

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 86 (1968)
Heft: 13

Artikel: Industrialisierung im Stahlbau: Vortrag
Autor: Bryl, Stanislaw / Geilinger, Werner
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-70009>

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: 01.02.2026

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

normalen Auftrages hinausgeht, scheint die Beschränkung der Haftung im Falle eines leichten Verschuldens ihre Berechtigung zu haben, umso mehr als dadurch Einigungen auf vernünftiger Basis erzielt werden können und dem Richter, dem ohnehin und durch die herrschende Unsicherheit in Rechtslehre und Rechtsprechung noch vermehrt eine schwere Aufgabe zufällt, wertvolle Anhaltspunkte gegeben werden.

In einer Veröffentlichung des «Journal des Tribunaux» aus dem Jahre 1936 anerkennt E. Thilo, ehemaliger Bundesgerichtsschreiber, die vom SIA getroffene Regelung: «Der Mustervertrag (des SIA) vermindert die Verjährungsfrist der Haftung des Architekten von fünf auf zwei Jahre, vom Zeitpunkt der Übergabe des Werkes an den Bauherrn an gerechnet. Diese Begrenzung ist zulässig, da gemäss Art. 129 nur die im 3. Teil (Art. 127, 128 und 137, al. 2, OR) aufgestellten Verjährungsfristen vertraglich nicht abgeändert werden können (vergleiche Oser-Schönenberger, Bemerkung 8 über Art. 371). Während zweier Jahre nach Übergabe des Werkes leitet und überwacht der Architekt die Behebung der Mängel; in diesem Falle hat er nur Anrecht auf ein Honorar, wenn dieses dem verantwortlichen Unternehmer übertragen werden kann. Art. 5 regelt in ausführlicher Weise die Haftung des Architekten. Er beschränkt die allfällige, an den Bauherrn zu bezahlende maximale Entschädigung auf den Honorarbetrag. Diese Klausel gilt unseres Erachtens nur unter Vorbehalt von Art. 100 OR, der besagt, dass „eine zum voraus getroffene Verabredung, wonach die Haftung für rechtswidrige Absicht oder grobe Fahrlässigkeit ausgeschlossen wäre, nichtig ist.“» (J. d. T., 1936, S. 393).

Schlussfolgerungen

Das ganze Gebiet der rechtlichen Haftung ist äusserst vielseitig. Im Hinblick auf die mir zur Verfügung stehende Zeit mussten meine

Ausführungen stark zusammengefasst werden. Ich kann leider die Fragen der höheren Gewalt und des Zufalles, der mehrfachen Haftung und der entsprechenden Versicherungsmöglichkeiten nicht mehr behandeln. Eine mehrfache Haftung liegt beispielsweise vor, wenn zwei oder mehrere Personen ersatzpflichtig sind, was häufig bei Unfällen auf Baustellen vorkommt. Dieser Frage ist grösste Aufmerksamkeit zu schenken, umso mehr als die heutige Strukturentwicklung im Bau-sektor die Ermittlung der Verantwortlichen ganz wesentlich erschwert. Falls Sie diese Probleme interessieren, empfehle ich Ihnen das hervorragende Werk von Professor Oftinger «Schweizerisches Haftpflichtrecht».

In der Session der eidgenössischen Räte vom März 1967 hat J. Bächtold, Ingenieur SIA und Nationalrat, dem Bundesrat eine Interpellation eingereicht und ihn ersucht, sich im Hinblick auf die in der Schweiz im Rahmen des Autobahnbauprogrammes noch zu erstellenden Brücken über die Ursachen der im In- und Ausland erfolgten Brückeneinstürze zu erkundigen. Bundesrat Tschudi hat in seiner Antwort die nötigen Erklärungen über die in unserem Lande zu beklagenden Fälle abgegeben und bestätigt, dass entsprechende Erkundigungen über die im Ausland gemachten Erfahrungen eingezogen worden sind. Er hat aber mit allem Nachdruck darauf hin gewiesen, dass die Ingenieure als Projektverfasser in erster Linie die Verantwortung für die Sicherheit der Brücken tragen. Er betonte zudem, dass hohe Berufsauffassung und Berufsethik für die Qualität unserer Ingenieure entscheidend sind.

Mit diesen Worten von Bundesrat Tschudi möchte ich meine Ausführungen schliessen.

Adresse des Verfassers: Marius Beaud, Generalsekretariat SIA, Beethovenstrasse 1, 8022 Zürich, Postfach.

Industrialisierung im Stahlbau

DK 624.014.2:338.45

Von St. Bryl, dipl. Ing., und W. Geilinger, dipl. Ing., Winterthur

Vortrag an der Studententagung der FGBH über neuzeitliche Baumethoden, gehalten vom erstgenannten Verfasser am 17. November 1967 in Lausanne

Seit Jahrhunderten wurde das Bauwesen durch die handwerklichen Methoden gekennzeichnet. Erst im 20. Jahrhundert, unter dem Druck der allgemeinen Entwicklung, wurde die Industrialisierung des Bauwesens als conditio sine qua non anerkannt. Die Tendenz zur Industrialisierung wurde in den letzten drei Jahren durch die Marktlage verstärkt. Der Bauherr will die ständige Verteuerung aller Bauleistungen, seien diese nun geistiger oder materieller Art, nicht mehr akzeptieren. Das Bestreben nach einer Senkung der Baukosten kann aber nur mit den Methoden des industrialisierten Bauens erzielt werden.

Darum wird in den Fachkreisen viel über moderne Baumethoden diskutiert. Missverständnisse in der Nomenklatur erschweren eine produktive Denkweise und führen oft zu falschen Schlüssen. Ich möchte darum kurz die wichtigsten Begriffe wie: Vorfabrikation, Normalisation und Industrialisierung umschreiben.

Das Hauptmerkmal der *Vorfabrikation* besteht in der Trennung des Bauvorganges, nämlich in der Herstellung der Bauelemente in der Werkstatt einerseits und dem schnellen Zusammenfügen dieser Elemente auf der Baustelle anderseits. Dabei kann die Vorfabrikation sowohl die Tragelemente wie auch die Füll- und Ausbauelemente betreffen. Je umfassender die Vorfabrikation ist, um so schneller wird der Baustellenvorgang. Die Vorfabrikation bewirkt vor allem die Erzielung einer besseren und konstanten Qualität der Bauelemente

und einer Einsparung an Arbeitsstunden. Beide Ziele werden durch das Verlegen der schwierigsten Ausführungsphasen von der Baustelle in die Werkstätte und durch die Anwendung rationeller Arbeitsmethoden erreicht.

Die Vorfabrikation ist jedoch nicht gleichbedeutend mit der Wirtschaftlichkeit. Um die Vorfabrikation wirtschaftlich zu gestalten, müssen andere Faktoren zum Mitwirken herangezogen werden, die vor allem die Grösse der Fabrikationsserie günstig beeinflussen sollen. Zu diesen Faktoren gehört die *Normalisation*. Durch die Normalisation soll eine Vereinfachung der Projektierungsarbeiten und eine Vergrösserung der Fabrikationsserien erreicht werden. Die Normalisation kann entweder auf der Stufe der Typisierung oder bis zur Stufe der Standardisierung durchgeführt werden.

Die *Typisierung*, auch anpassungsfähige oder offene Normalisation genannt, soll das optimale Konstruktionssystem des Bauwerks festlegen. Dazu gehören:

- Festlegung eines für die meisten Fälle günstigen statischen Systems,
- Festlegung der günstigsten Form von Querschnitten und Verbindungen mit Rücksicht sowohl auf die Funktion des Elementes wie auch auf die vorhandenen Werkstatteinrichtungen, Transportbedingungen und Montageeinrichtungen,
- Festlegung von Grundmassen, die keinen Einfluss auf die vielseitige Anwendung der vorgesehenen normalisierten Elemente ausüben,

— Festlegung der wichtigsten baulichen Details und der Verbindungen zwischen den verschiedenen Bauelementen.

Die Typisierung bringt bedeutende Er sparnisse bei der Offertstellung, der Plan bearbeitung und der Ausführung, infolge Eingewöhnung der Planenden und Ausführenden.

Die *Standardisierung*, auch starre oder geschlossene Normalisation genannt, bedeutet eine Vertiefung der Typisierung durch das Festlegen der Hauptmasse und damit der Abmessungen der Bauelemente. Dadurch führt die Standardisierung zu einer eindeutigen Typenbeschränkung und Vergrösserung der Fabrikationsserie. Der Übergang von der offenen zur geschlossenen Normalisierung muss durch tiefgreifende Studien vorbereitet werden. Diese Studien führen entweder zur Entwicklung eines Struktursystems oder eines Baukastensystems. Im Struktursystem wird eine Reihe von Standardbauten mit festgelegten Massen gebildet. Im Baukastensystem besteht die Möglichkeit, aus einer modulierten Reihe von Bauelementen Bauwerke verschiedener Grösse zusammenzustellen.

Die Vorteile der Standardisierung sind vor allem:

- Mechanisierung bzw. Automatisierung der Produktion
- kontinuierliche Produktion, die nur vom Bedarf des gesamten Marktes und nicht von den einzelnen Aufträgen abhängig ist.

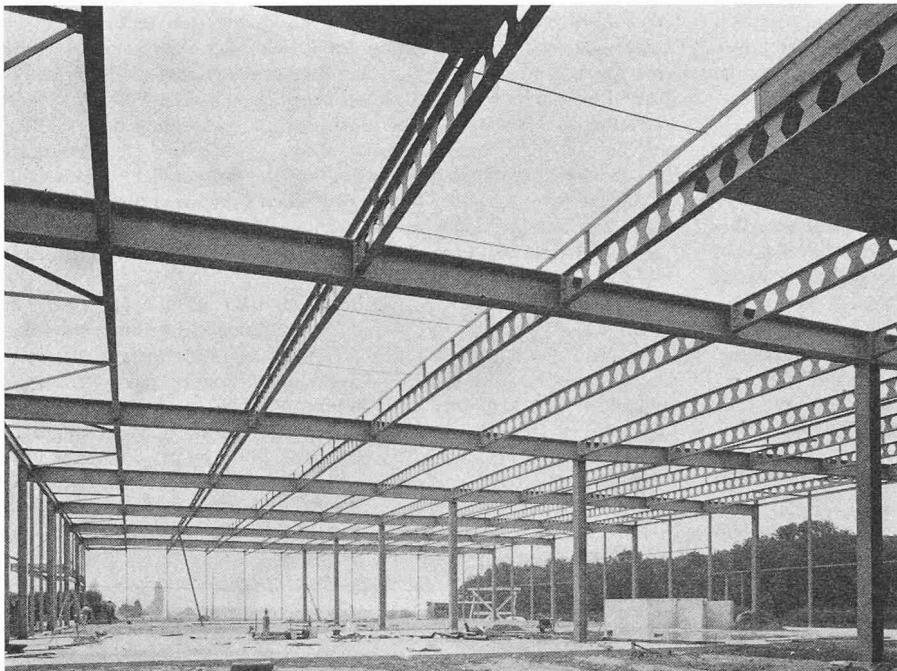


Bild 1. Flachdachhalle mit typisiertem Tragsystem

Die Normalisierung in Verbindung mit der Vorfabrikation ergibt die Möglichkeit der *Industrialisierung*, wobei die erreichte Industrialisierungsstufe von der Normalisierungsstufe abhängig ist.

Die Begriffe des modernen Bauens und die verschiedenen Industrialisierungsstufen lassen sich an den folgenden konkreten Beispielen erklären.

Die Vorfabrikation gehörte von Anfang an zu den Merkmalen des Stahlbaus. Die Methoden der Vorfabrikation sind jedoch in ständiger Entwicklung begriffen, und zwar sowohl in bezug auf die Materialeigenschaften und Verbindungsmittel wie auch in bezug auf die Technologie der Fertigung.

Der heutige Stahlbauer verfügt über eine breite Auswahl von hochwertigen Stählen. Die Entwicklung der Metallurgie geht weiter, vor allem in Richtung der korrosionswiderstandsfähigen Stähle, wie zum Beispiel des witterungsbeständigen Cor-Ten-Stahls. Die Verbindungsmitel: Schweißen, hochfeste Schrauben, Bolzendübel, Punktschweißen, Kleben ermöglichen eine vielfache Gestaltung der Verbindungen. Automatische Mess- und Schneidestrassen, automatische Schweisanlagen, Sandstrahlanlagen ermöglichen eine preisgünstige Gestaltung der Vorfabrikation. Wenn noch vor 15 Jahren der durchschnittliche Arbeitsaufwand pro Tonne Stahlkonstruktion 30 bis 35 Stunden betrug, so liegt heute der Stundenaufwand in den modern eingerichteten Werkstätten zwischen 15 und 20 Stunden. Die Fortschritte der Vorfabrikation im Stahlbau haben eine erstaunliche Preisstabilität der Stahlkonstruktionen trotz erheblichen Lohnsteigerungen ermöglicht. Die Entwicklung der Fabrikationsmethoden hat auch die Struktur der Stahlbauunternehmung beeinflusst. Die hohen Investitionskosten der Modernisierung und die Notwendigkeit, mit

der technischen Entwicklung Schritt zu halten, zwingen den Stahlbauunternehmer zur Begrenzung seines Produktionsprogrammes und zur Spezialisierung. Um die Möglichkeiten der hochmechanisierten Stahlbauwerkstatt auszunutzen, wird der Stahlbauer zugleich gezwungen, die Stahlkonstruktion zu normalisieren.

Die Anfänge einer Typisierung können auf Grund der Normalisierungsversuche in bezug auf Flachdachhallen erläutert werden. Mit wachsenden Stützenabständen steigen bei diesen Bauten vor allem die Kosten der Dachpfetten unproportional zu der umbauten Fläche. Die Anwendung von Wabenträgern kann grössere Gewichtserspartnisse im Stahlverbrauch bringen. Voraussetzung für die Wirtschaftlichkeit bildet jedoch eine rationelle Fertigungs methode, um den Stundenaufwand für die Herstellung von Wabenträgern entsprechend niedrig zu halten.

Durch Einsatz einer automatischen Brennschneideanlage und einer halbautomatischen Schweissanlage konnte der Stundenaufwand um rund 35 % gesenkt werden. Die preisgünstige Gestaltung der Fabrikation ermöglichte die Festlegung der ersten Normalisierungsstufe für Flachdachhallen, d. h. des statischen Systems. Das System (Bild 1) besteht aus Wabenträgerpfetten, die in Abständen von 3 bis 4 m angeordnet sind und die Dachlast auf die aus Walzprofilen ausgebildeten Rahmen übertragen. Die kleinen horizontalen Kräfte erlauben meistens eine gelenkige Auflagerung der Rahmenstützen und die Ausbildung der Längs- und Querrahmen mittels hochfest-verschraubter Anschlüsse. Die Dachhaut besteht aus verzinkten Stahlblechen. Das kleine Gewicht dieser Dachplatten wirkt sich besonders günstig bei grossen Spannweiten auf das Gesamtgewicht der Stahlkonstruktion aus. Das Festlegen des statischen Systems bedeutet

nur einen Anfang der Typisierung. Die volle Typisierung wird erst durch die Normung der Anschlussdetails erreicht.

Eine viel weiter gehende Normalisierung wurde bei den GC-Shedbauten (Bild 2) erreicht. Das Hauptmerkmal dieser Shedbauweise ist die tragende Stahlblechrinne, die zugleich als Wasserrinne dient. Das arbeitsintensivste Element dieser Konstruktion stellt der Sheddträger teil um die Rinne dar, der zugleich als Aussteifung der Rinne dient. Im Bestreben, die Kosten der Shedbauten zu senken, wurde auch zuerst dieser Teil standardisiert. Dies setzte voraus:

- Festlegung der Rinnenform und Rinnenhöhen,
- Festlegung der Dach- und Fensterneigung,
- Typisierung der Anschlüsse an Dachhaut und Verglasung.

Durch die Festlegung der Dachneigung konnte ein zusätzliches Element typisiert werden, und zwar die Dachpfette. Bei festgelegter Neigung war es leicht, die optimale Form der kaltgewalzten Z-Pfette zu finden, bei der die Hauptachsen mit der Belastungsebene zusammenfallen. Durch diese Massnahmen konnte die Stufe der Typisierung der Stahlkonstruktion erreicht werden. Diese wirkte sich günstig aus auf den Projektaufwand dank der Einführung von Bemessungstabellen und typischen Konstruktionszeichnungen und auf den Arbeitsaufwand in der Werkstatt infolge der Einführung von Lehren und Schweißvorrichtungen und durch die Angewöhnung der Belegschaft an gleichbleibende Ausführungsformen. Die Typisierung des gesamten Bauwerkes erforderte die Festlegung aller anderen Bauelemente, wie Wände, Fenster, Shedoberlicht, Dach, Isolierung. Unter Mitwirkung von spezialisierten Firmen wurde nach fast zweijähriger Arbeit auch diese Stufe erreicht. Die Ergebnisse der Normalisierungsarbeiten wurden in Form eines Kataloges zusammengestellt, und heute kann diese Shedbauweise als eine auf der Stufe der Typisierung industrielle Bauweise betrachtet werden.

Der weitere Schritt zu der Stufe der Standardisierung ist auf den ersten Blick sehr einfach. Erforderlich ist nur die Festlegung einer modulierten Reihe von Stützenabständen und Stützenhöhen. In Wirklichkeit wird die Standardisierung keine grösseren Vorteile bringen, da der in seinen Ansprüchen stark differenzierte Schweizer Markt eine von Einzelaufträgen unabhängige Produktion nicht erlaubt. Die Stufe der Typisierung ist in diesem Fall ausreichend, um so mehr, als sie bei den grossen Objekten ebenso grosse wirtschaftliche Vorteile wie die Standardisierung bietet.

Im Gegensatz zu den Shedbauten wurde die Normalisation der leichten Normhallen SSV bis zur Stufe der Standardisierung durchgeführt. Es handelt sich um verhältnismässig kleine Hallen für Produktions- und Lagergebäude. Das gewählte Normalisierungssystem ist ein Struktursystem.

Die Stahlkonstruktion der Normhalle SSV (Bild 3) besteht aus neun Elementen,

die vielseitige Anwendung finden. Auch alle baulichen Details der Wände und des Daches wurden standardisiert. Die Normhalle SSV kann man als vollkommen industrialisierte Bauweise betrachten. Die Produktion der Bauelemente wird nur durch die voraussichtliche Nachfrage des Marktes, nicht durch Einzelaufträge bestimmt. Diese so weit fortgeschrittene Industrialisierungsstufe wurde nur möglich durch:

- die Zusammenarbeit von rund zwanzig Stahlbauunternehmungen, die diese Halle entwickelten, gemeinsam fabrizieren und verkaufen
- die Anwendung von ausschliesslich vorfabrizierten, am Markt erhältlichen Wand- und Dachelementen.

Diese Beispiele sollen zeigen, wie sich der Stahlbau schon längst zum Prinzip der Vorfabrikation und Normalisation bekannt und so den Schritt zur Industrialisierung des Bauens getan hat. Um eine optimale Ausnutzung der technologischen Möglichkeiten der hochmechanisierten Werkstatt zu erzielen, ist der Stahlbauer einfach gezwungen, sich mit der Industrialisierung des gesamten Bauwerkes zu befassen. Diese Aufgabenstellung führt zu einer engen Zusammenarbeit mit dem Architekten, dem Bauunternehmer, den Isolierfirmen, den Installationstechnikern und Lieferanten aller raumabschliessenden Bauelemente. Dabei wird ersichtlich, dass die technologischen Möglichkeiten nur ein Faktor auf dem Wege zur Industrialisierung sind. Ebenso wichtig sind die sich aus klimatischen und soziologischen Einflüssen ergebenden Mass- und Funktionsnormen und die organisatorischen Massnahmen.

Für eine Normalisation bilden die Mass- und Funktionsnormen eine unumgängliche Grundlage. Erst auf Grund dieser Normen kann die Erarbeitung eines Strukturbildes und die Wahl der richtigen Bauelemente getroffen werden.

Für Wohngebäude werden zurzeit die Mass- und Funktionsnormen durch die

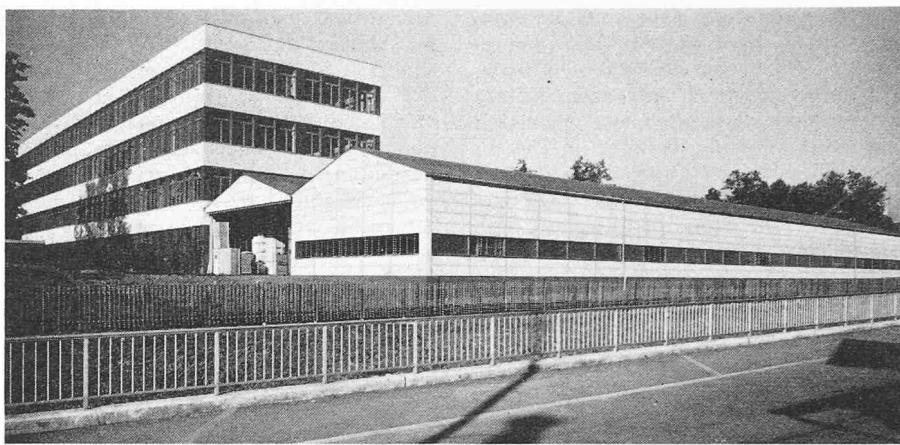


Bild 3. Standardisierte Normhalle SSV

eidgenössische Wohnbau-Forschungskommission erarbeitet. Für Industrie-, Schul- und Büroarbeiten werden die zukünftigen Normalisationsarbeiten noch weiter auf den individuellen Abschätzungen der Planer beruhen. Es stellt sich daher die dringende Frage, wie die Organisation des industriellen Bauens aussehen und wer die Führungsrolle übernehmen soll.

Mit dem bisherigen Organisationssystem, das mit der Koordination im Einzelfalle arbeitete und die optimale Lösung der baulichen Probleme für jedes einzelne Bauobjekt suchte, lässt sich die gestellte Aufgabe nicht erfüllen. Es zeichnen sich darum schon heute drei neue Organisationssysteme ab:

- Konzern
- Integriertes Bauen
- Konsortium

Im *Konzern* übernimmt der Generalunternehmer die Führungsaufgabe. Der Architekt wird zum dauernden oder vorübergehenden Mitarbeiter des Generalunternehmers. Der Generalunternehmer steht unter dem Druck des mit dem Bauherrn abgeschlossenen Werkvertrages und

ist angesichts der Verlust- oder Gewinnchance gezwungen, folgende Forderungen durchzusetzen:

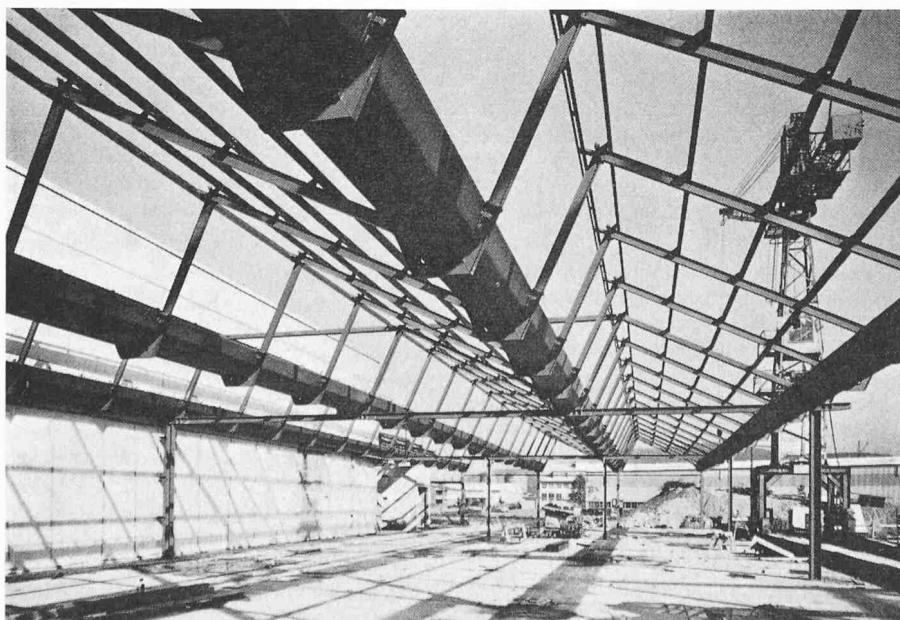
- technisch einfache und meistens formal nicht optimale Konzeption des Baues,
- genaue Koordination der verschiedenen Arbeitsgattungen,
- billigste Ausführungspreise unter der Gewährleistung der vorgesehenen Qualitätsstufe.

Dank dem grossen Bauvolumen und den damit verbundenen Wiederholungen der einzelnen Bauteile ist der Konzern in der Lage, die Bauleistungen aus eigenen oder zuliefernden Betrieben billig zu beschaffen. So erhält der Bauherr zur rechten Zeit und zum rechten Preis ein einfaches Bauwerk, das seinen momentanen Ansprüchen genügt. Damit ist die stark wachsende Hinwendung des Bauherrn zum Generalunternehmer zu erklären. Die Ausweitung der Tätigkeit der Generalunternehmer führt offensichtlich zu einer zunehmenden Monopolisierung im Bauwesen, wodurch die Entwicklung der modernen Baumethoden und das Entstehen neuer Baukonzeptionen verlangsamt und erschwert werden.

Im *integrierten Bauen* übernimmt der Architekt die Führungsrolle. Das integrierte Bauen bedeutet die Anwendung von genormten, additiven Bauteilen, die mit industriellen Methoden in verschiedenen Unternehmungen hergestellt und auf der Baustelle zusammengebaut werden. Die Entwicklung dieser Bauteile muss mehrfach sein, um dem Architekten die Möglichkeit zu geben, nach freier Wahl die ausführenden Unternehmungen auszuwählen. Der Architekt soll dank des integrierten Bau- systems formal besser und preislich gleich günstig wie der Generalunternehmer bauen können. Der Hauptnachteil dieser Organisationsform ist die Mehrhäufigkeit. Durch diese werden nicht nur die Planungs- und Entwicklungsarbeiten wesentlich erschwert. Die Ungewissheit, welches Element zur Ausführung gelangen wird, zwingt die beteiligten Unternehmer zur Vorsicht bei Investitionen, die zur Aufnahme bzw. Rationalisierung der Produktion des Bauelements notwendig sind.

Der Nachteil der Mehrhäufigkeit wird bei der dritten Organisationsform vermieden.

Bild 2. Vollständig typisierte GC-Shedhalle



den. Im Konsortium übernimmt im Prinzip ebenfalls der Architekt die Führungsaufgabe. Das entwickelte Bausystem ist jedoch in bezug auf die gewählten Bauteile nur einläufig. Der Architekt entwickelt eine industrialisierte Bauweise in Zusammenarbeit mit einer Gruppe von sich ergänzenden Baufirmen. In einem Preiskatalog werden alle Preise der Konstruktionselemente festgelegt, so dass für den Kostenvoranschlag die Preise mit geringem

Zeitaufwand und vollständig erfasst werden können. Im Falle einer Ausführung schliessen sich die wichtigsten Partner, z. B. der Architekt, der Ingenieur und die wichtigsten Bauunternehmungen, zu einer einfachen Gesellschaft zusammen, die die Ausführung des Baues übernimmt.

Der Stahlbau besitzt heute alle technologischen Grundlagen zur Industrialisierung und ist in der Lage, sich in jede der drei vorher skizzierten Formen des in-

dustrialisierten Bauens einzugliedern. Die Zukunft der Industrialisierung im Bauwesen wird aber vor allem von der Entwicklung und Kristallisation der neuen Organisationsformen und der Festlegung der Mass- und Funktionsnormen abhängig sein.

Adresse der Verfasser: Stanislaw Bryl, dipl. Ing., AGH/SIA, und Werner Geilinger, dipl. Ing. SIA, Geilinger & Co., 8400 Winterthur, Werkstrasse 20.

DK 624.075.23:624.012.4.001.4

Langzeitversuche an Stahlbetonstützen

Von P. Ramu, dipl. Bau-Ing. ETH, Zürich

Vortrag an der Studentagung der FGBH vom 17./18. Nov. 1967 in Lausanne

1. Einleitung

Die ständige Qualitätsverbesserung unserer Baustoffe verleitet im Stahlbetonbau zur Konstruktion von immer kühneren Tragwerken. Parallel zu dieser Entwicklung wird versucht, das wirkliche Tragverhalten solcher Stahlbetontragwerke besser zu erkennen und bestehende Berechnungsmethoden zu verbessern oder neu zu finden. In diesem Zusammenhang gab auch das Verhalten von Stahlbetonstützen unter achsialer, exzentrisch angreifender Dauerlast in den letzten Jahren Anlass zu einer Reihe theoretischer und experimenteller Untersuchungen ([1] bis [5]).

Auch am Institut für Baustatik an der ETH wurde vor einigen Jahren unter der Leitung von Prof. Dr. B. Thürlemann begonnen, das Problem des Verformungs- und Tragverhaltens von Stahlbetonstützen unter exzentrisch angreifenden Dauerlasten zu untersuchen. Die finanzielle Unterstützung dieser Arbeiten hat die Stiftung des Schweizer Nationalfonds für wissenschaftliche Forschung übernommen. Dem Stiftungsrat sei dafür herzlich gedankt.

2. Problemstellung

Bild 1 zeigt eine Gegenüberstellung der Berechnung der Schnittkräfte und Verformungen eines statisch bestimmt gelagerten Biegebalkens ohne und mit achsialer Belastung.

Im Falle eines Biegebalkens ohne achsiale Belastung dürfen die Gleichgewichtsbedingungen für die Ermittlung der Schnittkräfte am nicht deformierten System formuliert werden, weil eine wesentliche Voraussetzung der elementaren Biegetheorie erfüllt ist: Nämlich die, dass die Wirkung einer am System angreifenden äusseren Belastung durch die entstehende Verformung nicht verändert wird (Bild 1a).

Diese Voraussetzung ist beim Biegebalken mit achsialer Belastung nicht mehr erfüllt (Bild 1b):

- Am nicht deformierten System verursacht die Achsiallast P nur eine Normalkraftbeanspruchung des Balkens.
- Am deformierten System hingegen verursacht die Achsiallast P eine Normalkraft und zusätzlich noch eine Biegebeanspruchung des Balkens.

Die elementare Biegetheorie darf also grundsätzlich bei der Ermittlung der Schnittkräfte an einem Biegebalken mit achsialer Belastung nicht angewendet werden.

Die Gleichgewichtsbedingungen müssen somit am deformierten System formuliert werden. Dabei geht die Verformung y als Unbekannte in die Gleichung für die Schnittkraft M ein, Bild 1b, Gl. (1). Um das Problem zu lösen, ist es notwendig, eine weitere Beziehung zwischen Beanspruchung und Verformung einzuführen. Besteht der Balken aus dem Hookschen Idealwerkstoff (Bild 1d), dann bietet dies keine Schwierigkeiten: Die zweite Ableitung der Biegelinie y darf dann mit genügender Genauigkeit gleich dem negativen Quotienten aus dem Biegemoment M und der Steifigkeit EI gesetzt werden, Bild 1b, Gl. (2). Die Auflösung der Differentialgleichung, die man durch Einsetzen von Gl. (1) in Gl. (2) erhält, führt zu einer wesentlichen Erkenntnis (Bild 1c):

Die Auslenkung y an einer Stelle x des Balkens nimmt nicht proportional zur Steigerung der Achsiallast P zu, sondern progressiv. Immerhin kann jeder Achsiallast $P < P_E$ eine eindeutige Verformung y zugeordnet werden. Damit ist auch die Beanspruchung des Balkens gegeben. Das Verformungs- und Tragverhalten eines elastischen Balkens, der durch ein Biegemoment und eine Achsiallast beansprucht wird, ist somit ein Spannungsproblem 2. Ordnung. Seine Lösung ist einfach.

Besteht der Balken jedoch nicht aus dem Hookschen Idealwerkstoff, sondern aus einem solchen mit ideal elastisch-plastischer Charakteristik (Bild 1d), dann bereitet die Lösung des Problems schon einige Mühe. Es kann keine so einfache Beziehung zwischen Verformung und Beanspruchung mehr hergeleitet werden, wie dies beim ideal elastischen Balken der Fall ist, Gl. (2). Trotzdem kann man zu einer grundsätzlichen Erkenntnis gelangen:

Es existiert eine kritische Last $P_{krit} < P_E$, bei der die volle Plastifizierung eines Querschnittes erreicht wird. In diesem Zustand verursacht dann die kleinste Störung den Bruch des Systems (Bild 1c). Das Verformungs- und Tragverhalten eines Balkens aus ideal elastisch-plastischem Material ist somit ein Stabilitätsproblem. Im allgemeinen lässt sich keine geschlossene Lösung mehr angeben.

Der Stahlbeton, aus dem die mit einer exzentrisch angreifenden Dauerlast beanspruchten Stützen bestehen, verhält sich weder ideal-elastisch noch ideal elastisch-

plastisch. Sein Formänderungsverhalten ist vielmehr äußerst komplex. Die Ursachen sind folgende:

- Die heute verwendeten Armierungsstäbe weisen sehr unterschiedliche Spannungs-Dehnungscharakteristiken auf (Bild 2). Zum Teil verhalten sie sich beinahe elastisch-plastisch, während andere stark von dieser Idealisierung abweichen.
- Das Spannungs-Dehnungsverhalten des Betons ist sehr stark abhängig von der Dehngeschwindigkeit und dem Erhärzungszustand. Der Faktor Zeit spielt eine grosse Rolle (Bild 3).
- Die Festigkeit des Betons nimmt im Laufe der Zeit zu (Bild 4).
- Ein nicht belasteter Beton schwindet während des Erhärzungsprozesses. Ein belasteter Beton erfährt je nach Belastungsalter und Zusammensetzung meist ganz erhebliche Kriechverformungen (Bild 5).

Diese wesentlichsten Eigenschaften der beiden Werkstoffe, aus denen eine Stahlbetonstütze aufgebaut ist, bestimmen miteinander das Verformungs- und Tragverhalten einer solchen Stütze. Die uns geläufigen Berechnungsmethoden können nur unvollständig über das wirkliche Verformungs- und Tragverhalten einer Stahlbetonstütze Auskunft geben. Aber sie können immerhin einen wichtigen Grundgedanken vermitteln:

Es muss versucht werden, einen Zusammenhang zwischen der Beanspruchung und der Verformung eines jeden Querschnittes der Stahlbetonstütze zu finden. Gelingt dies, dann bedarf es im Prinzip nur noch einer geschickten Rechenoperation, um das Verformungs- und Tragverhalten einer exzentrisch mit einer Dauerlast belasteten Stahlbetonstütze zu ermitteln.

3. Planung der Dauerversuche

Welche Parameter hauptsächlich für den gesuchten Zusammenhang zwischen Beanspruchung und Verformung eines Stahlbetonquerschnittes von Bedeutung sind, soll an einigen anschaulichen Überlegungen aufgezeigt werden. Diese waren auch wegleitend für die Planung von Dauerversuchen an Stahlbetonstützen.

Aus einer eben erst belasteten Stahlbetonstütze denkt man sich ein kleines Stück herausgeschnitten (Bild 6). An seinen Schnittufern greifen ein Biegemoment $M = P(e + y)$ und eine Normalkraft P an. Als Folge