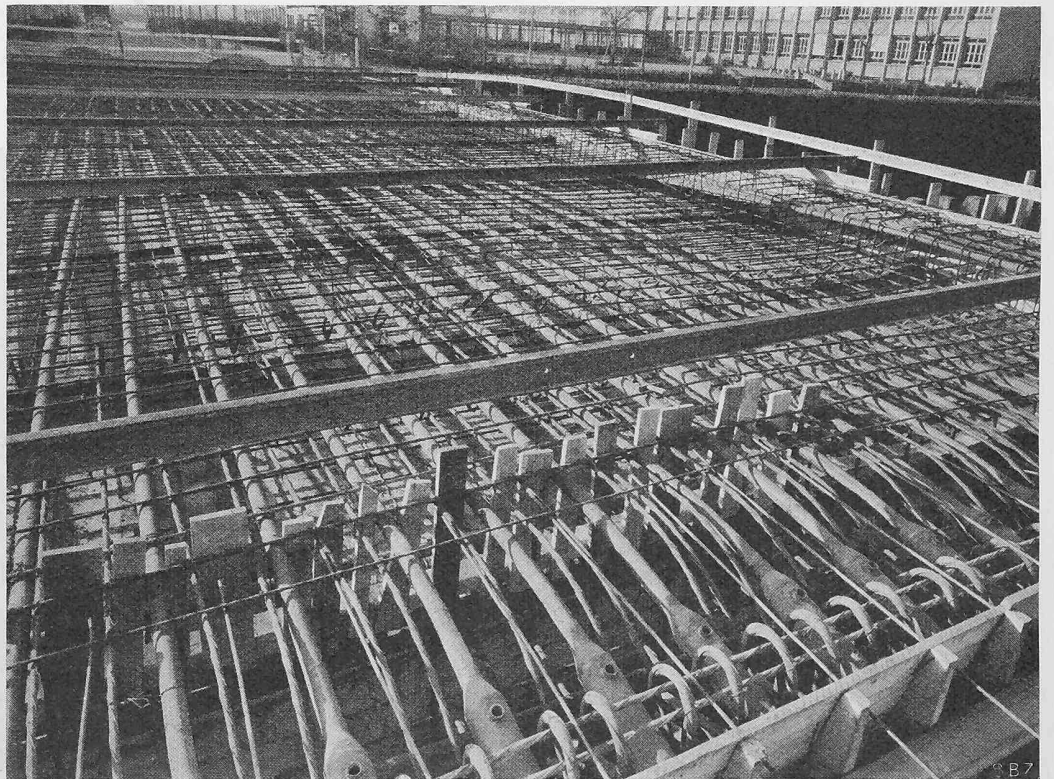


Bild 31. Marschalkenbrücke in Basel, Rahmenkonstruktion, bestehend aus 2 Flügelmauern in Eisenbeton und einem vorgespannten Riegel, als Massivplatte ausgebildet. Plattenstärke in Feldmitte 0,40 m, Fahrbahnbreite 9,00 m, totale Vorspannkraft in Längsrichtung 2200 t, in Querrichtung 1100 t. Projekt: Ing.-Bureau E. Schmidt, Riehen/Basel.

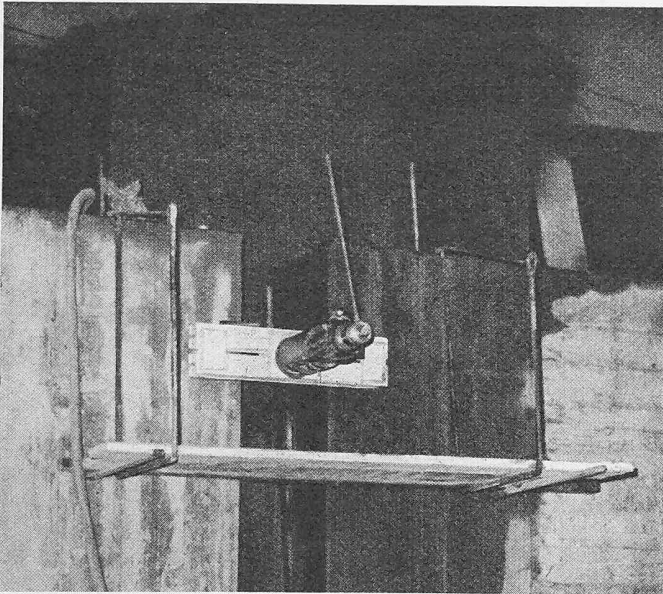


Bild 32. Felsverankerungen mit vorgespannter Armierung in der Kavernen-Zentrale Verbano. Verankerung der Gewölbekämpfer mittels Vorspannkabel von 20 bzw. 40 t Vorspannkraft. Länge der Vorspannkabel 12 bzw. 18 m im Bohrloch  $\phi$  55 bzw. 85 mm eingebaut und im Bohrlochende auf 2 m bzw. 3 m mittels Injektion verankert. Projekt: Obering. H. L ü t h i, Maggia-Kraftwerke S. A., Locarno.

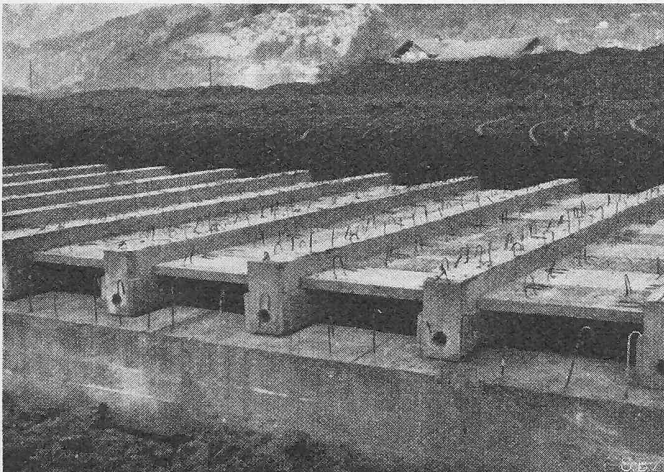


Bild 33. Bachüberdeckung in Unterbach bei Meiringen. Vorfabrizierte vorgespannte Träger  $L = 6,0$  m, jeder mit einer runden Aussparung, durch welche eine Vorspannarmerung 45 t durchgeschoben wurde. Zwischen den Trägern liegen vorgespannte Betonplatten, über die ein Aufbeton von 15 cm gegossen wurde. Projekt: Ing.-Bureau E. Nil, Meiringen.

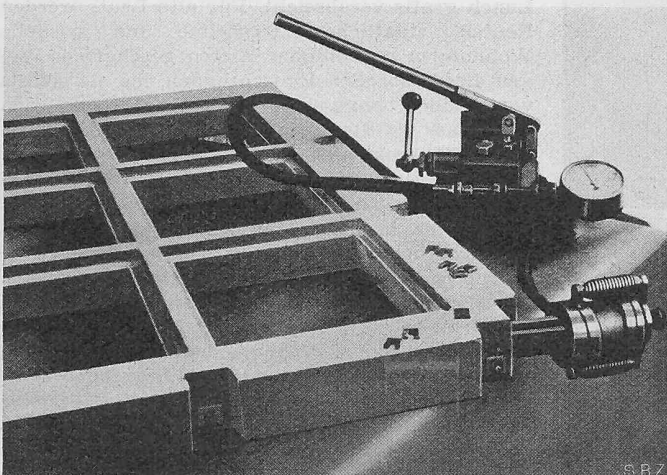


Bild 34. Vorgespannte Betonfenster. Vorspannung der Fenstersprossen mit bituminieren Einzeldrähten  $\phi$  6 mm, Vorspannkraft 3,0 t, Vorspannung in zwei zueinander senkrechten Richtungen. Ausführung: Stahltonwerk Bern AG.

drähte erfahren durch einen mehrmaligen, meist dreifachen Ziehvorgang nach patentiertem Verfahren eine ganz bedeutende Kaltreckung. Das so entstandene sorbitische Gefüge weist eine ausgesprochene Längsorientierung auf (Bild 14).

Obwohl der Gedanke der Verankerung eines Stahlstabes mittels aufgestauchtem Kopf schon seit langem in der Maschinenindustrie und im Bauwesen bekannt ist (in [8] wird z. B. das Verankern von Stählen ST 100 mittels warmerstellten Nietankern gezeigt), musste es zweifelhaft erscheinen, ob man auch bei solchen höchstwertigen Drähten durch Aufstauchen das Gefüge so verformen könne, dass ein Ankerkopf entsteht, ohne die hochgetriebenen Festigkeiten zu beeinträchtigen. Bis vor kurzem wurde auch in der Literatur die Meinung vertreten, dass das Aufstauchen von patentierten, gezogenen Stahldrähten zu Verankerungszwecken ohne Festigkeitseinbusse nicht möglich sei.

Dank der grossen Erfahrung von Ing. K. Vogt auf dem Gebiete der Stahldrahtfabrikation wurde nach umfangreichen Versuchen ein Weg gefunden, durch kaltes Aufstauchen unter hohem Druck einen Ankerkopf von ganz besonderer Form auch an höchstwertigen Drähten herzustellen, ohne dass eine Festigkeitseinbusse eintritt. Nachdem einmal dieser verheissungsvolle Weg gefunden war, musste die Frage der Zuverlässigkeit einer solchen Verankerung mit aller Sorgfalt geprüft werden.

#### Statische Zugversuche

Das Grundmaterial schweizerischer Provenienz wies folgende Charakteristiken auf: Durchmesser 5 mm, Streckgrenze  $\phi = 127,5$  kg/mm<sup>2</sup>, Zugfestigkeit  $= \beta_z = 154,1$  kg/mm<sup>2</sup>, Bruchdehnung  $\lambda_{10} = 8$  %. Der Mittelwert der an Stahldrähten durchgeführten Zugversuche, mit aufgestauchtem, in einer durchbohrten Platte verankertem Kopf, ergab  $\beta_z = 155,0$  kg/mm<sup>2</sup> (Extremwerte 158,2 bzw. 149,5 kg/mm<sup>2</sup>). Der Bruch erfolgte in den meisten Fällen im freien Teil des Drahtes. Die statische Zugfestigkeit der Verankerung beträgt somit 100 % der Festigkeit des Stahldrahtes selbst.

#### Mikrogefüge

Die metallurgische Untersuchung an einer aus einem Längsschnitt hergestellten Schliifprobe ergab, dass das normalerweise in Längsrichtung gestreckte sorbitische Vergütungsgefüge durch die Aufstauchung die Längsorientierung verliert. Durch die zusätzliche Kaltverformung im Kopf und in der Uebergangszone wird die Längsorientierung des Gefüges teilweise ganz aufgehoben, teilweise in eine zur Längsrichtung des Drahtes senkrechte Orientierung übergeführt. In Bild 15 sind die Gefügebilder für einen patentierten gezogenen Stahldraht wiedergegeben, in Bild 16 für einen patentierten gezogenen und schlussvergüteten Stahldraht.

#### Ermüdungsfestigkeiten

Normalerweise werden die Drähte nach beendeter Vorspannung durch Injektionen mit dem Beton zu einem Verbundkörper vereinigt, und eine Ermüdungsbeanspruchung der Verankerung tritt deshalb nicht ein. Eine solche ergibt sich dagegen für den Fall, dass durch Umhüllung des Drahtes z. B. mit einem bituminösen Anstrich die Verbundwirkung

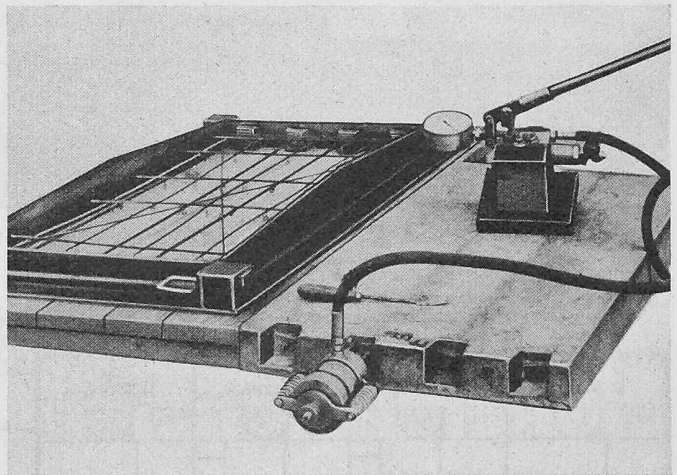


Bild 35. Vorgespannte Abdeckplatten 7/55/110 cm. Vorspannung mit 4 Einzeldrähten  $\phi$  6 mm, bituminiert und nach Erhärten des Betons angespannt. Vorspannkraft 12 t. Ausführung: Stahlton AG., Frick.



verhindert wird. Da der Draht im endgültigen Zustand (nach Beendigung des Schwindens und Kriechens) eine Spannung von 90 bis 100 kg/mm<sup>2</sup> aufweist, interessiert es, die Spannungsgrenzen festzustellen, welche zum Ermüdungsbruch führen. Eine Million Lastwechsel wurde zwischen folgenden Lastgrenzen ohne Bruchbildung überschritten: a) 90 bis 104 kg/mm<sup>2</sup>; b) 100 bis 114 ± 3 kg/mm<sup>2</sup>.

Bei einer Vorspannung von 90 bis 100 kg/mm<sup>2</sup> beträgt die zum Ermüdungsbruch führende Spannungssteigerung 14 ± 3 kg/mm<sup>2</sup>. Der Bruch tritt hier erwartungsgemäss im Uebergang zum Kopf ein. Die Verminderung der Ermüdungsfestigkeit gegenüber dem Ausgangsmaterial beträgt rd. 5 kg/mm<sup>2</sup>. Bestimmt man die Ursprungsfestigkeit und die Wechselspannungsfestigkeit, so ergeben sich Werte, die nicht unbeträchtlich unter den Festigkeiten des Ausgangsmaterials liegen. Es muss jedoch betont werden, dass beim richtig vorgespannten Beton eine Beanspruchung im Bereich  $\sigma_u$  oder  $\sigma_{u/2}$  niemals in Frage kommen kann und erst recht im Bereich der Verankerungen völlig ausgeschlossen ist.

Bauteile, die ausgesprochenen Ermüdungsbeanspruchungen unterworfen sind, wie z. B. Betonschwellen, Eisenbahnbrücken usw. weisen Spannungsänderungen auf, die in der Regel im Beton kleiner als 100 kg/cm<sup>2</sup> sind, was im Stahldraht 4 bis 5 kg/mm<sup>2</sup> entspricht. Bei nachträglicher Herstellung des Verbundes durch Injektion wird infolge der entsprechenden Verteilung der Spannungsamplituden immer die Ermüdungsfestigkeit der Stahldrähte, niemals aber die Ermüdungsfestigkeit der Verankerung für den Ermüdungsbruch massgebend sein.

#### Alterungsversuche

Die künstliche Alterung durch Lagerung während vierundzwanzig Stunden bei 250 °C zeigte im Rahmen der normalen Versuchsstreuungen keine Veränderung der Festigkeit der Verankerung.

#### B) Prüfung ganzer Kabel

Es sollte die Bruchlast eines aus  $n$  Stahldrähten gebildeten, paralleladrigen Kabels, das durch einzeln aufgestaute Köpfe in einem gemeinsamen Ankerkopf verankert war, festgestellt werden. Zugleich war festzustellen, ob die Gewindemutter, die während des Vorspannvorganges nachgestellt wird, gut bewegbar bleibt.

Kabel 16  $\phi$  5 mm: Die Bruchlast betrug 51,5 t (Bruch zweier Stahldrähte im freien Teil). Der Bruchlast entspricht eine Spannung von 165 kg/mm<sup>2</sup> im Stahldraht. Die Zugfestigkeit der verwendeten Stahldrähte lag höher als bei der Versuchsreihe A.

Kabel 24  $\phi$  5 mm: Die Bruchlast betrug 83,5 t (Bruch eines Teiles der Stahldrähte im freien Teil). Die Bruchlast entspricht einer Drahtspannung von 177 kg/mm<sup>2</sup>. Infolge der zeitlichen Staffelung der Versuche wurde auch hier ein Draht mit höherer Zugfestigkeit als bei den Versuchen unter A verwendet.

Die Versuche bestätigen, dass die Bruchlast eines aus  $n$  parallelen Drähten bestehenden Kabels, das durch einzeln aufgestaute Köpfe in einen gemeinsamen Ankerkopf verankert ist, gleich dem  $n$ -fachen Produkt der Bruchlast der Einzeldrähte ist.

#### 5. Anwendungen

Aus der grossen Zahl der bis heute nach dem beschriebenen Verfahren vorgespannten Bauwerke werden in den Bildern 17 bis 35 einige kurz erläutert. Die ausgewählten Beispiele sollen vor allem die Einfachheit, Anpassungsfähigkeit und Zuverlässigkeit der Methode BBRV zeigen.

#### Literaturverzeichnis

- [1] Siehe u. a. J. Guyon, Béton Précontraint avec Préface de E. Freyssinet, Editions Eyrolles, Paris 1951.
- [2] G. Magnel, Le Béton Précontraint, Editions Fecheyr, Gand 1948.
- [3] M. Beteille, Pont de la Genevraye; Journées intern. 1950 de l'Association scientifique de la précontrainte, Editions «Travaux», Paris.
- [4] F. Leonhardt und W. Baur, Brücken aus Spannbeton. «Beton- und Stahlbetonbau», H. 8/9, 1950.
- [5] U. Finsterwalder und H. König, Die Donaubrücke beim Gästor in Ulm, «Der Bauingenieur», Jahrgang 26, 1951, H. 10.
- [6] M. Morandi, Exposé dans Journées internationales 1950 de l'Association scientifique de la précontrainte, Editions «Travaux», Paris.
- [7] M. R. Ros, Konstruktionen in Prepakt-Beton, «Schweiz. Bauzeitung», 66. Jahrgang, Heft 23, 5. Juni 1950.
- [8] E. Mörsch, Spannbetonträger; Stuttgart 1943.

Das hier beschriebene Verfahren, sowie die Geräte sind patentrechtlich geschützt und werden in der Schweiz durch die Firma Stahlton AG., Zürich, verwendet. Lizenzvergaben und Geräteverkauf durch das Bureau BBR in Zürich, Rämistrasse 6.



Bild 23. Wohnungen für junge Ehepaare in Gentofte. Scharfe Konturen, hervorgerufen durch Weglassen der Dachvorsprünge. Rechts der Kindergarten.

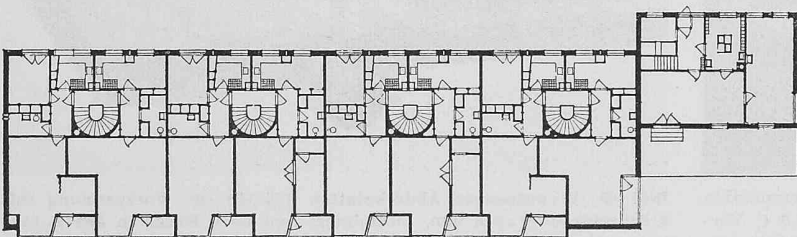


Bild 24. Gentofte. Erdgeschossgrundriss 1:500.

## Dänische Architektur der Gegenwart

Von Arch. KLAUS NAEFF, Zürich

DK 72 (489)

Schluss von Seite 103

### Wohnungsbau

In einem von Sozialdemokraten regierten Land wie Dänemark sind die Beziehungen des Einzelnen zum Staate andere als bei uns. Schon bei der Geburt oder bei einem Spitalaufenthalt wird ein grosser Teil der Kosten vom Staat übernommen. Der Schulbesuch ist vollkommen kostenlos, und den Schülern wird die Milch zum Lunch gratis verabreicht. Für alte Leute werden Renten, staatliche Altersheime und spezielle Wohnungen mit billigen Mieten geschaffen. Wegen diesen sozialen Einrichtungen, die als selbstverständlich angesehen werden, zeigt es sich aber, dass die Steuern, besonders schon bei mittleren Einkommen, bedeutend höher sind als bei uns. Während einerseits die Forderungen steigen, nehmen andererseits Leistung und Initiative ab. Gerade im Bauwesen zeigt sich diese üble Tendenz, indem langsam und ohne eigenen Antrieb gearbeitet wird, was sich wieder auf eine Verteuerung und längere Bauzeit eines Gebäudes auswirkt.

Dem sozialen Wohnungsbau wird in Dänemark ein grösseres Interesse entgegengebracht, als dies in der Schweiz der Fall ist. Baugesellschaften und Genossenschaften existieren schon beinahe 100 Jahre. Sie entsprachen damals schon einem Bedürfnis. In den achtziger Jahren tauchte der Gedanke des sozialen Wohnungsbaues zum erstenmal auf, und zwar in der Form, dass vom Staate Darlehen zu niedrigen Zinsen abgegeben wurden. Diesem Unternehmen war aber kein