Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 81 (1963)

Heft: 2

Artikel: Überblick, Klassifizierung und internationaler Stand der Vorfabrikationstechnik: Vortrag

Autor: Koncz, T.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-66698

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: 08.08.2025

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

ORGAN DES SCHWEIZERISCHEN INGENIEUR- UND ARCHITEKTEN-VEREINS S.I.A. UND DER GESELLSCHAFT EHEMALIGER STUDIERENDER DER EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE G.E.P.

Überblick, Klassifizierung und internationaler Stand der Vorfabrikationstechnik

Von Dr.-Ing. **T. Koncz**, Zürich

DK 624.012.4.002.22

Dem vorliegenden Aufsatz liegt der Vortrag des Verfassers, gehalten an der S. I. A.-Tagung über die Ingenieurprobleme der Vorfabrikation im Bauwesen vom 23. November 1962, zugrunde

1. Die Industrialisierung im Bauwesen

1.1 Der Weg zur Industrialisierung und seine Hindernisse

Das Bauen, diese uralte Technik, ist bestimmt eine der ältesten, die sich heute noch etwas von ihrem Ursprung bewahrt hat. Wir verwenden heute noch den Ziegelstein, wie dies die alten Assyrer und Aegypter getan haben; der Mörtel zum Mauerwerk wird an manchen kleinen Baustellen oft heute noch so zubereitet, wie dies an Jahrtausende alten Bildern zu sehen ist. Viele andere Industriezweige sind bereits auf dem Wege zur automatischen Produktion, und nun drängt auch das Bauwesen, den Fortschritt einzuholen. Auch das Bauwesen hat Fortschritte gemacht, die Handwerkstechnik wurde verlassen, es wird mit Maschinen und Kranen gearbeitet; der grosse Umbruch zur industriellen Produktion bahnt sich aber erst seit einem Jahrzehnt an.

Die Industrialisierung im Bauwesen ist eine natürliche Entwicklung, wie sie auch von anderen Industrien durchgemacht wurde, sie ist nur etwas verspätet, weil die zu überwindenden Hindernisse im Bauwesen grösser sind. Vor allem sind aus der Jahrtausende alten Kontinuität der Bautechnik Regeln, Gewohnheiten und Gestaltungsmerkmale entstanden, welche die Form eines Gesetzes angenommen haben. Es ist leichter etwas Neues zu schaffen, als althergebrachte Regeln grundsätzlich abzuändern. Das Bauen ist an die Natur gebunden, mehr als andere Industrien. Das Bauland mit seinen Abmessungen und topographischen Verhältnissen ist gegeben. Das Bauwesen bedient sich etwa 50 anderer Industriezweige, die mit ihren Produkten und Eigenarten berücksichtigt werden müssen. Der Bau hat ausserdem einen anderen Masstab als unsere Industrieprodukte, wie z. B. ein Auto. Schliesslich wünscht man von einem Bauwerk etwas mehr als reine Zweckmässigkeit, reine Funktion. Der Bau muss nach den individuellen Wünschen gestaltet werden; auch muss er die Sehnsucht des Menschen nach dem Schönen befriedigen. Der Bau kann zwar altern, aber im Grunde genommen niemals veraltern.

Die Entwicklung vollzieht sich deshalb im Bauwesen langsamer, sie muss aber zwangsläufig in die Richtung der Industrialisierung gehen, zumal die Bauaufgaben mit den alten Methoden nicht mehr zu meistern sind und der hohe Lohnanteil, der die Baukosten immer weiter steigert, durch die Industrialisierung verkleinert werden kann.

1.2 Begriffsbildung: Vorfabrikation, Montagebauweise, Fertigteile

Das Ziel der Vorfabrikation ist die industrielle Baumethode, bei welcher in grossen Serien in Massenproduktion hergestellte Elemente mit Geräten und Hebezeugen zu Bauten montiert werden. Der Zusammenbau muss rasch, ohne viel Handarbeit durchgeführt werden, die Elemente sollen nach der beendeten Montage keiner oder nur ganz geringer Nachbehandlung bedürfen.

Die vorfabrizierten Elemente werden in Deutschland Fertigteile genannt. Man bringt damit zum Ausdruck, dass sie erst nach dem Erhärten verlegt und zusammengebaut werden. Die Bauweise, welche sich der Fertigteile bedient, wird deshalb eine Fertigteilbauweise oder nach der anderen charakteristischen Eigenschaft als Montagebauweise bezeichnet.

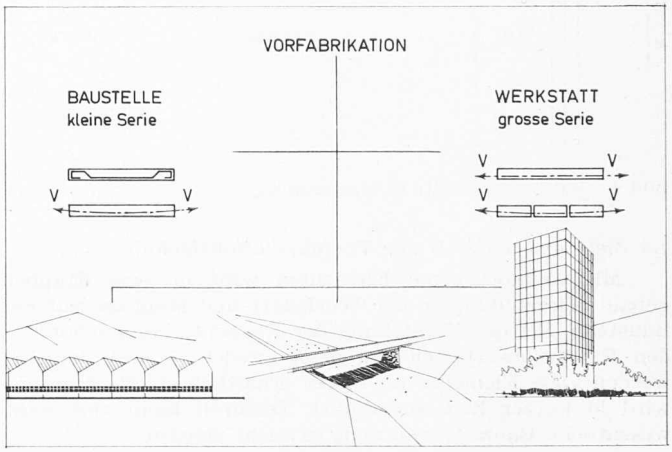


Bild 1. Klassifizierung der Vorfabrikation

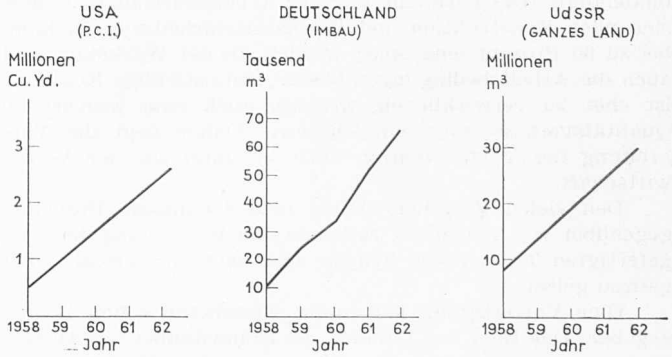


Bild 2. Produktionsentwicklung der Vorfabrikation zweier Länder und einer deutschen Firma
(P. C. I. = Prestressed Concrete Institute)

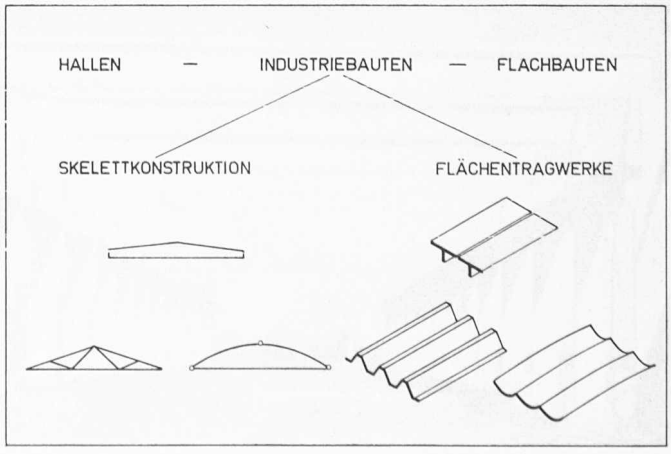


Bild 3. Klassifizierung im Industriebau

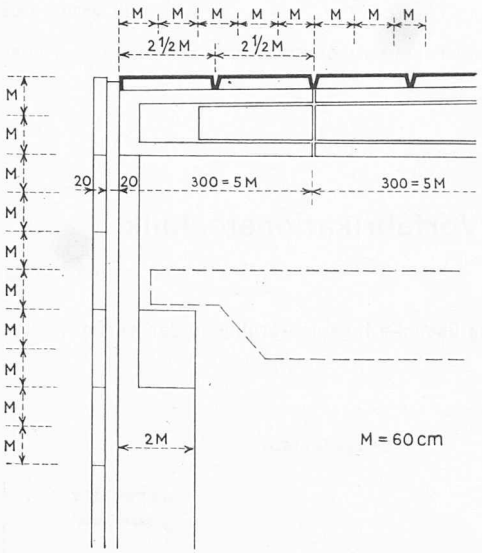


Bild 4. Hallenquerschnitt in Massordnung

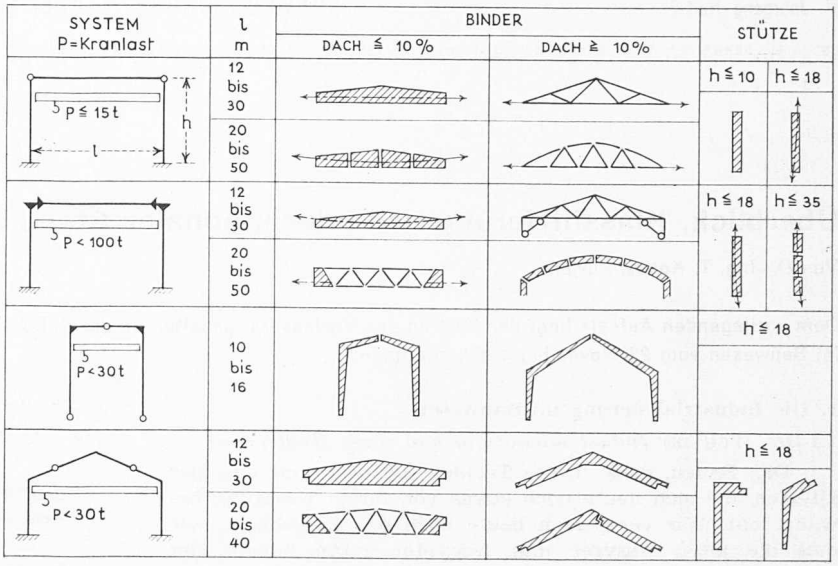


Bild 5. Skelettkonstruktionen im Hallenbau, Systeme

1.3 Ziele und Vorteile der Vorfabrikationstechnik

Mit vorfabrizierten Elementen wird in zwei Etappen gebaut: Herstellung in der Werkstatt und Montage auf der Baustelle. Mit der Herstellung der Elemente kann schon vor den Fundationsarbeiten begonnen werden — mit der Zeit werden viele Elemente ab Lager erhältlich — die Montage wird in kurzer Zeit ausgeführt. Dadurch kann eine ganz wesentliche Bauzeitverkürzung erreicht werden.

Die serienmässige Produktion vermindert den Arbeitsaufwand; die Werkstatt ermöglicht dem grössten Teil der Bauarbeiter einen festen Arbeitsplatz; die Produktion in gedeckten, heizbaren Räumen ist von der Witterung praktisch unabhängig. Die Verkleinerung des Arbeitsaufwandes richtet sich nach Konstruktion und Werkstatteinrichtung; es kann bis zu 60 Prozent eingespart werden. In der Werkstatt sind auch die Arbeitsbedingungen besser; eine ständige Kontrolle ist eher zu verwirklichen, weshalb auch eine wesentliche Qualitätsverbesserung möglich wird. Daher liegt die Verbreitung der Vorfabrikation auch im Interesse der Volkswirtschaft.

Den vielen Vorteilen stehen neue technische Probleme gegenüber wie Transport, Montage und Verbindung der vorgefertigten Teile. Diese Fragen sind heute im grossen und ganzen gelöst.

Eine Vorfertigung hat es im Eisenbeton schon immer gegeben. Das Boot von Lambot, die Blumenkübel von Monier sind ja vorgefertigte Elemente gewesen. Vorfabrizierte Balken wurden für das Casino von Biarritz durch die Bauunternehmung Coignet schon im Jahre 1894 verwendet. Der Durchbruch der Vorfabrikation beginnt aber erst mit der Entwicklung der geeigneten schweren Transport- und Hebegeräte und mit der Verbreitung der Vorspannung. Die Vorspannung setzt das Gewicht der Elemente herab, erhöht ihre Transportfähigkeit und ermöglicht es, durch die Vorspannkabel Einzelteile zum einheitlichen Tragwerk zu verbinden.

2. Klassifizierung und Entwicklung der Vorfabrikationstechnik

2.1 Klassifizierung nach Anwendungsgebiet, Stelle der Fertigung und Fabrikationsmethode

Die Bauelemente werden entweder auf der Baustelle oder in der Werkstatt vorgefertigt. Die Entwicklung geht eindeutig in Richtung der Werkstattherstellung. Auf der Baustelle — in der fliegenden Fabrik — sind die Serien kleiner, die Elemente werden im Grossformat ausgebildet, da die Transportschwierigkeiten wegfallen. Die Fabrikationsmethode ist das Betonieren in standfesten Formen, an Matrizen, die Elemente werden normalbewehrt oder mit Spanngliedern (Kabeln) vorgespannt.

Die Werksfertigung soll grosse Serien herstellen können, dafür sind Grösse und Gewicht der Elemente durch die Transportmöglichkeiten beschränkt. Die Herstellung erfolgt entweder mit Hilfe von standfesten Formen im Spannbett, wo mit Einzeldrähten oder Litzen vorgespannt wird, die sich selbsttätig verankern, oder es werden die Formen und die Elemente bei der Fabrikation bewegt, und man erzielt dadurch eine Art Fliessbandfertigung. Neuerdings wird der Beton in der Sowjetunion zwischen bewegten Formen gewalzt, ähnlich wie Stahl im Walzwerk.

Die Spannbettherstellung ist noch keine echte Massenfertigung, da die Elemente während der Erhärtungszeit im Spannbett bleiben müssen. Deshalb ist diese Herstellungsart

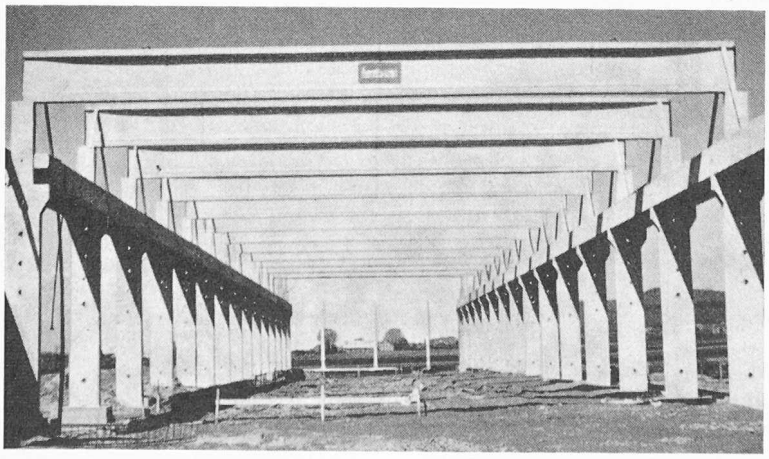


Bild 6. Typenhalle für 20,0 m Spannweite

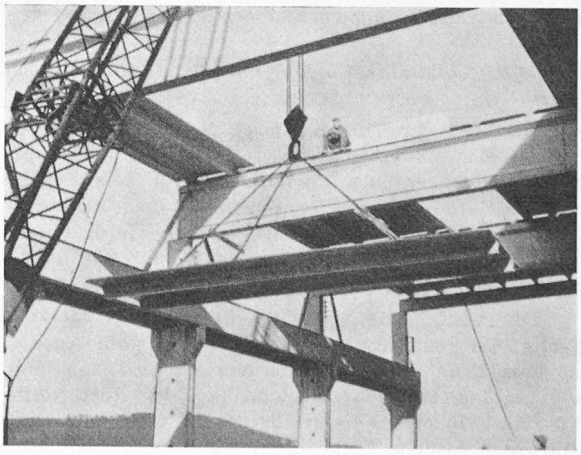


Bild 7. Versetzen der grossformatigen Dachelemente

mehr für grossformatige Elemente geeignet. Je grösser das Element, desto kürzer ist die spezifische Dauer der Inanspruchnahme des Spannbettes. Eine Mechanisierung der Arbeitsvorgänge wird durch den Gleitfertiger erreicht, der das Formen, Betonieren und Verdichten des Betons in einem Arbeitsgang vereinigt.

Eine noch ungelöste Frage ist, wie mit der selbsttätigen Verankerung der Vorspanndrähte eine Fliessbandproduktion mit bewegten Formen erzielt werden kann. Diese letztgenannte wird erreicht bei den Wickelverfahren, welche mit Vorspanndrähten arbeiten, die auf einen Balken unter Spannung aufgewickelt werden. Sie sind in den USA als Preload-Crom und in der Sowjetunion als Mikhailow-Verfahren bekannt. Ihr Anwendungsgebiet ist jedoch begrenzt.

Bemerkenswert ist, dass in der freien Wirtschaft das Spannbettverfahren verbreitet ist, das weniger hohe Investitionen fordert. Wo hingegen der Staat investiert, werden die Fliessbandverfahren bevorzugt, die eine höhere Investitionssumme verlangen, aber rationeller arbeiten.

Die Vorfabrikation als Bauweise hat in allen Sektoren des Bauwesens ihre Berechtigung, im Folgenden werden der Industriebau, der Brückenbau und der allgemeine Hochbau betrachtet (Bild 1).

2.2 Wachstumsraten bei der Verwendung von Fertigteilen

Dass es sich bei der Vorfabrikation tatsächlich um eine zukunftsreiche Bauweise handelt und sich in den letzten Jahren ein Umbruch anbahnt, sollen einige Zahlen beweisen (Bild 2). In den USA gab es vor einigen Jahren praktisch noch keine Vorfertigung, gegenwärtig werden etwas über 2 Mio m^3 im Jahr hergestellt (Zahlen aus einer Mitteilung des Prestressed Concrete Institute, P. C. I.). Aus Deutschland stand mir die Produktionsentwicklung einer einzigen Firma zur Verfügung. Diese Firma stellt gegenwärtig etwa 600 000 m^2 Hallenfläche im Jahr her. In der Sowjetunion ist das jährliche Volumen etwa das zehnfache des amerikanischen. Die Tendenzen sind auch in der gelenkten Wirtschaft ähnlich, wie das Bild zeigt.

3. Vorfabrikation im Industriebau

Die Vorfabrikation hat zuerst im Industriebau Eingang gefunden. Die Ursachen liegen auf der Hand: grosse Bauobjekte, einfache Gebäudequerschnitte, weniger anspruchsvoller Ausbau. Unter Industriebauten verstehen wir in diesem Zusammenhang Hallen- und Flachbauten. Flachbauten sind durch grosse Flächen, mässige lichte Höhen und geringe Kranlasten charakterisiert (Bild 3). Der Bau weist eine Skelettkonstruktion traditioneller Art auf oder es wird die tragende und raumschliessende Funktion in Flächentragwerken vereinigt. Je nach dem Hauptträger des Skelettes

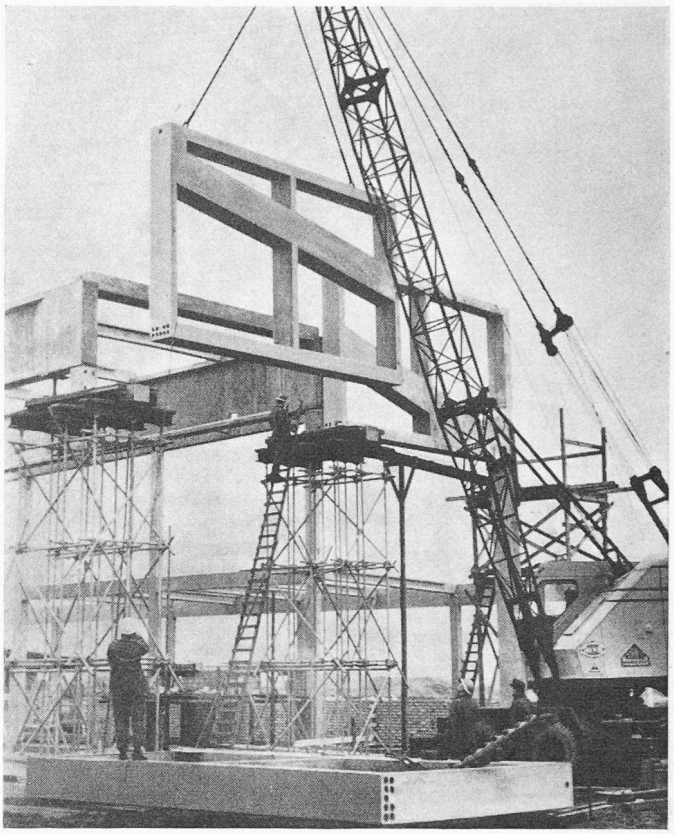


Bild 9. Absetzen der Bogenteile auf Montagegerüst

sind Vollwandbinder, Fachwerke und Bogentragwerke zu unterscheiden. Die Flächentragwerke sind Platten, Faltwerke oder Schalen.

3.1 Die Voraussetzungen der Vorfabrikation

Grosse Serien, eine Bedingung der Vorfabrikation, sind nur möglich, wenn beim Entwurf eine Koordination der Abmessungen vorhanden ist, die eine Typung oder Normung von Bauelementen erlaubt. Mit dieser Massordnung erstrebt man die kleinstmögliche Anzahl verschiedener Elementtypen sowie die Möglichkeit des Auswechselns und Ersetzens einzelner Elemente. Massordnungen einzuführen bietet grosse Schwierigkeiten auch in den Staaten mit gelenktem Wirtschaftssystem. In der freien Wirtschaft kann ein grösseres Industrieunternehmen, eine Werkstatt für Fertigteile oder

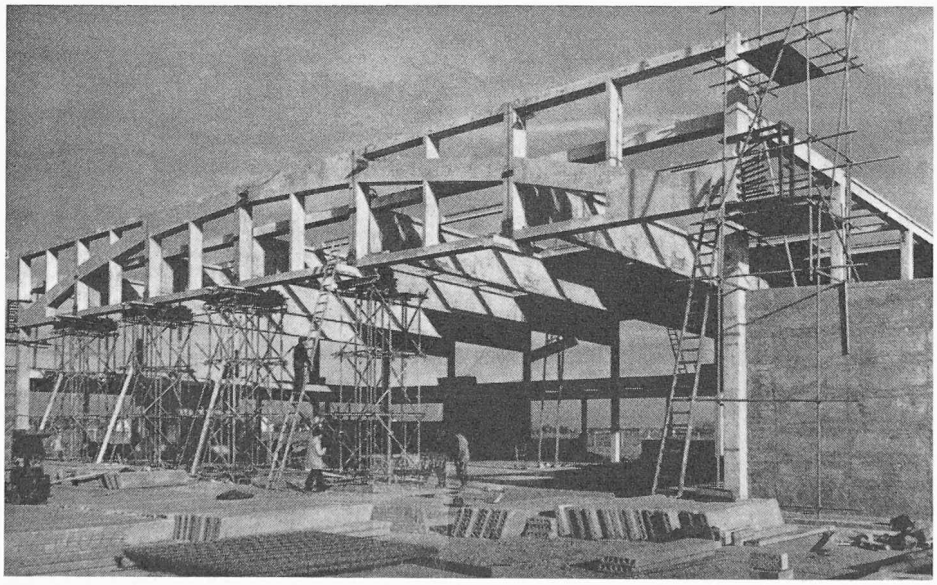


Bild 8. Flugzeugwartungshalle mit Vollwandbindern und aus Teilen zusammengespanntem Torträger

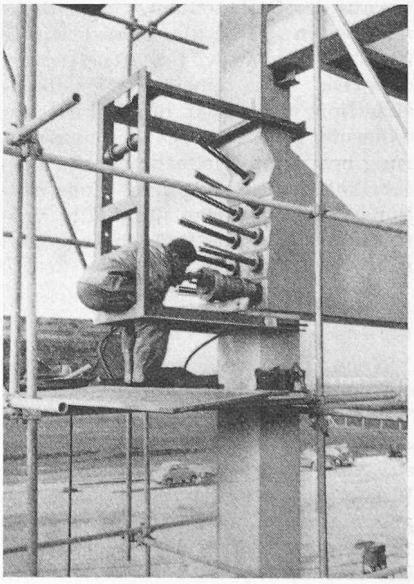


Bild 10. Zusammenspannen der Bogenteile

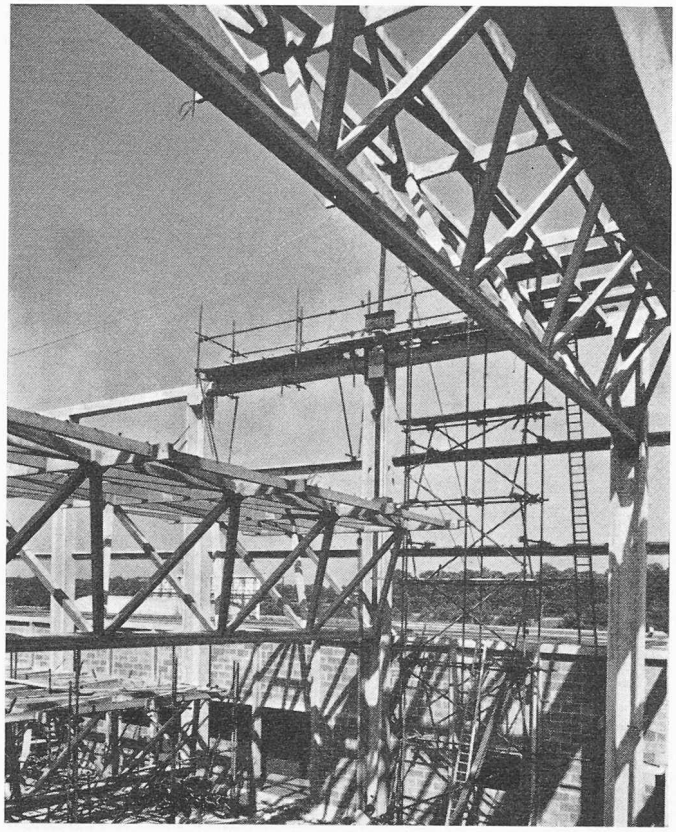


Bild 11. Heben von dreiflächigen Raumfachwerken der Flugzeughalle Gatwick bei London

Bild 12. Die fertiggestellte Flugzeughalle mit Torträger

sogar ein Architektur- oder Ingenieurbüro eine Massordnung einführen.

Der Hallenquerschnitt im Bild 4 wurde nach einem Modul von 60 cm entworfen. Damit war es möglich, auch für die Dach- und Wandelemente Modul-Vielfache als Richtmasse zu erhalten.

Als weitere Voraussetzung der Vorfabrikation müssen wir die Organisation der Bauausführung, der Fertigung, sowie des Transportes und der Montage nennen.

Schliesslich muss die Konstruktion durch die Auswertung der Wechselbeziehungen gestaltet werden, welche zwischen baulichen Gegebenheiten (wie Spannweiten, lichte Höhen, Kranlasten) einerseits und den Möglichkeiten der Bauausführung (wie Fertigung, Transport und Montage) anderseits bestehen. Man muss auf jeden Fall erkennen, dass die aus der Ortbetonbauweise entliehenen statischen Systeme nur selten auch als vorfabrizierte Konstruktionen wirtschaftlich werden. Die Güte einer Fertigteilkonstruktion wird nicht durch ihre Annäherung an eine Ortbetonausführung bestimmt. Vielmehr hat die Vorfabrikation ihre eigenen Konstruktionssysteme, welche durch die Vorfabrikationstechnik und Montage charakterisiert werden.

3.2 Skelettkonstruktionen für Industriehallen (Bild 5)

Nach diesen Prinzipien ist der auf eingespannten Stützen aufliegende Vollwandbinder die typische Konstruktionsart im Hallenbau. Bis zu etwa 30 m Spannweite werden diese Binder im Spannbett vorgespannt. Bei grösserer Dachneigung wählt man zweckmässig einen Fachwerkbinder. Der frei aufliegende Balken kann am einfachsten hergestellt, die steife Verbindung zwischen Stütze und Fundament und eine gelenkige Eckverbindung am schnellsten montiert werden. Die Ersparnis an Arbeitsaufwand und Bauzeit ist wesentlich grösser als der geringe Mehrverbrauch an Stahl infolge mangelnder Kontinuität.

Bei grösseren Spannweiten, wenn für den Transport der Binder keine Möglichkeit besteht, wird man diese aus in einer Werkstatt hergestellten Einzelteilen mit Kabeln zu einheitlichem Tragwerk zusammenspannen. Bei grösseren Hallenhöhen als etwa 18 m und bei grösseren Kranlasten als etwa 30 t werden die Deformationen aus den Horizontallasten so gross, dass — meistens wegen des Kranbetriebes — eine biegefeste Eckverbindung unvermeidlich wird. Man kombiniert dann für den Binder die Kabel- und Spannbettvorspannung. Bei noch höheren Hallen wird man auch die Stützen aus Einzelteilen zusammenspannen, da im allgemeinen die schweren Hebezeuge nicht mehr als etwa 20 m Höhe erreichen. Die Montage wird dann von einem Turmdrehkran besorgt, daher müssen auch die Gewichte der Elemente seiner Tragfähigkeit angepasst werden. Bei geringen Spannweiten und verhältnismässig hohen Hallen kann ein Dreigelenkrahmen wirtschaftlich sein; wegen des erschwerten Transportes solcher Teile verlagert sich die Fertigung auf die Baustelle.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Rahmenteile in den Momentennullpunkten zu stossen. Dieses unter dem Namen «Lambda» bekannt gewordenes System der Firma *R. E. Eagan Ltd.*, London, wird bei grösserer Dachneigung in England sehr oft verwendet. Die Rahmenteile werden in der Werkstatt mit Normalbewehrung hergestellt und auf der Baustelle mit einfacher Bolzenverbindung zusammen-

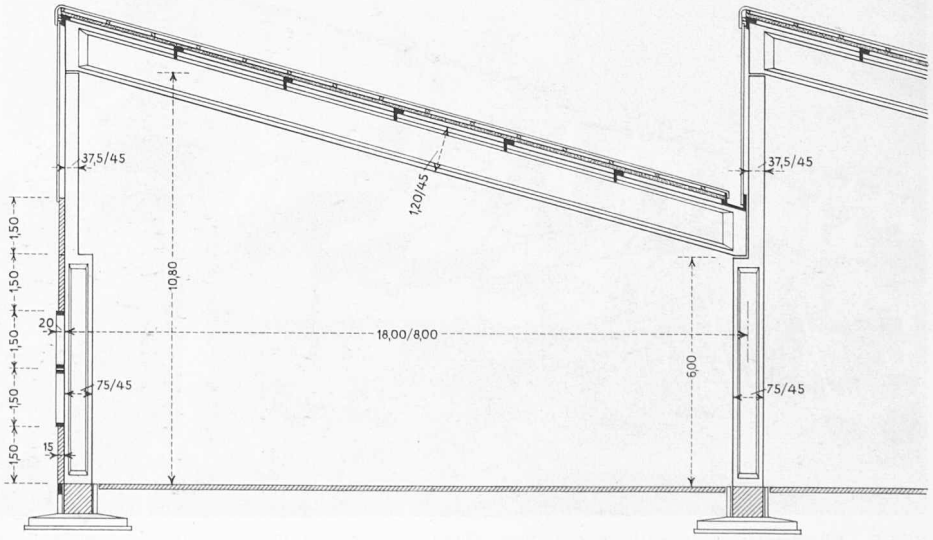


Bild 14. Shedhalle aus geraden Elementen für Serienfertigung, Masstab 1:200

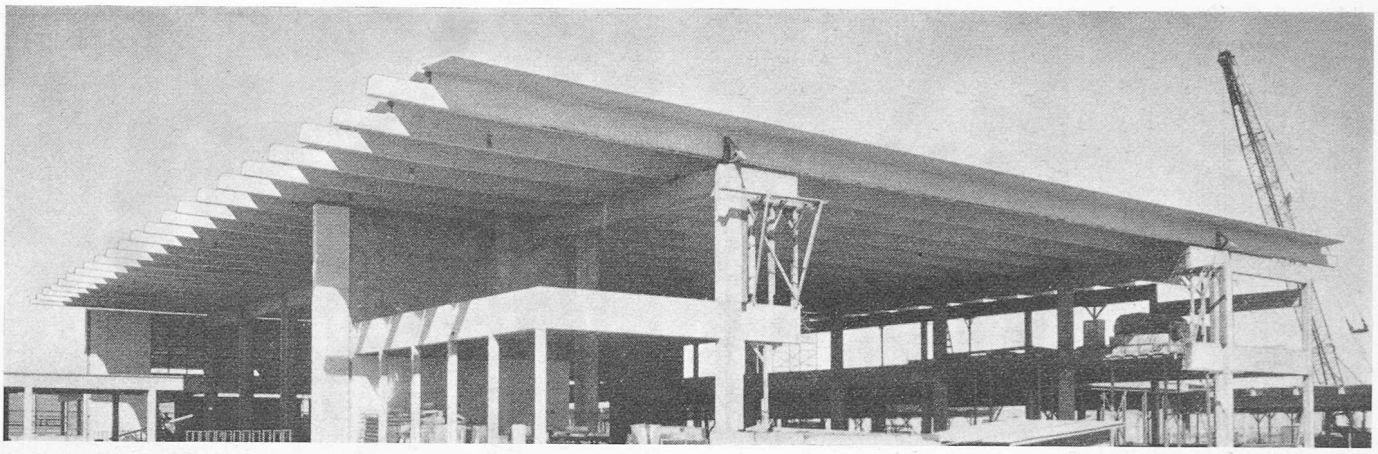


Bild 17. 47,0 m lange Lin-T-Elemente für ein Flugplatzgebäude in Phoenix, USA

gebaut. Der Vorteil ist der geringe Materialverbrauch, Fabrikation und Transport scheinen aber etwas arbeitsaufwändig zu sein.

3.21 Ausführungsbeispiele für Hallenbauten

Zunächst soll eine Typenhalle der *IMBAU GmbH*, Leverkusen, für 20,0 m Spannweite gezeigt werden, die in Serien hergestellt wird. Der Binderabstand beträgt 7,50 bis 10,0 m und wird von 2,50 m breiten Doppel-T-Dachelementen überdeckt. Binder und Dachelemente werden im Spannbett hergestellt (Bilder 6 und 7).

Eine logische Kombination der beiden Ausführungsarten — frei aufliegende Spannbetonbinder für 23,0 m Spannweite und aus Abschnitten zusammengespannte Bogenbinder für etwa 38 m Spannweite — wurde von der *Hochtief AG.*, Essen, bei der Ausführung von zehn Flugzeugwartungshallen gewählt (Bild 8). Die Teile des grossen Bogenbinders wurden auf einem Montagegerüst versetzt und nachher mit dem firmaeigenen Verfahren zum einheitlichen Tragwerk zusammengespannt (Bilder 9 und 10).

Die Konstruktion der Flugzeughalle Gatwick bei London wurde von den Ingenieuren *A. J. Harris & D. J. Harris*, London, gänzlich aus serienmässig hergestellten Stäben zu einem dreiflächigen Raumfachwerk am Boden zusammengespannt und in etwa 6 m breiten Abschnitten hochgezogen (Bild 11). Der etwa 42 m weit gespannte Torträger besteht ebenfalls aus vorfabrizierten, mit einem frei geführten Kabel vorgespannten Dreiecksfachwerkteilen (Bild 12).

3.22 Ausführungsbeispiele von Flachbauten

Die Konstruktionssysteme von Flachbauten werden weitgehend nach dem Oberlichtsystem ausgebildet. Der Spannbetonbinder mit den aufgesetzten Dreieckrahmen ist sozusagen eine Typenkonstruktion für Sheddächer geworden. Der Rinnenträgerquerschnitt kann statt als I auch als V oder H ausgebildet werden; andere Firmen bevorzugen Hohlquerschnitte, wenn die Leitungen einer Klimaanlage im Binder untergebracht werden sollen. Eine Shedhalle der Firma *L. Rostan*, Friedrichshafen, mit Bindern von I-Querschnitt ist im Bild 13 dargestellt.

Die Dreieckrahmen haben gewisse fabrikations- und montagetechnische Nachteile, bedingt durch die Dreieckform. Die geraden Elemente der Shedhalle im Bild 14 sind für eine Serienfertigung besser geeignet; es ist nur eine Binder- und eine Stützenform bei der Fabrikation nötig. Der Nachteil dieses Systems ist die auf etwa 18 m begrenzte Spannweite; bei grösseren Spannweiten ist die Gleichmässigkeit der Belichtungsstärke zu sehr gestört.

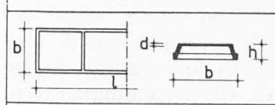
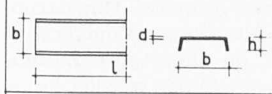
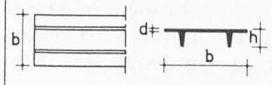
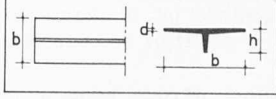
DACHELEMENT	l m	b m	h cm	d cm	GEWICHT kg/m²	FABR.
	5 bis 12	1,5 bis 3,0	25 bis 45	2,5 bis 3,0	140 bis 190	RÜTTEL-TISCH
	5 bis 12	0,6 bis 1,2	20 bis 35	4,0 bis 5,0	155 bis 275	SPANN-BETT
	9 bis 30	1,2 bis 1,5	30 bis 65	4,0 bis 5,0	220 bis 350	SPANN-BETT
	9 bis 36	1,4 bis 2,2	30 bis 90	4,0 bis 7,5	200 bis 320	SPANN-BETT

Bild 16. Grossformatige Dachelemente

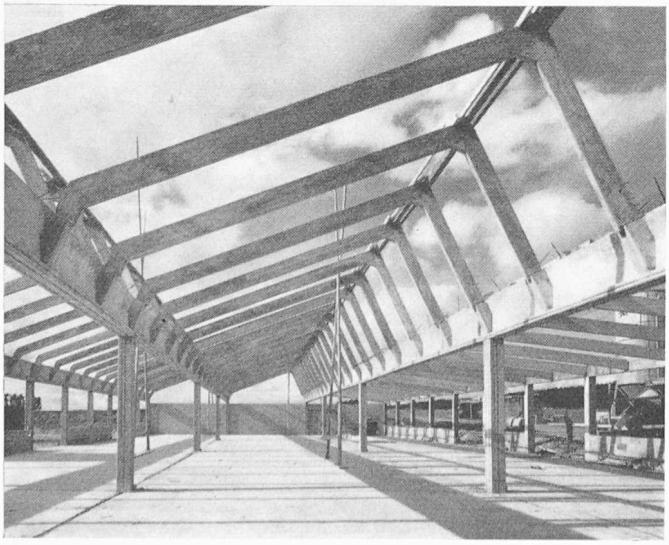


Bild 13. Shedhalle mit Spannbetonbindern und Dreieckrahmen

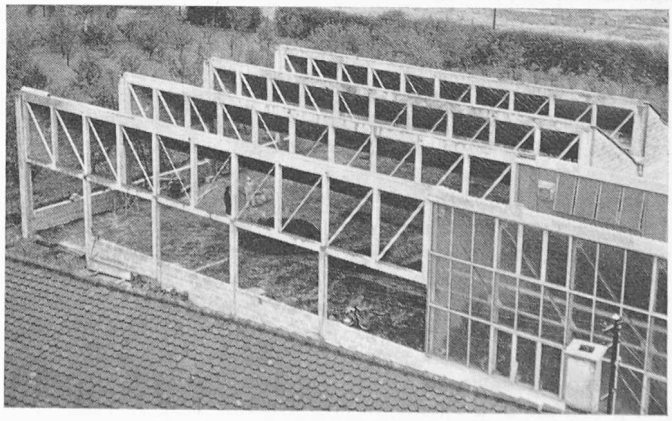


Bild 15. Shedhalle mit Fachwerkbindern in der Fensterfläche

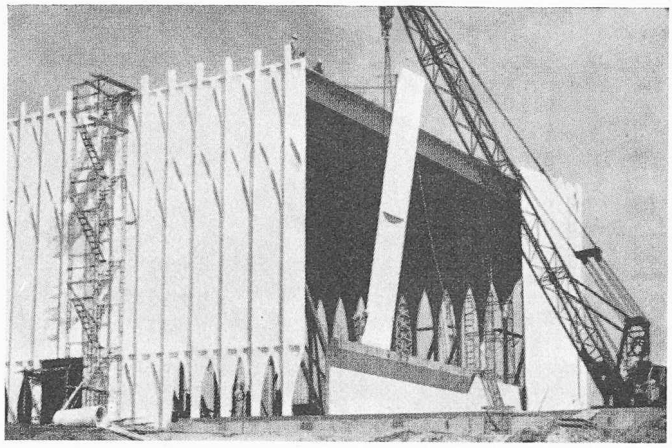


Bild 18. U. S. Science Pavillon in Seattle aus vorgespannten Wand- und Dachelementen

Interessante Möglichkeiten ergeben sich bei der Verwendung von Fachwerkbindern, welche dann eine doppelte Funktion (Tragwerk und Fensterfläche) versehen. Das Ständerfachwerk ist dabei günstiger, da die Diagonalen aus Rundstahl bestehen können, die nur wenig Schatten werfen. Die grosse Konstruktionshöhe begünstigt die Sparsamkeit im Materialaufwand, erschwert aber die Fabrikation, bei welcher der Untergurt im Spannbett vorgespannt wird. Das Versetzen des grossen Binders in einem Arbeitsgang erlaubt eine rasche Montage. Die Shedhalle mit Ständerfachwerken im Bild 15 wurde vom Spannbetonwerk *L. Rostan,* Friedrichshafen, konstruiert.

3.23 Das Dach zu den Skelettkonstruktionen

Anstelle von Pfetten und Dachplatten — die von der Stahl- und Holzkonstruktion auf Stahlbeton übertragen wurden — werden immer mehr die dem Wesen des Betons besser entsprechenden grossformatigen Dachelemente verwendet, die einen ganzen Binderabstand überspannen. Durch die Grossformatplatten lässt sich die Anzahl der Elemente wesentlich herabsetzen, weshalb sich die Herstellungs- und Montagezeit ebenfalls verkürzt. Platte und Steg werden auf einmal gegossen, die Druckplatte wird als statisch mitwirkend betrachtet, was ebenfalls Einsparungen im Materialbedarf bringt. Die üblichen Windverstrebungen des Daches können entfallen, da ohne teure Zusatzmassnahmen eine starre Scheibe durchgebildet werden kann.

Die üblichen Dimensionen der meistgebrauchten Dachelemente sind im Bild 16 aufgeführt. Bezüglich Wirtschaftlichkeit gibt es keine nennenswerten Unterschiede. Vermerkt soll sein, dass die Kassettenplatte wegen der sehr dünnen Spiegeldicke die leichteste Dachtafel ist. Sie kann auf Rütteltischen im Fliessbandverfahren gefertigt werden, bis zu 20 Stück/Stunde.

Je breiter die Elemente ausgeführt werden können — die Grenze liegt für den Strassentransport bei etwa 2,50 m — und je weiter sie gespannt sind, desto geringer wird der spezifische Arbeitsaufwand. Die längsten Dachelemente waren wahrscheinlich Lin-T-Platten, die bei einem Aufnahmegebäude des Flugplatzes in Phoenix, USA, ausgeführt wurden. Sie sind etwa 47 m lang bei rund 27 m Stützweite und beidseitiger, 10 m langer Auskragung. Diese Elemente bilden einen Uebergang zwischen Binder und Flächentragwerken, sie sind ja eigentlich Plattenbalken (Bild 17).

3.31 Flächentragwerke im Hallenbau

Dem wesentlichen Merkmal des Baustoffes Stahlbeton, nämlich seiner Eigenschaft, tragende und raumschliessende Funktionen gleichzeitig versehen zu können, entsprechen die Flächentragwerke. Der US Science Pavillon an der Weltmesse in Seattle (Architekt *Minoru Yamasaki* in Detroit) besteht nur aus zwei Elementtypen: aus tragenden, etwa 16 m langen vorgespannten Wandtafeln, welche die 34 m weitgespannten T-Elemente des Daches tragen (Bild 18). Das Dach des Hauptsitzes des American Concrete Institute in

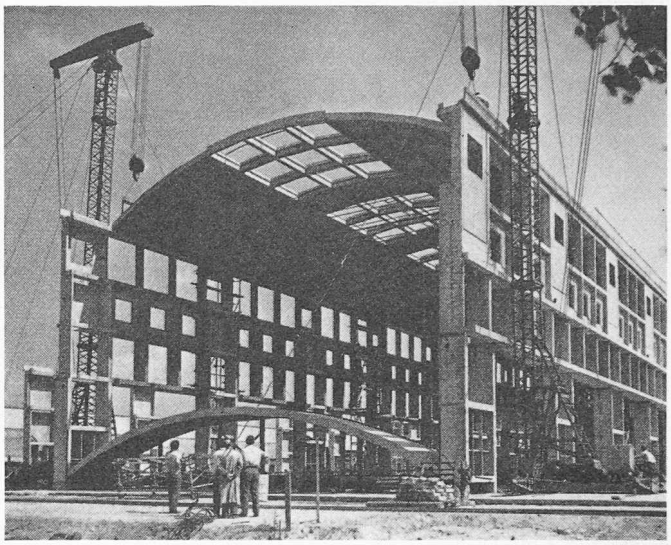


Bild 19. Kurze Tonnenschalen einer Werkhalle in Budapest

Detroit (siehe SBZ 1960, H. 44, S. 716 u. 717, Bilder 3 u. 4) besteht aus 1,30 m breiten, etwa 7,50 m langen, 6,0 m weit auskragenden Faltwerken, einer Konstruktion des Ingenieurbüros *Amman & Whitney,* New York, Architekt ebenfalls *Minoru Yamasaki* in Detroit.

Kurze Tonnenschalen bilden die Dachkonstruktion einer Werkhalle in Budapest, die sich auf tragende Wand- und Fenstertafeln abstützen. Die Schalenelemente sind 2,50 m breit, die Stützweite betrug etwas mehr als 20,0 m (Bild 19).

Grosse Schalenkonstruktionen wurden auch aus Teilen zusammengesetzt, die seriemässig hergestellt wurden. Solche

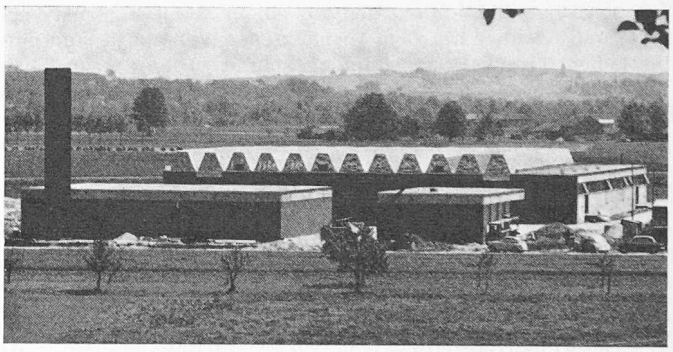


Bild 20. Shedhalle mit Faltelementen in Rott am Inn

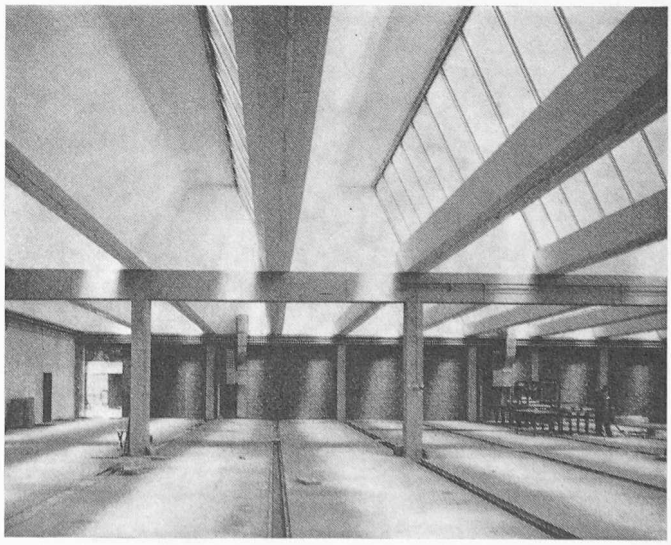


Bild 21. Innenansicht der Halle in Rott am Inn

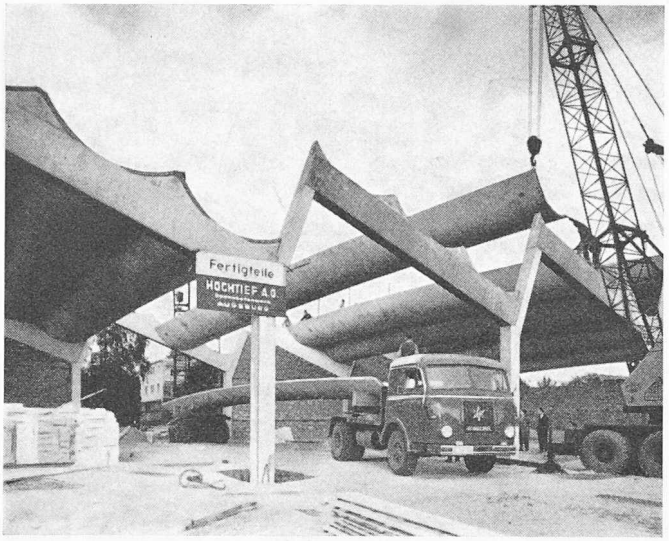


Bild 22. Hyperbolische Paraboloidschalen für eine Shedhalle

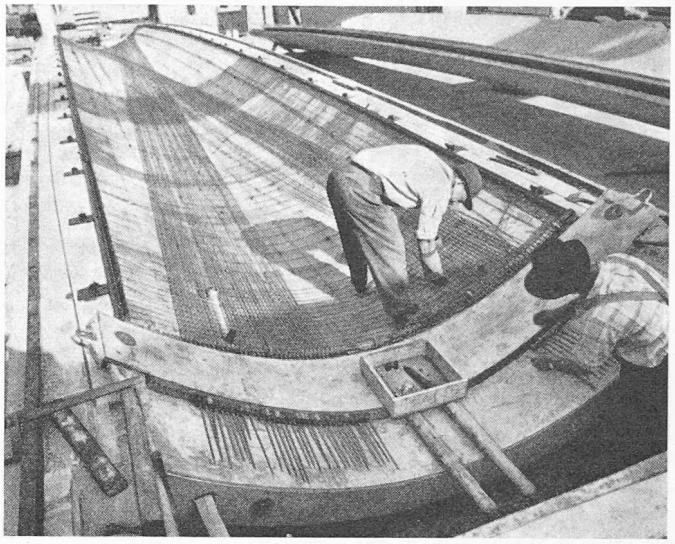


Bild 23. Fertigung der HP-Schalen im Spannbett

Bauten sind vor allem in Polen und in der Sowjetunion ausgeführt worden; die grösste Spannweite wurde bei einer Fertigteilfabrik in Leningrad erreicht, die als elliptische Paraboloidschale 100 m überspannt.

3.32 Flächentragwerke für Flachbauten

Wo Oberlichter anzuordnen sind, eignen sich Flächentragwerke vorzüglich. Die Zylinderschale als Shedschale gehört auch in der Ortbetonbauweise zu den beliebten Konstruktionsarten. In Deutschland wurden solche Schalenbauten mehrfach vorfabriziert. Ein ähnliches System ist auch mit Faltwerken zu verwirklichen, wie die Industriehalle in Rott am Inn zeigt. Die Faltwerke sind 16,0 m weit gespannt und wurden von der *Hochtief AG.*, Essen, mit einer Wandstärke von 8 cm konstruiert. Auch die architektonische Gestaltung mit diesen Faltelementen ist sehr befriedigend (Bilder 20 und 21).

Shedhallen werden oft auch mit hyperbolischen Paraboloidschalen ausgeführt, die zu den Shedfenstern parallel gespannt sind. Diese Schalen sind Ausschnitte aus Rotationshyperboloiden (Bild 22). Deshalb besitzen sie zwei sich kreuzende Scharen von Geraden, womit eine Spannbettherstellung möglich wird. Die Querbiegemomente der HP-Schalen betragen nur etwa die Hälfte der entsprechend ausgebildeten Zylinderschale (Bild 23).

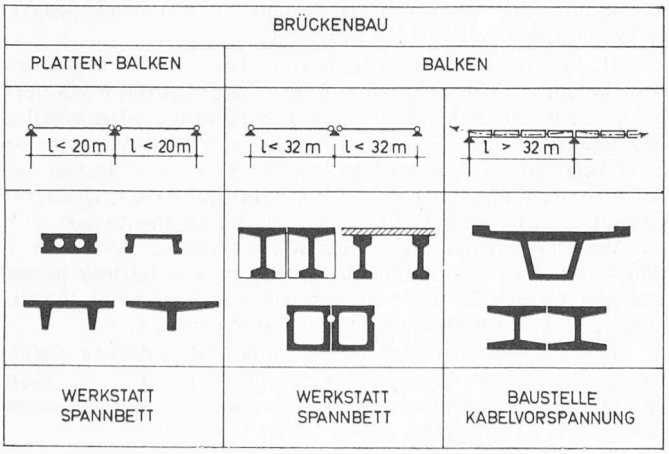


Bild 24. Konstruktionssysteme vorfabrizierter Brücken

4. Vorfabrizierte Brücken

4.1 Konstruktionssysteme

Die zwei grossen Gruppen (Bild 24) sind die Platten- und Plattenbalkenbrücken einerseits und die Balkenbrücken anderseits, wenn man zunächst von den für eine Serienherstellung weniger geeigneten Bogentragwerken absieht. Die Grundsätze der konstruktiven Gestaltung bleiben gleich. Das statische System ist der freiaufliegende Balken, solange eine Spannbettherstellung möglich ist.

Die Querschnittsausbildung der im Spannbett vorgespannten Platten ähnelt der oben für den Industriebau geschilderten. Hohlplatten und U-Platten werden bis etwa 15 m Stützweite, Doppel-T- oder Lin-T-Platten bis etwa 20 m verwendet. Diese Konstruktionen werden ohne Ortbeton ausgeführt, was den Arbeitsaufwand vermindert.

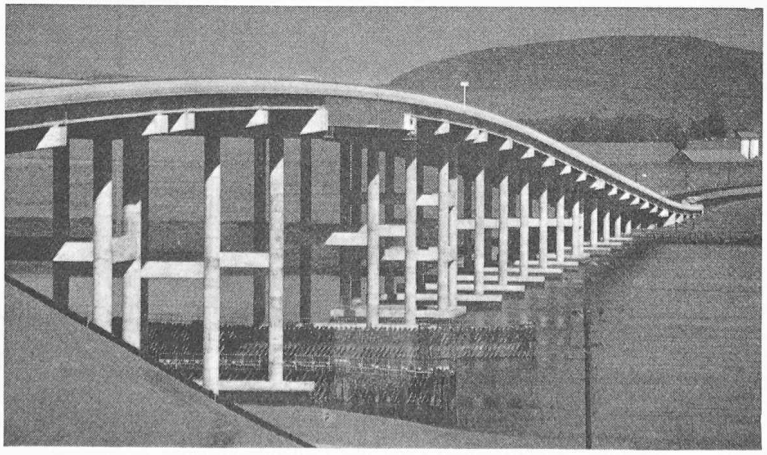


Bild 25. 660 m lange Brücke aus Fertigteilen in den USA

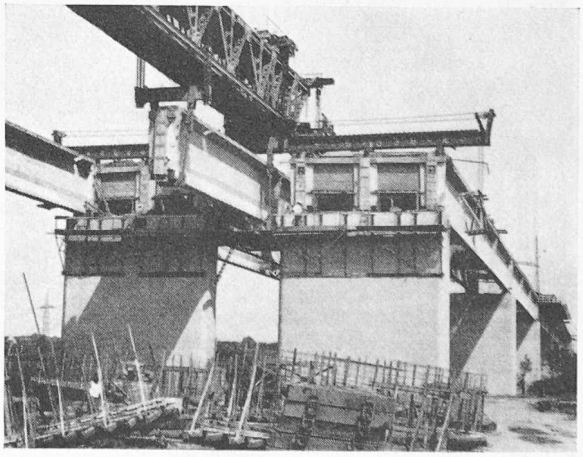


Bild 26. Heben eines langen Brückenträgers in Deutschland

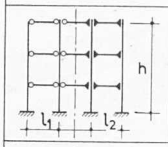
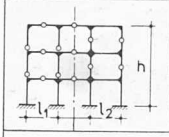
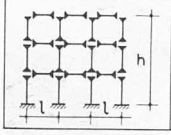
SYSTEM	l_1	l_2	h	HEBEZEUG	MONTAGE	VERBINDUNG
	m	m	m			
	5 bis 7,5	7,5 bis 15	< 18	AUTOKRAN PORTALKRAN	VERTIKAL ABSTANDS-WEISE	GELENKIG BIEGESTEIF ORTBETON
	5 bis 7,5	4 bis 6	12 bis 25	AUTOKRAN TURMDREH-KRAN	HORIZONTAL GESCHOSS-WEISE	GELENKIG SCHRAUBEN SCHWEISSEN
	5 bis 7,5		15 bis 35	TURMDREH-KRAN	HORIZONTAL	BIEGESTEIF ORTBETON

Bild 27. Wechselbeziehungen bei Skelettkonstruktionen von Hochbauten

Die Balkenbrücken sind entweder dicht nebeneinander gelegte I-Balken oder sie werden mit einer am Ort betonierten Fahrbahnplatte zu einer Verbundkonstruktion, bei welcher durch Bewehrungszulagen über dem Auflager auch eine Durchlaufwirkung in die Rechnung gestellt werden kann. Als sehr wirtschaftlich haben sich im amerikanischen Brükkenbau Hohlkastenquerschnitte erwiesen; es wird nur die Fuge mit Ortbeton ausgefüllt.

Ueber etwa 32 m Spannweite wird man das Tragwerk wegen Transportschwierigkeiten in Einzelteile zerlegen und die Elemente mit Spanngliedern zum Tragwerk zusammenspannen. Die Grösse und damit das Gewicht dieser Einzelteile variiert nach der Montagemöglichkeit.

4.2 Ausführungsbeispiele

Die 660 m lange Brücke in Kalifornien wurde mit I-Trägern gebaut, die bei 24,0 m Stützweite mit der am Ort betonierten Fahrbahnplatte als Verbundkonstruktion wirken (Konstruktion *Ben C. Gerwick*, San Francisco). Die Balken sind auch im Endzustand Einfeldbalken. Die Fertigteile für den Brückenbau machen in den USA rund 40 % des Gesamtvolumens aus (Bild 25). Oft lohnt sich auch eine Baustellenherstellung längerer Brückenträger, die dann mit Kabeln vorgespannt sind. Die Montage muss mit viel Geschick durchgeführt werden, wenn ein Gerüst vermieden werden soll (Bild 26).

5. Allgemeiner Hochbau

Anderen Problemen stehen wir im allgemeinen Hochbau gegenüber. Seriearbeit ist bei Bauten von regelmässigem Grundriss von vornherein gegeben. Auch das Gewicht der Elemente ist bei den üblichen Spannweiten nur so gross, oder kann so gewählt werden, dass die auch sonst benützten Hebegeräte — wie der Auto- oder der Turmdrehkran — die Elemente versetzen können. Die Probleme liegen vielmehr auf dem Gebiete der Verbindungen, weil diese in viel grösserer Zahl als bei Hallenbauten auftreten, und weil in einem Knoten oft mehr Elemente zu verbinden und beträchtliche Kräfte zu übertragen sind.

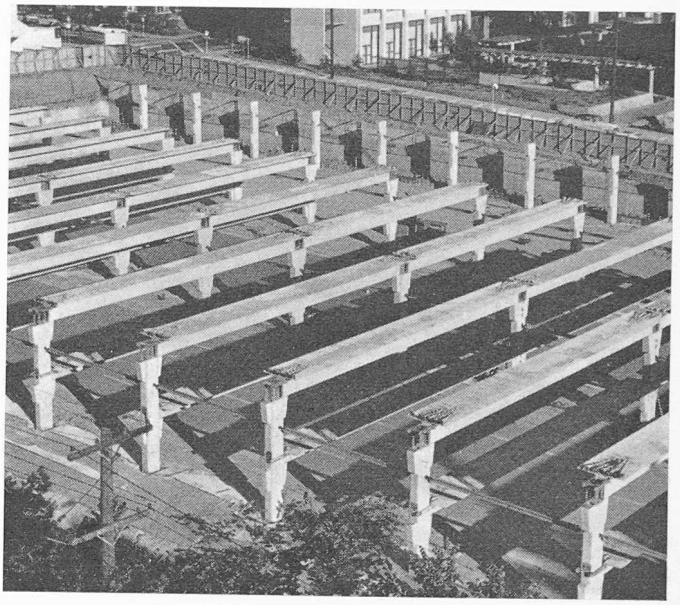


Bild 28. Zweigeschossige Universitätsgarage in Berkeley, Cal., mit Lin-T-Elementen

5.1 Wechselbeziehungen bei der Wahl des Tragsystems

Der Aufbau des Tragsystems, die Montageweise und die Ausbildung der Verbindungen stehen da noch ausgeprägter in Wechselbeziehung (Bild 27).

Bis zu einer Gebäudehöhe von etwa 18 m müssen die Stützen nicht gestossen werden, weil der Autokran sie noch in einem Stück aufstellen kann. Die Montage wird vertikal durchgeführt. Da der Autokran im allgemeinen zwischen zwei Bindern zu wenig Platz hat, wird der Bau Binder um Binder über die ganze Gebäudehöhe fertigmontiert. Der Kran bewegt sich rückwärts und versetzt die Elemente vor sich. Die Verbindungen sind gelenkig, wenn steife Querscheiben — möglicherweise das Treppenhaus — zur Aussteifung herangezogen werden können, sonst wird man biegefeste Verbindungen mit Vorspannung und Ortbeton ausführen.

Die Skelettkonstruktion wird aus Rahmenteilen aufgebaut, wenn keine Querscheiben vorhanden sind, oder wenn eine Turmdrehkranmontage vorgesehen wird. Bei grösseren

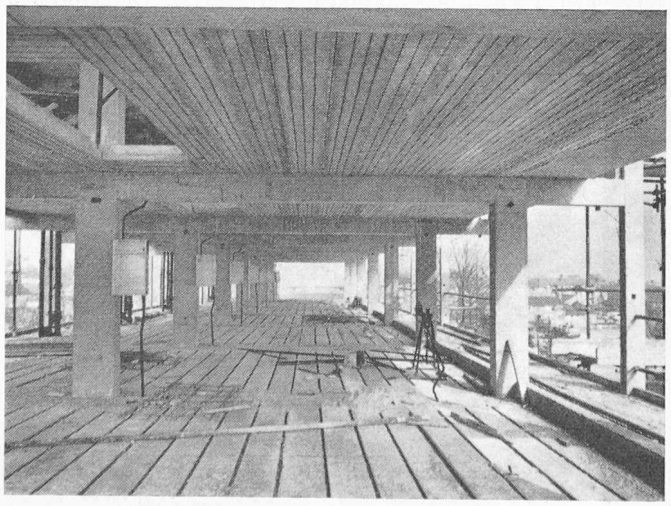


Bild 29. Einkaufszentrum in London mit übereinandergestellten Zweigelenkrahmen

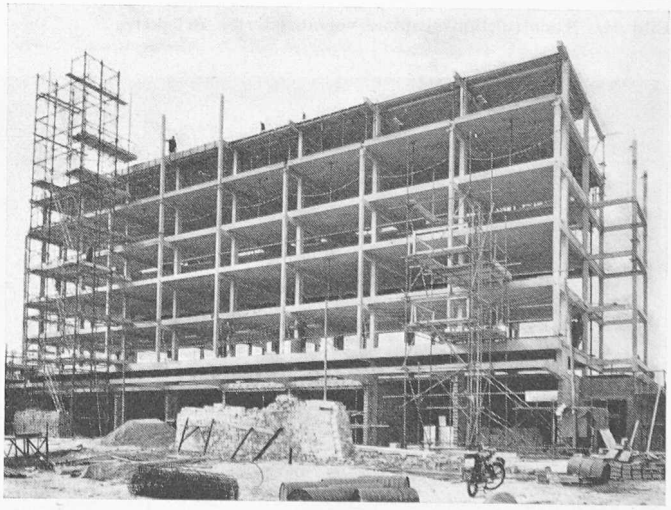


Bild 30. Skelettkonstruktion des Einkaufszentrums in London

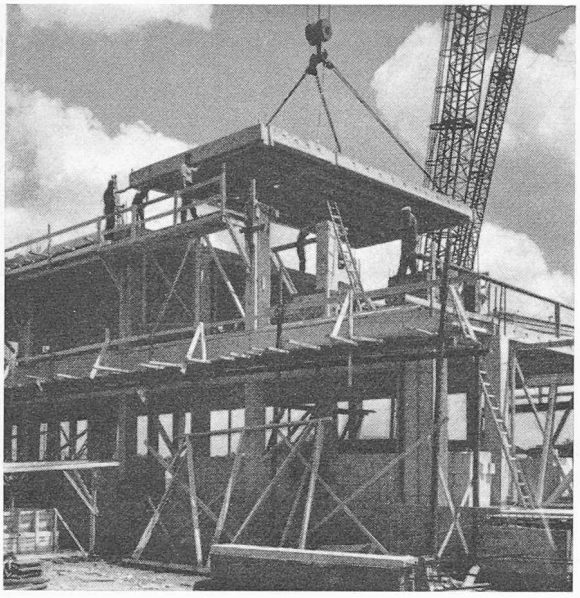


Bild 31. Grossformatige Deckentafel der Luftwaffenschule in Neubiberg bei München

Bild 32. Fassadenelemente des Kraftwerkes in Geertruidenberg, Niederlande

Elementgewichten wird die Montage vertikal durchgeführt, damit die Ausladung des Turmdrehkranes nicht zu gross und seine Tragfähigkeit nicht stark abgemindert wird. Dann müssen auch die Verbindungen wegen der erforderlichen Stabilität während der Bauzeit sofort tragfähig sein; sie werden durch Schweissen oder Schrauben ausgeführt. Bei hohen Bauobjekten kommt nur der Turmdrehkran als Montagegerät in Frage. Aus Stabilitätsgründen sind biegefeste Verbindungen zu entwerfen. Das Gewicht der Elemente muss der Leistungsfähigkeit des Turmdrehkranes angepasst werden. Wegen des abgeminderten Gewichtes wird eine gesonderte Herstellung der Stützen und Unterzüge nötig. Die biegefesten Verbindungen können mit Ortbeton am besten ausgeführt werden, dies bedingt wiederum eine horizontale Montage, das heisst, man wird alle Elemente eines ganzen Geschosses aufstellen, damit für die Erhärtung des Ortbetons noch etwas Zeit zur Verfügung steht, weil die Verbindungen bei der Montage des nächsten Geschosses schon tragfähig sein müssen.

Selbstverständlich ist auch eine Reihe anderer Kombinationsmöglichkeiten vorhanden, vor allem beim Aufbau des Tragsystem mit Flächentragwerken.

5.2 Ausführungsbeispiele

Die Uinversitätsgarage in Berkeley, Kalifornien, wurde als zweigeschossiger Bau mit durchgehenden Stützen und Lin-T-Unterzügen als steifer Rahmen ausgebildet. Die biegefeste Eckverbindung ist durch Schweissen und Ortbeton ausgeführt, die Stützweite betrug 19,0 m (Bild 28).

Uebereinandergestellte Zweigelenkrahmen in Verbindung mit einhüftigen Rahmen bilden die Skelettkonstruktion eines 20,0 m hohen Einkaufszentrums in London, ausgeführt von *R. E. Eagan Ltd.* Die Stützen sind mit Stahlprofilen gestossen, die Verbindung der Rahmen erfolgte in den Momentennullpunkten. Alle Verbindungen sind sofort tragfähig (Bilder 29 und 30).

Bauten der Luftwaffenschule in Neubiberg bei München (Bild 31) wurden von der *Wayss &Freytag AG.* mit grossformatigen Deckenelementen konstruiert, die ohne Zwischenschaltung von Unterzügen direkt auf den Stützen aufliegen. Die Deckenelemente sind 3,0 × 11,0 m gross; sie wurden auf der Baustelle hergestellt und mit einem Portalkran versetzt, der das ganze Gebäude überspannt.

5.3 Wandtafeln und architektonische Gestaltung

Ein entscheidender Schritt auf dem Wege zur Industrialisierung im Bauwesen ist das Ersetzen des Backsteins durch die grossformatige Wandtafel, die im Hallenbau zwischen Stütze und Stütze einen ganzen Binderabstand überspannt oder als Vertikaltafel vom Fundament bis zum Dach reicht. Die Wandtafel wird als mehrschichtige Platte gestaltet, bei grossen Längen mit vorgespannter Aussenhaut, oder man verwendet die von zahlreichen Fabriken hergestellten Leichtbetonplatten, wie Leca, Siporex, Durisol und andere. Man kann die Fassade auch dann mit Betonelementen gestalten, wenn der Bau sonst mit Stahlkonstruktion gebaut wird, wie das Niederländische Kraftwerk im Bild 32 mit 2,0 × 9,0 m grossen Tafeln in der Ausführung von *Schockbeton*, Kampen.

5.4 Der Wohnungsbau

Er allein würde mit seinen zahlreichen Problemen eine längere Betrachtung verdienen. Die Industrialisierung ist

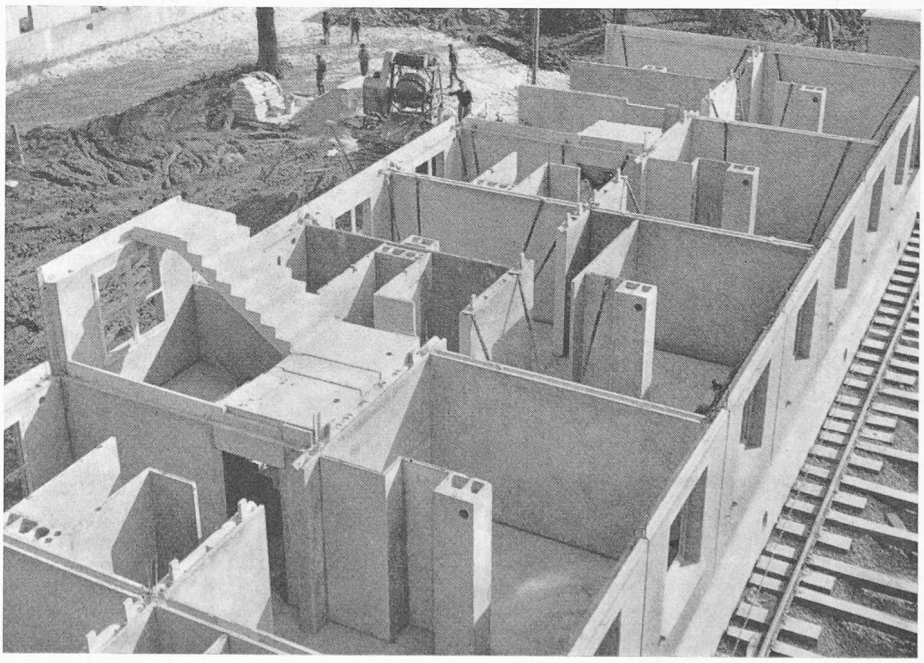


Bild 33. Wohnbau System Coignet während der Montage

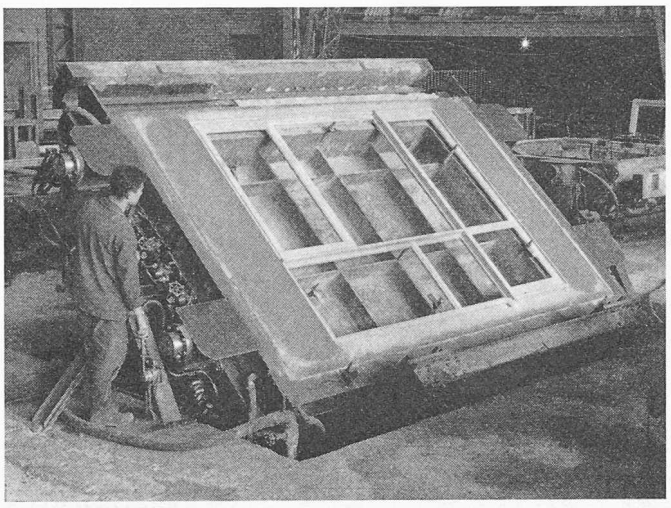


Bild 34. Fertigung einer Coignet-Wandtafel

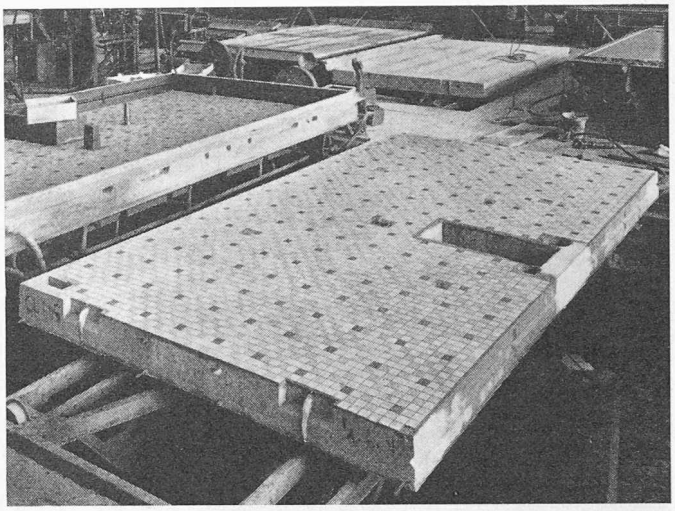


Bild 35. Deckenelement mit aufgetragenem Bodenbelag, System Coignet

vielleicht in keinem anderen Sektor des Bauwesens eine so dringende Notwendigkeit, wie gerade im Wohnungsbau. Die Probleme treten in ihrer vollen Komplexität hervor. Den unregelmässigen Grundriss und die konstruktive Gestaltung mit guter architektonischer Wirkung und Serienfertigung in Einklang zu bringen, ist die zu lösende Aufgabe.

Das Tragsystem scheint mit tragenden Wänden gegeben zu sein. Die einzelnen Wohnbausysteme unterscheiden sich vor allem dadurch, inwieweit die Vorfabrikation geht, ob Fenster, Türe und Installationen schon bei der Herstellung in die Elemente eingebaut werden. Auch da ist es gültig, dass das Grossformat das wirtschaftlichste ist. Die Grenze liegt dort, wo noch eine serienmässige Fertigung möglich ist; dies ist gewiss die zimmergrosse Tafel. Eine solche Aufteilung der Elemente ist auch bezüglich Fugenausbildung vorteilhaft, im Zimmer selbst sind dann keine Fugen vorhanden. Ein solches Verfahren ist z. B. die Methode *Coignet* aus Frankreich (Bild 33). Die Wandelemente werden nach einem sehr weit industrialisierten Verfahren hergestellt, Fenster und Türen schon bei der Fabrikation eingebaut (Bild 34). Die Deckenelemente werden schon in der Fabrik mit Belägen versehen (Bild 35). Die Fugen des Zusammenbaues sind an der Fassade klar zu erkennen (Bild 36). Um einen Begriff über die Leistungsfähigkeit des Verfahrens zu geben soll vermerkt werden, dass die Firma 50 Wohnungen in 12 Tagen montiert hat.

Das Estiot-Hochtief-Verfahren benützt Stahllehren aus Winkelstahlprofilen für die Montage, womit die Arbeit des Justierens grösstenteils entfällt. Einen fertigen Bau nach diesem System zeigt das Bild 37.

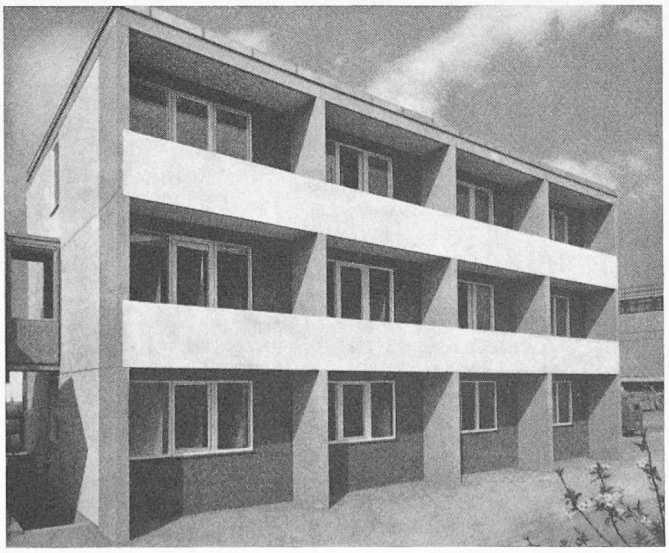


Bild 37. Bürogebäude im System Estiot-Hochtief

Es gibt noch zahlreiche andere Systeme im Wohnungsbau, die mehr oder weniger gleichwertig sind, wie *Camus* aus Frankreich, *Larssen* und *Nielsen* aus Dänemark, *Rottinghuis* und *BMB* aus den Niederlanden, *Allbetong* aus Schweden, um nur die bekanntesten zu erwähnen. In der Sowjetunion sind Bestrebungen im Gange, ganze Einheiten zu montieren, das Haus von oben nach unten aufzustellen usw. Bei aller Ausgefallenheit sind auch in diesen Gedanken einige gute Ideen enthalten, aus welchen mit der Zeit sich einige herauskristallisieren werden.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Es wurde versucht, in sehr knapper Form über den Stand der Vorfabrikation einen möglichst systematischen Ueberblick zu geben und dabei auch unter Beweis zu stellen, dass die Vorfabrikation auf allen Gebieten des Bauwesens ihre Berechtigung und ihre Zukunft hat. Sie ist eine hohe Stufe einer industriellen Entwicklung. Diese Entwicklung geht in die Richtung weniger arbeitsaufwändiger Methoden, wie die Fliessbandproduktion, die einst die Spannbettherstellung ablösen wird, sobald einige technische Probleme gelöst und sich höhere Investitionen wegen ansteigender Löhne lohnen werden.

Man erkennt immer mehr, dass die flächenartige Tragwirkung des Stahlbetons eine Gegebenheit ist, die man in konstruktiver und ästhetischer Hinsicht sehr gut auswerten kann, und die auch fertigungstechnische Vorteile bietet. Das Grossformat ist — besonders bei Spannbettherstellung — wirtschaftlicher, weil der spezifische Arbeitsaufwand verringert wird.

Der Ingenieur steht vor einer neuen Aufgabe. Er muss nicht nur das statische System richtig erfassen und berechnen, er muss auch die Wechselbeziehungen zwischen Konstruktion, Fabrikation und Montage richtig erkennen, damit er die grossen Möglichkeiten der Vorfabrikation tatsächlich ausschöpfen kann. Auch für den Architekten soll die schwierige Aufgabe ihren besonderen Reiz haben, mit der erforderlichen Disziplin neue Formen, neue Gestaltungsmöglichkeiten zu entdecken.

Adresse des Verfassers: Dr.-Ing. *Tihamer Koncz*, Eisengasse 2, Zürich 8.

Neuere Veröffentlichungen der SBZ zu diesem Thema:

J. Stefan, Shedhalle aus Betonfertigteilen, SBZ 1957, Nr. 4, S. 52.

P. Vajda, Vorgefertigte Stahlbetonhallen in Ungarn, SBZ 1957, Nr. 44, S. 707.

W. Häberli, Vorfabrizierte Eisenbeton-Konstruktionen in der Schweiz, SBZ 1957, Nr. 45, S. 719.

A. Weder, Der Trapezshed, eine neue Ausführungsform des «Sägedaches», SBZ 1958, H. 26, S. 391.

T. Koncz, Gelenkige Stahlbetonfertigteile für Industriebauten, SBZ 1959, H. 14, S. 195.

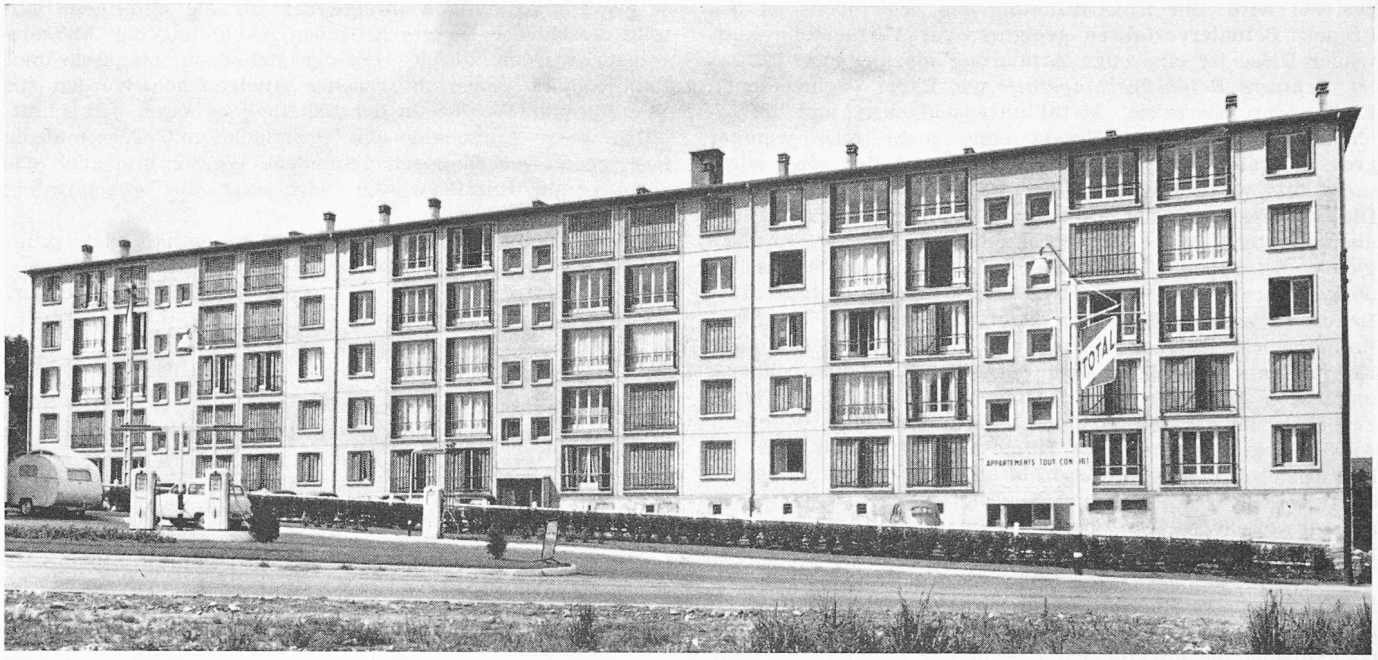


Bild 36. Wohnbaufassade mit Grosstafeln, System Coignet

G. Caprez, Vorfabrikation und Industrialisierung in Spannbeton in den USA, SBZ 1959, H. 31, S. 502.

F. Berger, Vorgespannter Beton im Hochbau, SBZ 1960, H. 14, S. 229.

J. Schilling, Vorfabrikation und Elementbauweise, SBZ 1961, H. 18, S. 300.

J. Szendröi, Ein ungarisches Grosskraftwerk aus Fertigteilen, SBZ 1961, H. 47, S. 859.

W. Schubiger, Vorfabrizierte Betonbauten der Jura-Cement-Fabriken in Wildegg, SBZ 1962, H. 27, S. 484.

H. Hossdorf, Vorfabrizierte Schalenshed-Konstruktion für den VSK in Wangen bei Olten, SBZ 1962, H. 50, S. 838.

Beton als Strahlenschutz bei Kernreaktoren

DK 621.039.004.4:666.97

Die Entwicklung der Atomkraft-Nutzung ist überall in vollem Gange. In Deutschland wurden Forschungsreaktoren für medizinische, naturwissenschaftliche und technische Zwecke in Berlin, Frankfurt, Geesthacht, Karlsruhe, München und Stetternich und ein Leistungsreaktor (Kraftwerk) in Kahl a/M., gebaut. Bei allen Reaktortypen treten verschiedenartige kernphysikalische Strahlen auf, die von einer bestimmten Intensität an biologische Schäden verursachen, wovor Bedienungspersonal und Umwelt geschützt werden müssen. Hierauf bezieht sich die hier besprochene, interessante Veröffentlichung[1]).

Der biologische Schutzschild ist für genügende Abschirmung der den Röntgenstrahlen verwandten γ-Strahlen und der Neutronen zu bemessen, womit im allgemeinen auch ein genügender Schutz gegen die anderen Strahlenarten (z. B. α- und β-Strahlen) verbunden ist. Die verschiedenen Strahlenarten wurden z. B. behandelt durch F. Münzinger: «Atomkraft», Springer 1957, W. Mialki: «Kernverfahrenstechnik», Springer 1957 und Th. Jaeger: «Technischer Strahlenschutz», Thiemig 1959. Für die im Reaktor vorherrschende *γ-Strahlung* von etwa 1 bis 3 Mio Elektronen-Volt (MeV) ist die Abschirmwirkung (Umsetzung der Bewegungsenergie der Elementarteilchen in Wärme) in den verschiedenen Materialien etwa proportional ihrem Raumgewicht.

Die Abschwächung des *Neutronen*-Flusses und die Art der Energieumwandlung ist stark von den getroffenen Elementen abhängig. Die Bremsung der Geschwindigkeit wächst mit dem spezifischen Gewicht des Materials, während für die Energieumwandlung in Wärme leichte Elemente geeigneter sind. Eisen schwächt den Neutronen-Fluss stark ab, wird aber dabei selbst zu einem starken, sekundären γ-Strahler, der anschliessend wieder abgeschirmt werden muss. Ein wirksamer Elektronenschutz enthält schwere und leichte Elemente sowie Elemente, welche die thermischen Neutronen einfangen, ohne dabei energiereiche γ-Strahlen zu emittieren.

Für den Strahlenschutz wird zweckmässig der *Beton* der raumabschliessenden und tragenden Konstruktionen herangezogen, mit Anpassung seiner Zusammensetzung an die obigen Erfordernisse, soweit dies praktisch und wirtschaftlich möglich ist. Für Forschungsreaktoren, in denen man möglichst nahe zu der Strahlungsquelle herankommen muss, ist meist die Verwendung von Schwerbeton zweckmässig, während bei Leistungsreaktoren eine Abschirmung mit normalem Beton wirtschaftlicher sein kann.

In der ersten Abschirmzone der Reaktoren entsteht besonders viel *Wärme*; diese kann die Betonkonstruktionen schädigen. Häufig wird ein innerer erster Schutzschild aus Stahl angeordnet, den man durch Flüssigkeit oder Gas kühlt. Bei Wasserbeckenreaktoren übernimmt das Wasser diese Aufgabe. In der inneren Zone des Abschirmbetons können zudem Kühlschlangen verlegt werden. Der Beton muss weitgehend rissefrei bleiben, da die Neutronen, die durch Zusammenstoss mit andern Elementen ständig ihre Richtung ändern, auch unregelmässige Risse durchdringen, ähnlich wie ein Gas. Nach H. S. Davis («High-density concrete for shielding atomic energy plants», Proc. A. C. I. 29 — 1958) ist die *Beständigkeit von Beton* gesichert gegenüber einer starken Neutronenstrahlung von 10^{11} Neutronen/cm² oder einer γ-Strahlung von 2.10^{11} MeV/cm², die eine Temperaturerhöhung von rd. 28° C im Beton verursacht.

Die im Talsperrenbau verwendeten *Zemente* sind in der Regel auch für den Strahlenschutzbeton geeignet. Die Herstellung von Zementen mit besonders hoher Strahlenabsorption ist einstweilen weder wirtschaftlich gerechtfertigt, noch besonders wirksam. Zemente geringer Hydratationswärme (z. B. 15 bis 35 cal/g) schränken die Rissbildung ein (vgl. z. B. B. Hampe: Temperaturschäden im Beton und Massnahmen zu ihrer Verhütung, «Bauing.» 33/1958).

Die Zemente sollen einen zähklebrigen, wasserhaltenden Zementleim ergeben, wie dies z. B. auch durch die vorläufigen «Richtlinien für das Einpressen von Zementmörtel in Spannkanäle», («Beton- und Stahlbetonbau» 53/1957) an-

[1]) **Beton als Strahlenschutz für Kernreaktoren.** Von *K. Walz* und *G. Wischer.* 52 S. mit 17 Abb. und 6 Tabellen. Köln 1961, Westdeutscher Verlag. Preis DM 18,70.