Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 77 (1959)
Heft: 31

Artikel: Vorfabrikation und Industrialisierung in Spannbeton in den USA
Autor: Caprez, Gian
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-84293

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.12.2025

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

Nur in einem Projekt wird die Qualität der in Vorschlag gebrachten Schule besonders hervorgehoben, doch werden an den übrigen Bauten eine ganze Reihe wesentlicher Mängel aufgedeckt, woraus zu schliessen ist, dass der Verfasser die Vorteile seiner Schullösung nur auf Kosten der übrigen Bauten erkaufen konnte. Aus diesem Vergleich der Projektbeschreibungen kann doch geschlossen werden, dass das Programm mit Schule und Kindergarten überlastet war, und im übrigen kann man auch ohne die Analyse des Wettbewerbergebnisses festhalten, dass eine Schule nun einfach nicht mehr in ein städtisches Verkehrs-, Geschäfts- und Kulturzentrum gehört, besonders dann nicht, wenn der zur Verfügung gestellte Platz nur 6850 m² misst und laut Programm für Schulhaus, Kirchgemeindehaus, Bürohochhaus, Läden und Zufahrten zu den unterirdischen Garagen usf. zu dienen hat.

Hans Marti

Aus dem Bericht der Expertenkommission

Die Beurteilung der Entwürfe durch die Expertenkommission erfolgte am 17., 18. und 19. Februar 1959 in der Turnhalle Kanzleistrasse. Die Vorprüfung der eingereichten Entwürfe durch das Hochbauamt der Stadt Zürich ergab, dass alle Projekte grössere oder kleinere Abweichungen vom Programm aufwiesen, wie Ueberstellungen der Baubegrenzung, Abweichungen von Raumgrössen usw. Die Expertenkommission erachtet aber keine Abweichung für so schwerwiegend, dass ein Projekt zur Beurteilung nicht zugelassen werden könnte.

Nach Besichtigung des Bauplatzes und eingehender Prüfung der Projekte erfolgt eine Einteilung der Entwürfe in zwei Gruppen, wobei die Projekte Nrn. 1, 3, 5, 6, 8 und 11 trotz verschiedener Qualitäten als zur Ausführung weniger geeignet bezeichnet werden.

Die Expertenkommission stellt fest, dass sämtliche Arbeiten ein hohes Niveau aufweisen und eine ganze Reihe wertvoller Vorschläge vermitteln. Alle Projekte besitzen eine ähnliche Grundkonzeption, indem sie die Kreuzung der Langstrasse mit der Stauffacherstrasse durch ein Bürohochhaus betonen. Die Anordnung der Ladengeschäfte längs der Langstrasse ist fast allen Projekten gemeinsam. Bei verschiedenen Projekten wurden leider die Interessen der Schule zugunsten der anderen Bauaufgaben vernachlässigt.

Nach eingehender Diskussion bezeichnet die Expertenkommission einstimmig das Projekt Nr. 12, Kennwort «H 58», als die beste Lösung und beantragt, den Verfasser dieses Projektes mit der Weiterbearbeitung zu beauftragen.

Schluss folgt.

Vorfabrikation und Industrialisierung im Spannbeton in den USA

DK 624.012.47.002.22

Von **Gian Caprez**, dipl. Ing., Genf

1. Allgemeines

Im Zeitpunkt, da auch in der Schweiz die Vorfabrikation mehr Wurzeln zu schlagen scheint, dürfte es interessant sein, Vergleiche mit den Ländern zu ziehen, in welchen diese Bauweise schon stark Fuss gefasst hat. Vorfabrikation ist ein integrierender Bestandteil der Industrialisierung im Bauwesen. Man denkt dabei unmittelbar an die beiden Grossstaaten USA und UdSSR. Die Entwicklung bei uns dürfte jedoch zuerst einmal eine direktere Beziehung zu einigen europäischen Ländern haben, wie England, Frankreich, Dänemark, Schweden, Finnland und Italien (Nervi!). Es sei hier auf eine Reihe sehr interessanter Aufsätze im technischen Teil der «Gazette de Lausanne» vom 7. März 1958 verwiesen. Vielleicht ist es dennoch nicht abwegig, den Blick auch nach den USA und der UdSSR zu richten, obwohl in diesen Gross-Staaten ganz andere Masstäbe als bei uns gelten. So wie die USA vieles von den Europäern übernommen haben, insbesondere gerade die Vorspannung, so übernehmen auch wir immer wieder Methoden von den Amerikanern; man denke nur an die Entwicklung der riesigen Baumaschinen nach dem zweiten Weltkrieg.

Sowohl in den USA wie auch in der UdSSR haben das starke Anwachsen der Bevölkerung und die Konzentration der Industrie und der Bevölkerung nach der Vorfabrikation gerufen. In den Vereinigten Staaten waren die hohen Arbeitslöhne und die Beschleunigung des Konstruktionstempos mit dem Ziel der früheren Verwertung des Kapitals ausschlaggebend. In Russland waren der Plan, die Nachkriegskonstruktionen und der Mangel an qualifizierten Arbeitern treibende Faktoren.

Die Vorlesung von Prof. Dr. *V V. Mikhailov* «Automatisierung in der Produktion von vorgespannten Elementen» an der Weltkonferenz für Spannbeton 1957 in San Francisco vermittelt einen guten Einblick in die heutigen Konstruktionen in Russland. Man schlägt dort ganz andere Wege ein als in der westlichen Welt. Auf riesigen, maschinell drehbaren Spanntischen werden recht komplizierte Elemente, wie Fachwerke, kontinuierlich vorgespannt, indem der Stahl zuerst aufgespannt und dann einbetoniert wird. Von einem zentralen Kommandoposten aus wird der Herstellungsvorgang gesteuert und so ein erstaunlich hoher Grad der Automatisierung erreicht. Alledings scheint die Qualität dieser Erzeugnisse noch keinen sehr hohen Stand aufzuweisen.

2. Historische Entwicklung in den USA

Während sich der Spannbeton in Europa seit Jahrzehnten langsam durchsetzt, kam er in den USA viel später auf. Wohl wurden während des zweiten Weltkrieges infolge Stahlverknappung einige runde Behälter vorgespannt. Noch vor zehn Jahren aber war der Spannbeton sogar den amerikanischen Betonfachleuten praktisch unbekannt. Als Markstein gilt die im Jahre 1950 erstellte Walnut-Lane-Brücke in Philadelphia. Sie ist die erste vorgespannte Brücke in diesem Land, wurde von Prof. Magnel projektiert und ist an Ort und Stelle mit *posttensioned concrete* [1]) gebaut (posttensioning ist die bei uns gebräuchliche Methode des Spannens nach dem Erhärten des Betons). Es wurden einige weitere Konstruktionen mit dieser Methode ausgeführt. Wegen den hohen Arbeitslöhnen bei verhältnismässig niedrigen Materialkosten konnte sie sich jedoch wirtschaftlich nicht durchsetzen.

Bald fanden amerikanische Ingenieure ihren Schlüssel zur Vorspannung: Die Industrialisierung. Und die Methode hiess *precast prestressed concrete* (precast = vorfabriziert; prestressed concrete = Spannbeton im allgemeinen). Der Weg wurde häufiger im *precast pretensioned concrete* (Spannen vor Betonieren), wie es damals schon in Skandinavien praktiziert wurde, als im *precast posttensioned concrete* gesucht und gefunden. Noch im Jahre 1950 wurde in Pennsylvania die erste Spannbetonfabrikanlage gebaut. Bild 1 zeigt eine solche Anlage, bei der sich, wie dies meist der Fall ist, der ganze Fabrikationsprozess unter freiem Himmel abspielt. Diese Anlage enthielt ein kleines Spannbett von 38 m Länge und 90 cm Breite. Es wurden 7-drähtige Litzen von 6,35 mm ⌀ (¼") verwendet. Bald kamen weitere Spannbetonfabriken mit mehreren, breiteren und längeren Spannbetten hinzu, woraus die sog. *long-line production* entstand, bei der mehrere Elemente in einer Linie auf dem gleichen Bett hergestellt werden. Im Jahre 1953 zählte man rund ein Dutzend noch eher kleinerer

[1]) Auf besondern Wunsch des Verfassers lassen wir diese englischen Ausdrücke stehen mit der Begründung, dass ebenso kurze deutsche Bezeichnungen sich anscheinend nicht eingebürgert haben. Ing. G. Steinmann hat zwar hier schon 1950 (S. 547) die folgenden Ausdrücke empfohlen:
pre-tensioning = Vor-Spannung = pré-contrainte
post-tensioning = Nach-Spannung = post-contrainte. Red.

Spannbetonfabriken. Dann folgte eine stürmische Entwicklung, die sogar in Amerika ihresgleichen sucht. So schnellte z. B. die Zahl der Spannbetonfabriken in der zweiten Jahreshälfte 1957 von etwa 275 auf 378, was einer Zunahme von fast 40 % in einem halben Jahr entspricht. Heute bestehen weit über 400 Spannbetonfabriken. Die meisten besitzen eine grössere Anzahl von Vorspannbetten mit durchschnittlichen Längen von 100 m. Der vorfabrizierte Spannbeton hat seine Kinderjahre überwunden und nimmt eine entscheidende Stellung im amerikanischen Markt ein (Jahresumsatz 1957 400 Mio $).

Wenn auch die amerikanischen Spannbetonfachleute ungeheuer stolz auf ihre Erfolge sind, so vergessen sie doch nicht, ihren Fortschritt der Vorspanntechnik und den Ingenieuren Europas gebührend zu verdanken. Nicht zuletzt ist diese schnelle Entwicklung aber auch durch die Aufgeschlossenheit des Amerikaners gegenüber dem Neuen ermöglicht worden.

3. Technische Entwicklung, Marktverhältnisse

Trotz oder gerade wegen dieses raschen Siegeszuges des vorfabrizierten Spannbetons ist die Entwicklung aber gar nicht schmerzlos und ohne Rückschläge vor sich gegangen. Die Spannbetonpioniere hatten mit zwei Problemen zu kämpfen: Technische Neuheit und Amerikanischer Markt.

Einige amerikanische Ingenieure unternahmen zu Beginn der fünfziger Jahre ausgedehnte Studienreisen nach Europa, um dann die europäischen Methoden den amerikanischen Verhältnissen anzupassen. Die Unternehmer hatten in ein Gebiet überzugehen, wo die nötigen Grundlagen fehlten. Es machte sich sofort ein starker Mangel an theoretisch und praktisch genügend geschultem Personal, zuständigen Firmen und Lieferanten von Vorspannprodukten bemerkbar, der teilweise heute noch andauert. Kleinere und grössere Misserfolge in der Produktion traten deshalb recht häufig auf. Auch eine Anzahl von Unfällen sind auf ungenügende Kenntnis der neuen Methode zurückzuführen. Man denke z. B. an die möglichen Gefahren, die in den bis zu 135 kg/mm² gespannten Litzen und in den totalen Vorspannkräften bis zu 1100 t pro Spannbett liegen. Ein Bruch einer Litze oder gar einer gesamten Endverankerung kann katastrophale Folgen haben. Durch die aufgespeicherte Energie können Litzen beim Bruch augenblicklich raketenhafte Geschwindigkeiten annehmen.

Die amerikanische Marktlage unterscheidet sich nicht nur durch andersgestaltete Wirtschaft und andere Masstäbe von der unsrigen; es ist auch die viel stärkere Verbreitung des Stahlbaues zu beachten. Der Spannbeton hatte in diesem Rahmen seine Wirtschaftlichkeit und hervorragende Qualität zu beweisen. Während letzteres für uns Europäer längst zur Selbstverständlichkeit geworden war, wurde es in Amerika nochmals durch Forschung und Prüfung belegt. Um die Wirtschaftlichkeit zu erreichen, waren eigene Wege einzuschlagen. Man hatte sich ganz auf Massenproduktion

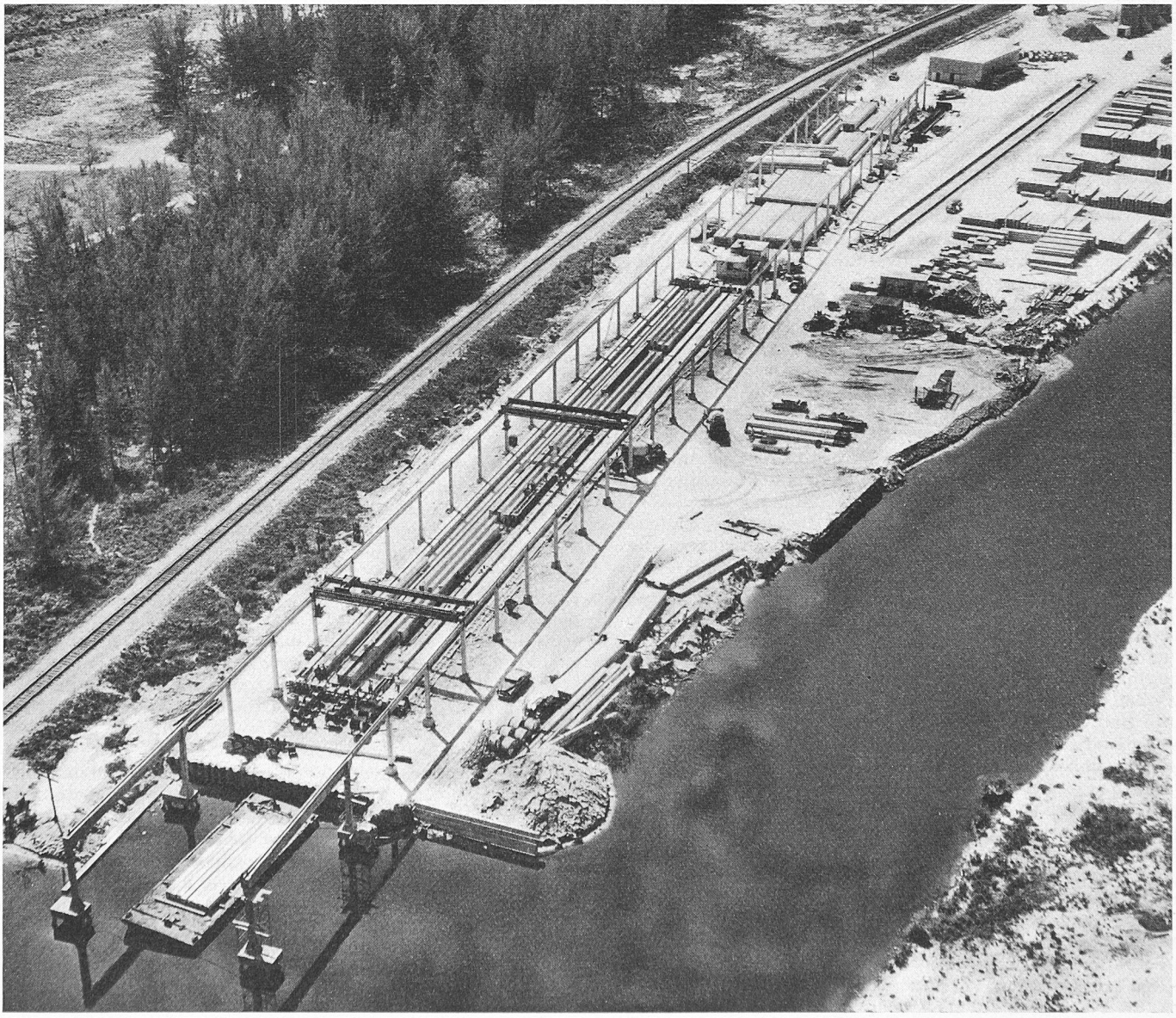

Bild 1. Spannbetonfabrik in Florida mit Wasserladefront. Photo R. H. Wright & Son, Fort Landerdale, Florida

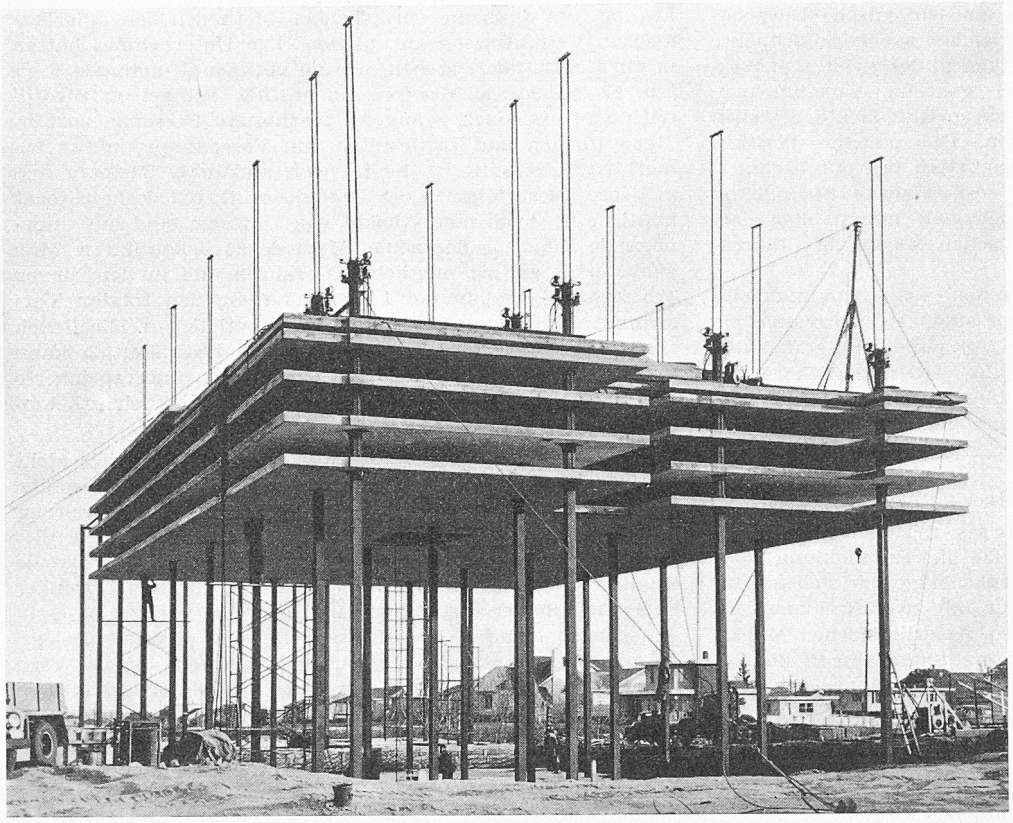

Bild 2. Liftslabkonstruktion. Die Decken sind mittels den oben auf den Säulen montierten Pressen um eine erste Etappe gehoben worden. Die unterste Decke ist noch an den Zugstangen befestigt, welche nun weit über die Pressen hinausragen. Anschliessend werden die Stahlsäulen verlängert und die Pressen oben auf die Verlängerung gesetzt. Von dort aus setzen sie ihre Hubarbeit fort. Photo American Concrete Institute, Detroit, Michigan

mit arbeitssparenden Methoden einzustellen. Materialersparnis war nur ein sekundärer Gesichtspunkt. Erst die Entwicklung der schweren Baumaschinen und das Vorspannen machten das schon längst bekannte Vorfabrizieren konkurrenzfähig. Die Möglichkeiten wurden durch das grosse Bauvolumen in den Strassen- und Autobahnbrücken sowie im Hochbau eröffnet, wo die Vorspannindustrie hauptsächlich Brückenträger bzw. Dachelemente zu liefern begann. Ein Zahlenbeispiel: Bis 1953 wurden vorgespannte Elemente für folgende Flächen geliefert: 46 000 m² für Brücken und 28 000 m² für Gebäude; 1955 waren es rund 400 000 m² für Brücken und 800 000 m² für Gebäude. 1956 wurde die Vorjahresproduktion wieder nahezu verdoppelt. Finanziell aber nehmen die Brücken die weitaus erste Stellung ein.

Diese Resultate sind in grossem Masse einer sehr starken Standardisierung der Querschnitte zu verdanken. Diese Aufgabe wurde durch die grossen Unterschiede der Bauvorschriften in den einzelnen Staaten nicht erleichtert. Wohl haben staatliche Büros wie auch Vorspannverbände Spannbetonnormen herausgegeben, die auf ein tiefgehendes Studium der europäischen Normen und Empfehlungen zurückgehen. Sie haben jedoch nur wegweisende Wirkung und werden von den öffentlichen und privaten Bauherren für ihre Bauten nach Belieben geändert. Im allgemeinen ist die Vorspannfirma nur Unterakkordant eines Unternehmers, der das ganze Bauwerk übernimmt. Die Vorspannkonstruktion ist weitgehend durch den Bauherrn oder seinen Projektverfasser gegeben, so dass dem Konstrukteur enge Schranken gesetzt sind. Damit wird erreicht, dass der gesetzte Standard von verschieden guten Firmen erfüllt werden kann. Man setzt grosse Erwartungen in diese neue Bauweise. Es ist ein offenes Geheimnis, dass manche Unternehmer lange Zeit unter Selbstkostenpreis liefern, um ins Geschäft zu kommen. Der Verlust wird dann durch andere Produktionszweige gedeckt. Viele Unternehmer geben auch nach einem ersten Versuch das Vorspannen wieder auf, da sie meist mangels genügender Kenntnis technische oder finanzielle Rückschläge erlitten.

Der vorfabrizierte Spannbeton hat sich nun aber so stark entwickelt, und es eröffnen sich ihm derartige Möglichkeiten, dass er den Stahlbau gefährlich konkurrenziert. Er erobert sich nicht nur auf Kosten des Eisenbetons, sondern auch des Stahlbaues immer weitere Gebiete. Beim Lesen der unzähligen Betonzeitschriften fällt die Ueberschwemmung mit Spannbetonaufsätzen und Reklamen für Vorspannprodukte auf. Die Produzenten gehen typisch amerikanische Wege, indem auf das Verkaufen der Spannbetonelemente ebenso grosses Gewicht gelegt wird wie auf das Produzieren: Handel, Marktforschung, Propaganda, Absatzförderung nehmen einen breiten Raum ein. Es wird eine zunehmende Standardisierung zu verzeichnen sein. Man nimmt an, dass in absehbarer Zeit in jeder grösseren Ortschaft Spannbetonfabriken stehen werden, so dass man Spannbetonelemente in bestimmten Profilen und Längen genau so bestellen kann, wie man Stahlprofile bestellt. Dabei hat der vorfabrizierte Spannbeton gegenüber dem Stahl noch den Vorteil, in der Erzeugung nicht an grosse Zentren gebunden zu sein; er erlaubt viel mehr lokale Arbeit.

4. Ueberblick über die jetzigen Vorfabrikationsmethoden

Im amerikanischen Vorfabrikationsmarkt haben die Spannbetonfabriken kein Monopol. Abgesehen davon, dass oft gleiche Spannbetonelemente wie in der Spannbetonfabrik auch auf der Baustelle selbst mittels precast posttensioning hergestellt werden, spielen zwei weitere Vorfabrikationsmethoden, die an die Baustelle gebunden sind, eine wesentliche Rolle: Vorgespannte Liftslabs und Tilt-Up.

Die *Liftslabs* verzeichnen ebenfalls ihre Hauptentwicklung in diesem Jahrzehnt. Bei dieser Bauweise werden sämtliche Decken eines Gebäudes direkt übereinander auf der Fundament- oder einer Deckenplatte betoniert und dann mittels auf den Tragsäulen montierten Pressen in mehreren Etappen in die Höhe gehoben (Bild 2), wobei besonders auf die Synchronisierung der Pressen zu achten ist [2]). Die Vorteile dieses Verfahrens sind mannigfaltig: Abkürzung der Bauzeiten, fast vollständiges Wegfallen der Schalungen, Installationen im Beton und Betonierung am Erdboden, unterzugfreie Konstruktion, Wirtschaftlichkeit, Vorspannung bewirkt eine dem Eigengewicht und der Nutzlast entgegengesetzte Durchbiegung.

Tilt-Up. Eine nennenswerte Entwicklung setzte hier von 1947 an ein. Am häufigsten vertreten ist diese Methode in Südkalifornien, wo jetzt 80 % der dort sehr häufigen einstöckigen Industrie- und Geschäftsbauten mit Tilt-Up gebaut werden. Die Gebäudewände werden auf der Erdgeschossplatte betoniert und dann in die endgültige Lage aufgeklappt (Bild 3). Diese Betonwände werden hie und da auch vorgespannt.

Daneben gibt es noch einige weniger bekannte Vorfabrikationsprodukte, wie z. B. allgemein vorfabrizierte Gebäudewände.

[2]) Siehe die ausführliche Darstellung in SBZ 1957, S. 641.

5. Gebräuchliche Produkte der Spannbetonfabriken

Hier nun sind ein ungeheurer Formenreichtum und viele Anwendungsgebiete zu verzeichnen. Am häufigsten werden erstellt: Brückenträger und Dachelemente, sodann Träger im Hochbau, Brückenplatten, Platten im Hochbau, Pfähle, hauptsächlich für Brücken- und Hafenfundationen, Masten, Spundwände. Mehr noch im Versuchsstadium sind: Vorfabrizierte vorgespannte Behälter, Betonstrassenplatten und Eisenbahnschwellen.

Die üblichen Profile sind: für Träger im Brücken- und Hochbau I, T, I, ⊓ □; für Dachelemente ⊓ und ⊓. Im Gebiet der Pfähle hat sich die Raymond International Inc., wo der Schweizer Ingenieur *M. Fornerod* eine führende Stellung einnimmt, in Nord- und Südamerika eine Position geschaffen. Die Pfähle bestehen aus Betonröhren, die mittels posttensioning zusammengefügt werden. Viele Firmen erzeugen durch pretensioning sehr mannigfaltige Pfahlformen: runde, quadratische, polygonhafte, volle und hohle. Auch Spundwandformen werden so hergestellt. Diese Pfähle werden dann mit Rammen in den Grund getrieben.

6. Ausgeführte Konstruktionen

Es seien hier aus der Unzahl der Brücken und Hochbauten, die ganz oder teilweise vorfabriziert wurden, einige typische Beispiele aufgeführt. Das wohl bekannteste ist die Lake Pontchartrain-Brücke bei New Orleans, welche in der SBZ vom 15. Februar 1958 (S. 99) besprochen wurde. Die Brücke ist 38,5 km lang und 10 m breit. Die Spannweite jeder Oeffnung beträgt 17 m. Pro Oeffnung wurde ein einziges, 166 t schweres Element, aus Trägern und Fahrbahnplatte bestehend, vorfabriziert und versetzt. Bild 4 zeigt die hundertfache Verwendung gleicher Träger im Brückenbau. In Bild 5 sehen wir eine Brücke, die mit Kastenprofilträgern wie ein Baukastenspiel zusammengesetzt wird. Man beachte, dass jedes gesetzte Feld sofort zum Placieren des nächsten verwendet werden kann. Die Brücke ist nach dem Versetzen der Träger und deren Querverbindung, abgesehen vom Belag, praktisch fertig. Dieses System ist verhältnismässig materialverschwenderisch, dafür aber in der Errichtung sehr einfach. Ein Beispiel eines vollständig vorfabrizierten Fabrikgebäudes vermittelt Bild 6.

Die meisten Bauwerke setzen sich wie obige Beispiele aus sehr einfachen Elementen zusammen. Dies ist bedingt durch die amerikanischen Produktionsverfahren. Kompliziertere und interessantere Gesamtkonstruktionen der Vorfabrikation, wie man sie in Skandinavien zum Beispiel antrifft, werden im allgemeinen vermieden. Eine Ausnahme bildet eine Firma im Staate Washington. Sie versucht sich bei jeder Gelegenheit in aussergewöhnlichen Konstruktionen, welche sie oft sogar aus eigener Initiative projektiert und dann zur Ausführung vorschlägt. So hat sie letzthin ein an Pylonen und Drahtseilen aufgehängtes Schulhaus und eine vollständig vorfabrizierte Fussballtribüne erstellt. Der Inhaber erscheint den amerikanischen Ingenieuren fast als ein Rufer in der Wüste. Zurzeit sind fast alle seine Ingenieure junge Schweizer.

Bild 3. Tilt-Up-Konstruktion. Man beachte die drei Phasen: Betonieren am Boden, Aufklappen und provisorisches Verstreben in der Endlage. Photo Portland Cement Association, Los Angeles, California

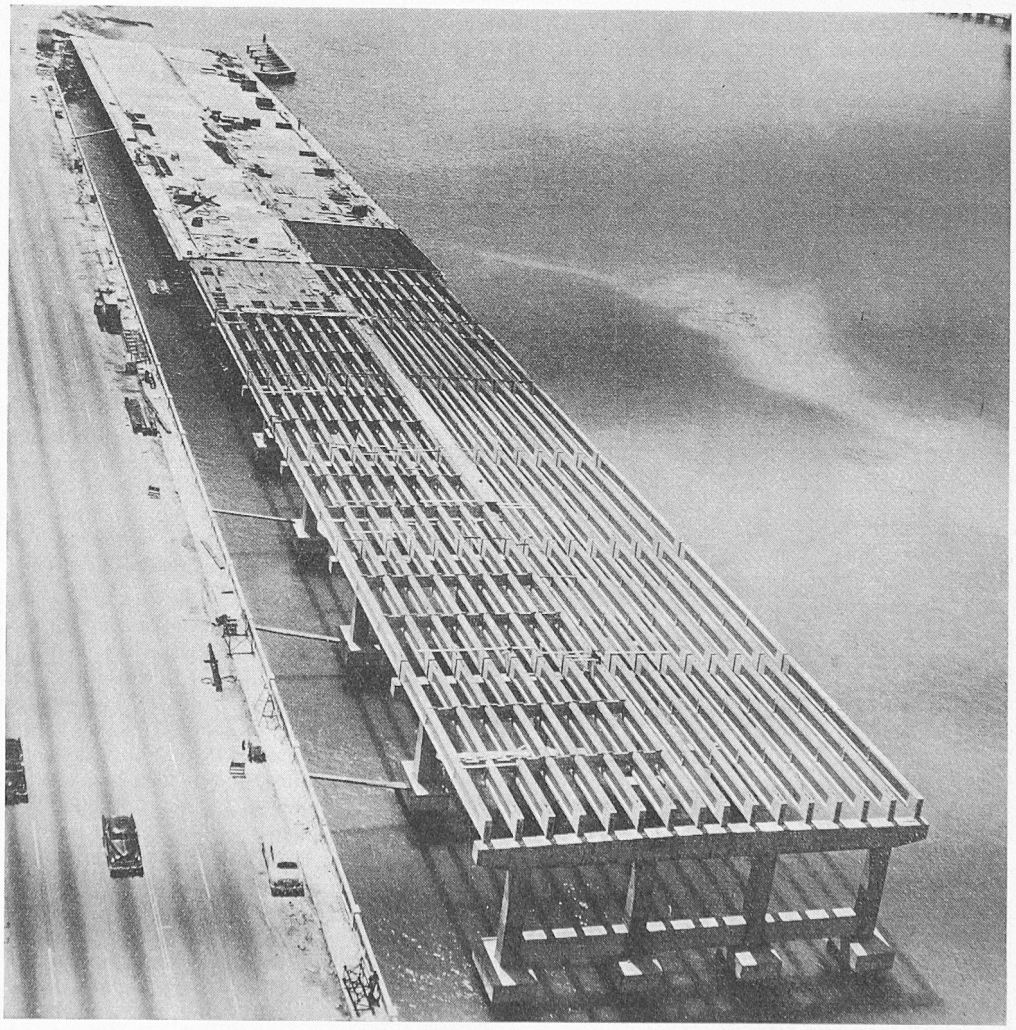

Bild 4. Mac Arthur Causeway Brücke in Florida. Pfähle in pretensioned concrete. Brückenträger kombiniert pretensioned und posttensioned. Beton mit Pozzolithzuschlägen. Photo The Master Builders Co., Cleveland, Ohio

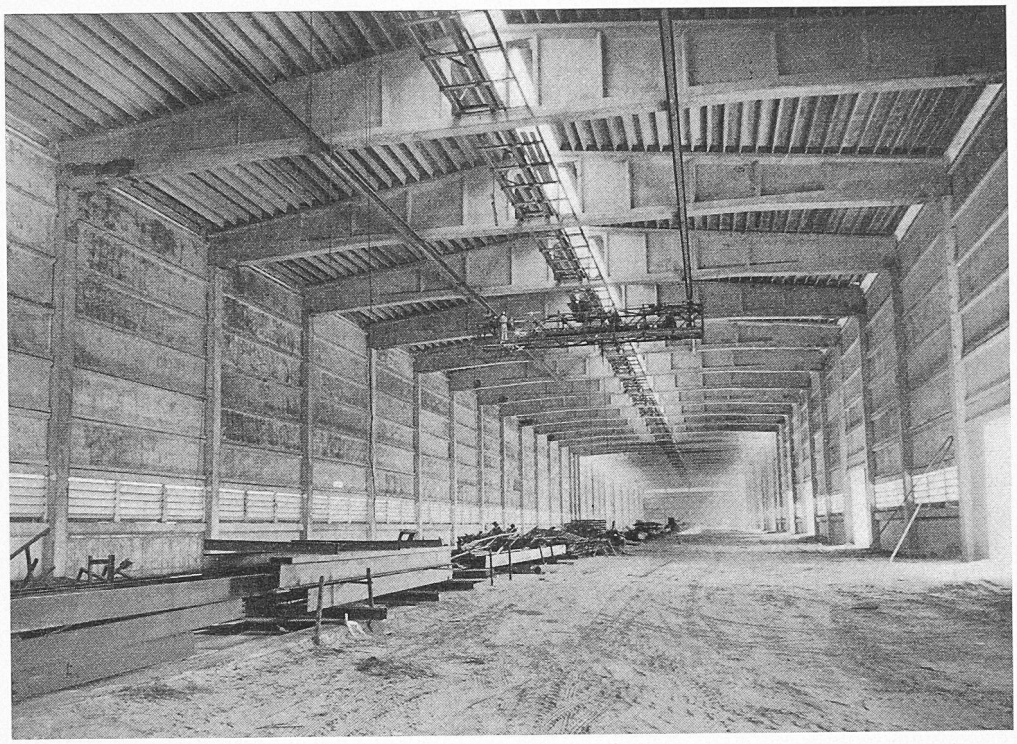

Bild 6. Vollständig vorfabriziertes Industriegebäude. Die sehr verbreiteten TT-Träger bilden die Dachelemente. Photo Modern Concrete Magazine, Chicago, Illinois

7. Spannbetonfabriken

Die Spannbetonfabriken bilden die Grundlage der heutigen amerikanischen Vorspannindustrie. Ihre gut durchdachte Anlage und Organisation, von entscheidender Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit, bilden das schwierigste Problem einer Spannbetonfabrik. Betonherstellung, Armierungsstahlwerkstätte, Zimmerei, Betonantransport, Anlage und Mechanismus der Spannbetten, Wegheben, Lagern und Wegtransport der Produkte, Dampfkessel, Installationen für Druckluft, Elektrizität, Wasser und Dampf, Versuchslaboratorium, Maschinenpark, Mechaniker- und Reparaturwerkstätte, Schweissinstallationen, Materiallagerräume müssen für einen möglichst wirtschaftlichen Arbeitsrythmus ausgedacht werden. Gerade hier zeigt sich, wie wichtig es ist, auch der zukünftigen Entwicklung Rechnung zu tragen.

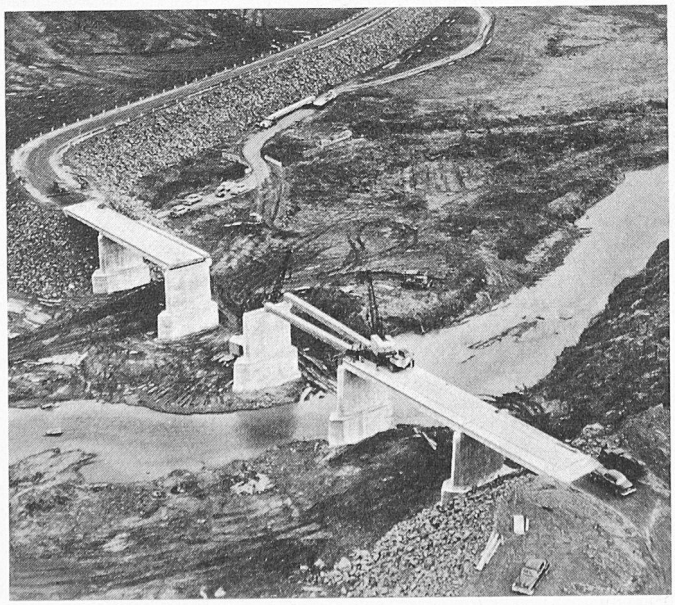

Bild 5. Brücke aus Kastenprofilträgern. Photo American-Marietta Co., Chicago, Illinois

Die *Spannbetten* bilden das eigentliche Zentrum der Spannbetonfabriken. Man beobachtet eine ungeheure Mannigfaltigkeit in den Ausführungen und Konstruktionsmethoden. Die Spannbetten bestehen aus den Endverankerungen und den dazwischenliegenden Betonierräumen. Die grossen Verankerungskräfte rufen je nach Fundationsverhältnissen beträchtlichen Problemen. Auch hier sind Rückschläge z. B. durch unzulässige Verformung der Bettenden nicht ausgeblieben.

Verfolgen wir einen solchen Herstellungsvorgang. Auf dem Bett wird die Bodenschalung gesetzt und mit den nötigen Anschlüssen versehen. In der Armierungswerkstätte werden die Armierungseisen geschnitten, gebogen und zu ganzen Armierungsgerippen (cages) zusammengesetzt. Diese Gerippe werden auf die Bodenschalungen gestellt. Dann zieht man die Litzen von Rollen einzeln oder gruppenweise von Hand oder maschinell auf das Bett und spannt sie von einer Seite, seltener von beiden, vor. Die Vorspannung kann auch wieder einzeln oder gruppenweise erfolgen und beträgt 12 000÷13 500 kg/cm². Die Spannlängen können bei einem Durchschnitt von 100 m bis zu 180 m anwachsen. Eine praktische obere Grenze ist meist durch den maximalen Weg der Spannpressen gegeben. Die Vorspannkräfte betragen im Mittel 400 t/Bett und können bis zu 1100 t/Bett anwachsen. Als Vorspannstahl setzen sich mehr und mehr siebendrähtige Litzen durch. Die Litzen weisen weitaus die besten Hafteigenschaften auf, was deshalb schon wichtig ist, weil man meist den Spannstahl nur mittels Haftung im Beton verankert. Verwendet werden vorwiegend 9,5 mm ⌀ ($^3/_8''$), nun auch vermehrt 11,1 mm ⌀ ($^7/_{16}''$), seltener 7,9 mm Durchmesser ($^5/_{16}''$) und 12,7 mm ⌀ ($^1/_2''$).

Meist stellt man mehrere Elemente im long-line process auf dem gleichen Bett her. Immer häufiger wird ein Teil der Litzen polygonal umgelenkt, um einen parabelähnlichen Verlauf zu erzielen (Bild 7). Hier sieht man sehr zahlreiche Methoden, die sich in drei Typen einteilen lassen: 1. Spannen nach dem polygonalen Auslegen der Litzen. 2. Spannen, dann Herunterziehen der Litzen an den Tiefpunkten. 3. Spannen, dann Heben der Litzen an den Hochpunkten.

Nach dem Setzen der Seiten- und Endschalungen, welche meistens aus Stahl bestehen, und aller Einlagen, kann der Beton eingebracht werden. Neben hochwertigem Beton wird hie und da Leichtbeton verwendet. Die Verdichtung erfolgt mittels Innen- oder/und Aussenvibrierung. Besonderes Augenmerk wird der Betonnachbehandlung (curing) geschenkt. Vacuumprozesse und Wärmebehandlung durch zirkulierendes heisses Wasser, Dampf oder Oel in den Schalungen sind gebräuchliche Methoden. Mehr und mehr setzt sich aber das Dampfbad durch, welches den Beton feucht hält. Stark umstritten ist die Druckfestigkeitsbeschleunigung mit CaCl-Zusätzen im Beton. Im allgemeinen ist man bestrebt, nach spätestens 24 h die Litzen zu schneiden und die Produkte wegzuheben, wobei für diesen Zeitpunkt Zylinder-(Prismen)-druckfestigkeiten von 200÷350 kg/cm² gefordert werden. Dies erheischt eine grosse Sorgfalt, und die Qualitätskontrolle ist zu einem alltäglichen Begriff geworden. Die Betonfestigkeit prüft man meist in einem eigenen kleinen Laboratorium. Manchmal wird auch der schweizerische Schmidthammer (Rückschlaghammer) verwendet.

Daneben sind eine Menge von kleineren Arbeitsgängen auszuführen, wie Herrichten, Abändern und Behandeln der Schalungen usw. Es kommt auch vor, dass man die Betonoberfläche nachbehandeln muss: Sandstrahlen, Auspflastern von Kiesnestern oder gar Gunitieren von Löchern. Der Fahrplan des ganzen Produktionszyklus ist von ausschlaggebender Wichtigkeit.

Den Unterschied dieses long-line process zu den russischen Methoden hat ein führender amerikanischer Vorspanningenieur, Ben. C. Gerwick, nach seiner Russlandreise treffend charakterisiert: «The Russians move their product to the process as in an automobile assembly shop, whereas we move the process to the product by our long-line process».

Das letzte technische Problem ist der Transport (Strasse, Schiene oder Wasser) und die Montage. Die gebräuchlichen Längen der Brückenträger liegen bei 15 bis 25 Meter. Es werden jetzt auch öfters Längen bis gegen 40 m hergestellt, und man rechnet für die Zukunft mit 50 m. Wir Europäer, bereits gewohnt an Spannweiten in Spannbeton von weit über 100 m, könnten versucht sein, angesichts jener Längen im Lande aller Superlative mitleidig zu lächeln. Man bedenke jedoch, dass es sich um einfache Balken handelt, und dass diese transportiert werden müssen. Das Anwachsen der Trägerdimensionen stellt ungeheure Transportprobleme. Ein 40 m langer I-Träger wiegt bereits rund 60 t. Bei mittleren Trägern machen die Transportkosten 10 %, bei übergrossen bis 25 % der Arbeitskosten aus. Es zeigt sich eine Tendenz, diese Grossträger im *short-line process,* d. h. nur einen Träger auf einem verhältnismässig kurzen Bett, herzustellen. Die Träger werden dann mittels Kranen, die über die ganze Bettlänge spreizen, weggehoben. Am heikelsten ist der Abtransport. Man steht vor einem Kippproblem. Die seitliche Steifigkeit eines I-Trägers beträgt rund $^1/_{40}$ der vertikalen und muss mittels Versteifungen verbessert werden (Bild 8). Das Fallen der Träger beim Transport ist nicht unbekannt.

Die Gesamtinstallationskosten einer Spannbetonfabrik liegen zwischen weniger als 100 000 $ und 4 Mio $. Für die Lake Ponchartrain-Brücke wurde sogar eine 6-Mio-Fabrik erstellt. Bild 1 zeigt eine ausgezeichnete Anlage. Ein Doppellaufkran bestreicht auf seiner 380 m langen Bahn die Vorspannbetten und einen Teil des Lagerraums; er gestattet das sofortige Verladen auf Barken.

8. Allgemeine Betrachtungen zur Vorfabrikation

Es steht dem Verfasser nicht zu, sich in die architektonisch-ästhetischen Probleme der Vorfabrikation einzulassen. Es sei jedoch Le Corbusiers bewundernder Ausspruch in Pisa zitiert: «Unité dans le détail, tumulte dans l'ensemble», und in etwas gemässigter Form weiterverwendet: «Unité dans les détails, diversité dans les volumes». Dieses Prinzip hat lange vor der Industrialisierung im Bauwesen schon gegolten und gerade damit findet es seine vollständige Anwendung. Es handelt sich ja nicht darum, Häusertypen, sondern Elementtypen zu bauen.

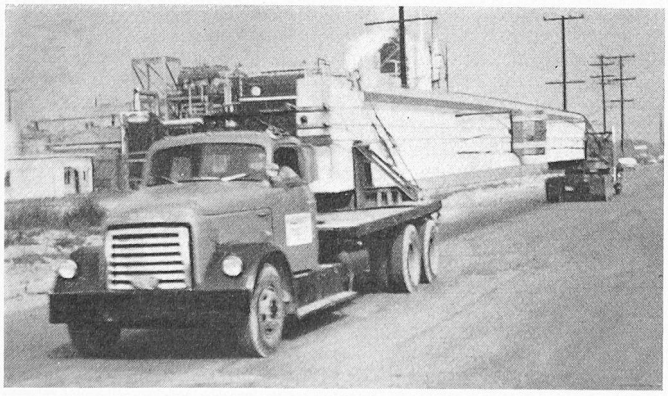

Bild 8. Transport eines 35 m langen I-Trägers, mit zwei antreibbaren Lastfahrzeugen. Das vordere zieht und das hintere bremst, um die Kippgefahr zu vermindern

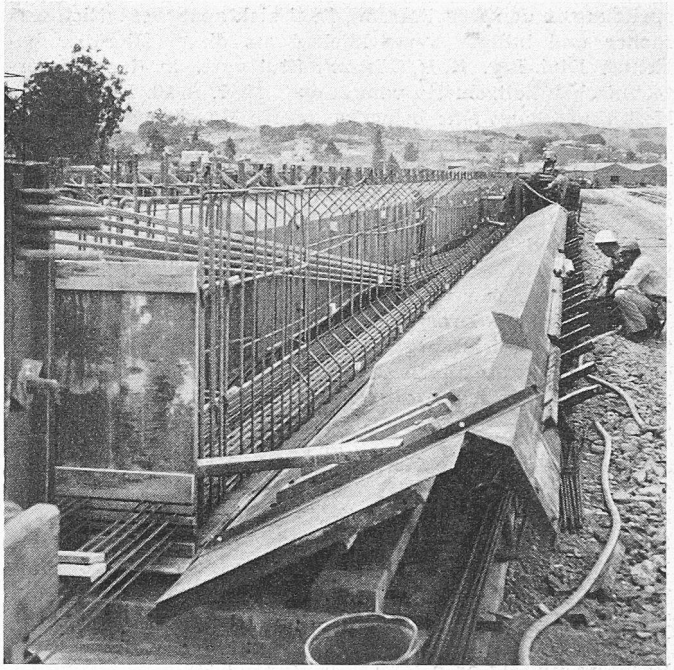

Bild 7. Abgelenkte Kabel für einen I-Träger. Photo Modern Concrete Magazine, Chicago, Illinois

Wie zeigt sich die Vorfabrikation vom technischen und sozialen Standpunkte aus? Beim Vergleich mit vielen anderen Produktionszweigen muss man feststellen, dass die Industrialisierung im Bauwesen, jetzt in ihren Anfängen steckend, erst Jahrhunderte später einsetzt als in jenen. Sie fordert eine genau geplante Gesamtlösung vor Baubeginn und lässt Improvisationen in viel kleinerem Masse zu als die bisherigen Baumethoden. Die Industrialisierung und damit die fabrikmässige Herstellung erlauben eine viel bessere Rationalisierung, Abstimmung der Arbeitsprozesse, Präzision, Qualität und Qualitätskontrolle. Dies wirkt sich zudem in zeitlichen und finanziellen Einsparungen aus. Nicht zuletzt sei auch an die vielen Vorteile für den Bauarbeiter gedacht. Er erhält nun einen festen Arbeitsplatz und ist nicht mehr der Unbill der Witterung ausgesetzt. Jahraus, jahrein kann er unter gleichbleibenden Arbeitsbedingungen sein Werk verrichten. In Ländern, in denen bisher der Winter grosse Unterbrüche verursachte, kann nun die Bauproduktion viel besser aufrecht erhalten werden.

All diese Gründe dürften der Vorfabrikation im Bauwesen eine interessante Zukunft sichern.

9. Blick in die Zukunft

Die stürmische Entwicklung des vorfabrizierten Spannbetons in den USA ist auch durch den neulichen Konjunkturrückgang nicht abgebrochen worden. Es werden sehr hohe Erwartungen in die weitere Entwicklung gesetzt. Dieses Land steht vor immer grösseren Bauaufgaben, und der Schlüssel zu ihrer Lösung heisst: prestressed concrete. Der amerikanische Bauingenieur Prof. *T. Y. Lin* schliesst die Weltspannbetonkonferenz 1957 in San Francisco mit den Worten: «What is past is prologue, you ain't seen nothing yet!»

Adresse des Verfassers: *G. Caprez,* dipl. ing., in Firma S. A. Conrad Zschokke, Genève, 42, rue du 31 décembre.

Mitteilungen

Daimler-Benz-Benzineinspritzung. Ueber Benzineinspritzung bei Automobilmotoren hat *M. Troesch* in SBZ 1947, Nr. 5, S. 57 ausführlich berichtet. Inzwischen ist dieses Verfahren weiter verfolgt worden. So hat Daimler-Benz die Saugrohreinspritzung neuerdings für den Motor eines normalen Fahrzeugs serienmässig angewandt. Sie ergab nur wenig geringere effektive Kolbendrücke als die Direktein-