

# Betongeschichten

Autor(en): **Hackelsberger, Christoph**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Werk, Bauen + Wohnen**

Band (Jahr): **83 (1996)**

Heft 1/2: **Beton = Béton = Concrete**

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-62997>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

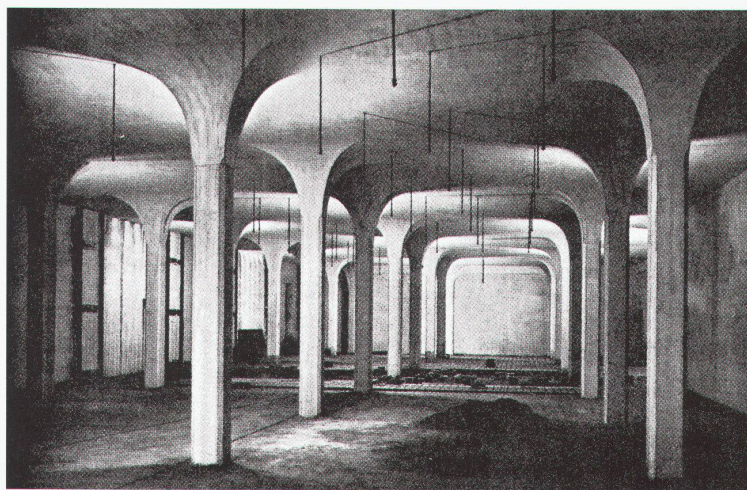
Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Betongeschichten

Heute ist viel von der «Unnatürlichkeit», ja metaphorisch gesagt, «Inhumanität» dieses Baustoffs die Rede. Bei Licht besehen, ist daran weniger als nichts. Ein Sand-Kies-Gemisch in ausgewogener, auf die gewünschten Eigenschaften ausgerichteter Anteiligkeit am Gemenge wird durch Zufügung von wiederum genau bemessenen Zementanteilen und festgelegten Wassermengen zu einer plastischen Masse. Im Zug der chemischen, hydraulischen Rückwandlung des Zements wird das Gemenge zu einem Kalksteinkonglomerat vergütet. Beton ist also schlicht nichts anderes als eine Kalksteinbrekzie, wie sie ohne menschliche Einwirkung ebenso in der Natur entsteht, als Nagelfluh, die zu den hochwertigen Hausteinen gehört.

■ De nos jours, on dénonce fréquemment l'aspect «artificiel» et même, en s'exprimant métaphoriquement, le caractère «inhumain» de ce matériau. Mais vu de près, il n'en est rien. Des volumes de sable et de gravier définis pour obtenir les propriétés souhaitées, sont mélangés à des quantités de ciment et d'eau, elles aussi exactement mesurées, pour obtenir une masse plastique. Au cours du processus de reconstitution chimique et hydraulique qui suit, le mélange se transforme en un conglomerat de pierres calcaires. Le béton n'est donc rien d'autre qu'une brèche de pierres calcaires qui, sans aucune intervention humaine, se constitue aussi dans la nature pour donner la poudingue calcaire, une de nos roches naturelles de haute qualité.

■ There is talk today of the "unnaturalness", and even – metaphorically – the "inhumanity" of this building material. In the cold light of day, there is less than nothing in it. A balanced mixture of sand and gravel in proportions adjusted to the desired quality is worked into a malleable compound through the addition of precisely calculated amounts of cement and water. During the course of the chemical, hydraulic transformation of the cement, the mixture develops into a calcareous conglomerate. Cement is thus nothing more than a calcareous breccia such as occurs in nature without man's influence and which, in the form of nagelfluh, belongs to the category of high-quality cut stone.



Robert Maillart,  
Akkumulatorenraum der  
Elektrizitätszentrale Barcelona, 1911  
■ Salle des accumulateurs  
de la centrale électrique  
de Barcelone, 1911  
■ The accumulator room at  
the electricity central control office  
in Barcelona, 1911

An sich sind Betons, wenn auch unter anderem Namen – die Römer sprachen von «opus caementitium», und die Herkunft des Begriffs «Beton» ist nicht ganz klar –, seit Urzeiten bekannt. Zur Vermörtelung von Materialien, seien sie modular, also geordnet und gleichen Massen wie gebrannte Ziegelsteine oder auch nur kantentrecht wie Hausteine, aber auch unbearbeitet wie Bruchstein, waren immer plastische Massen erforderlich. Man konnte zwar Trockenmauern aufsetzen oder Quader genau fügen, beides hohe Künste, aber bald wurde der ausgleichende Verbund gesucht. Nun kann man einerseits physikalische Verklammerung herbeiführen, etwa durch Lehmörtel, welcher trocknet, Zwischenräume schliesst und sich in Unebenheiten verkrallt. Man kann diesen Lehmörtel, der beim Trocknen leicht Schwindrisse bekommt, sogar mit Stroh oder anderen, Zug aufnehmenden Fasern armieren und so am Reißen hindern. Viel besser wird aber die Wirkung des Mörtels, wenn das Bindemittel nicht nur physikalisch verklammert, sondern in sich durch chemische Reaktionen eine dem zu vermörtelnden Material ähnliche, nach Härte und Dauerhaftigkeit vergleichbare Konsistenz annimmt. Für solche Zwecke fand man natürliche Binder, zum Beispiel Gipse oder vulkanisches Material; sehr früh aber kam man dazu, Kalkstein zu brennen, dann zu löschen und mit dem so entstandenen Kalkbrei unter Zufügung von Sand Mörtelmassen herzustellen, die sich im Lauf der Zeit durch Aufnahme von Kohlenstoff aus der Luft, also auf chemischem Wege, in einen mit Silikat angereicherten Kalkstein rückbildeten.

Der Fehler solcher sogenannten «Luftkalk» war nur, dass Mörtelmassen, also Gemenge aus Kalk, Sanden, kiesigem Material, angefeuchtet mit Wasser, unter Luftabschluss in dicken Mauern etwa, nie richtig aushärteten, da das chemische Reagens Kohlenstoff nicht mehr an die notwendige Stelle gelangte. Diesen Mangel suchte man von alters her dadurch zu vermeiden, dass man den Mörtelmassen sogenannte hydraulische Zuschläge wie Ziegelmehl oder natürliche vulkanische Binder wie Pozzolanerde, gemahlene Trass oder auch Magnesia zusetzte. Der in diesen Stoffen enthaltene Kohlenstoff machte die Erhärtung auch unter Luftabschluss möglich, so zum Beispiel unter Wasser, da nun der gebrannte Kalk zur Karbonatisierung nicht mehr auf den in der Luft gelösten Kohlenstoff angewiesen war.

Im 18. und vor allem im 19. Jahrhundert gelang der technische Durchbruch zu den hydraulischen Zementen. Vor allem die Erfindung des Portlandzements und dazu dessen grosstechnische Herstellung in guter Qualität wurden entscheidend. Nachdem der Portlandzement als hochwertiges Basismaterial, gebrannt bis zur Sinterung aus tonigem Kalk, dann feingemahlen als hydraulisches Bindemittel, in Masse zur Verfügung stand, konnte nichts die Verwendung in der Breite aufhalten. Kein anderes Material hätte, wäre

der Portlandzement nicht erfunden und die moderne Betonherstellung nicht nach Masse und hoher Qualität ermöglicht worden, Ersatz bei den vielen anstehenden Aufgaben geboten.

Der gewaltige Unterschied, der technisch-kulturelle Sprung vom gleichartigen Nagelfluh, der als Werkstein gebrochen und bearbeitet werden muss, liegt in der Formbarkeit des Betons zu Beginn seines chemischen Abbindeprozesses. Wir haben es beim Beton – das ist seine faszinierende und hochmoderne Eigenschaft – mit einem Gussmaterial zu tun, dessen Umwandlungsenergie zum Verlassen des plastischen Ausgangszustandes im vorangehenden Prozess des Zementbrennens akkumuliert und deponiert worden ist. Zement ist somit ein zeitlich beliebig einsetzbarer Energieakkumulator mit abrufbereiter Prozessenergie.

Diese Bedeutung erkennen wir erst in neuester Zeit. Für das 19. Jahrhundert war die Dauerhaftigkeit des Betons, dann seine gusstechnische Verwendbarkeit entscheidend. Schon damals machte es aber gegenüber dem Gusseisen etwas aus, dass am Ort des Gusses keine Energie benötigt wurde und die logistischen Bedingungen des Materials gegenüber dem Gusseisen wesentlich günstiger waren.

Sehr bald wurde klar, dass man mit dem preiswerteren Zement und Beton dem Gusseisen beste Konkurrenz machen könnte. Der Druckfestigkeit des Betons – er war ja ein giessbarer Steinbrei, der sich zu Stein wandelte – stand indes fehlende Zugfestigkeit gegenüber. Im Prozess der Betonherstellung war es aber möglich, zugaufnehmende Verstärkungen einzubringen. Schliesslich hatte man ja schon lange zuvor Gips mit Schilfrohren und Draht, aber auch Stampflehmwände mit Holz oder Fachwerkfüllungen mit strohversetztem Lehm für Zugbeanspruchung hergerichtet.

Nun waren alle Komponenten vereint. Das hochmoderne Material mit eingebauter Rückwandlungsenergie, billigen, da fast überall vorhandenen Zuschlägen, Sand, Kies und Wasser, hoher Druckfestigkeit und trickreich in die Gussformen eingelegter Zugarmierung aus Eisen, welches sogar durch luftabschliessende Betonumhüllung vor Korrosion geschützt war, konnte seinen Siegeszug antreten und ermöglichte so unsere Massenkultur durch materielle Bereitstellung von Gebautem überhaupt erst.

Es ist nicht zuviel behauptet, wenn wir feststellen, dass das Fundament unserer modernen Massenkultur auf Beton gegründet ist. Vielleicht ist diese, wenn auch kaum bewusste, so doch geahnte Erkenntnis mit ein Grund dafür, dass Beton zum «Stein des Anstosses» wurde.

### **Einsatzarten und Erscheinungsformen**

Zunächst, es lag im Zug der Zeit, trat der Beton im Ingenieurbau auf. Hier fand er das Schlüsselmaterial des 19. Jahrhunderts, das Eisen, sei es Guss-Fluss- oder Schmiedeeisen, stellen-

weise sogar schon den Stahl, vor. Das hätte Abdrängung in die Fundamentbereiche oder in die schieren Massivbauweisen bedeutet, und tatsächlich hat der Beton auf beiden Feldern als unarmerter Schüttbodyeton seine ersten grossen Erfolge verzeichnet.

Es war ja ein bestechender Gedanke, ein ganzes Gewölbe, einen Brückenbogen, statt mühsam zu mauern, in einem Zug zu einem riesigen Monolithen zu giessen, auf verllorener oder wiederverwendbarer Schalung, das heisst Form.

Im Tiefbau ersetzte der Beton rasch den sündhaft teuren Haustein, vor allem beim Kanalbau und bei Bauaufgaben, die neu hinzukamen wie Talsperren, Uferbefestigungen usw. In allen Bereichen des Wasserbaus, also bei Brückenfundamenten und Häfen, wurde Beton rasch unersetzlich.

In der Architektur begann der Beton seine Rolle als Konstruktionsmaterial im Kampf gegen den Stahl zu spielen.

Wenn Beton gestalthaft verwendet wurde, bediente man sich seiner plastischen Eigenschaften, um preiswert Formen zu erzeugen, die aus dem Arsenal des Hausteins stammten. Beton trat fast immer als eine Art Kunststein auf, oft mit sogenannten Vorsätzen aus Feinmaterial, zum Beispiel mit einer Schicht aus Zement und Muschelkalksplit, die man durch eine Ziehschalung, getrennt vom Konstruktionsbeton, auf der Sichtseite einbrachte und später nach dem Abbinden steinmetzmässig bearbeitete. Bald wurde auch bei Monumentalbauten der grosse Vorteil erkannt, dass wiederkehrende plastische Verformung gemessen an steinmetzmässig bearbeitetem Haustein mit verschwindend geringen Kosten durch Wiederverwendung von Formen herzustellen sei.

Bei Industrie- und Gewerbebauten finden wir schon Mitte des 19. Jahrhunderts klassische Betonkonstruktionen, die im Erscheinungsbild allerdings nicht unbedingt betontypisch sind, wenn man von der Gushaut – das ist die schalungsraue, unbearbeitete Oberfläche – absieht, sondern denen der klassischen Bauweisen mit Sträben, seien sie aus Stahl oder Holz, entsprechen. Nicht einmal die bandartigen horizontalen Befensterungen sind betontypisch, da sie der Ausnutzung grosser Spannweiten entsprechen.

### Architektur und Beton

Betontypische Elemente entdecken wir erst, nachdem die grossen Erfindingenieure des Stahlbetons spezifische Formen für die statisch optimale Ausgestaltung des komplexen Materialpaares Beton-Eisen, des Eisenbetons also, gefunden hatten.

François Coignet (1814–1888), einer der fruchtbarsten Erfinder in Sachen Beton und Stahlbeton, aktivierte nicht nur die in Frankreich althergebrachte Stampflehmabauweise in Schalungen durch Austausch des Lehms gegen Beton, er erfand auch die Eisenbewehrung für Platten. Nach zahlreichen Bauten errichtete er in Saint-Denis sein eigenes Haus in «béton aggloméré» mit der

Besonderheit eines mittels Trägern und Quereisen verbundenen Flachdachs. 1862 erhielt er dafür Anerkennung vom Verein der französischen Betoningenieure. Die Eisenbewehrung für Platten war erfunden.

1855 hatte sich Coignet in England, dem klassischen Betonland, ein erstes Bewehrungspatent für kreuzweise Bewehrung mittels verbundener Eisenstäbe geben lassen. 1861 veröffentlichte er sein Buch «Béton aggloméré appliqué à l'art de construire», welches nachweist, dass er endgültige Einsichten in die Konstruktion zugarmierter Platten hatte und auch die Armierung von Betonfertigteilen, zum Beispiel Rohren, völlig beherrschte. Coignet ist also, dies kann man eindeutig feststellen, der Erfinder des Eisenbetons oder, wie wir nach 1920 sagen, des Stahlbetons. Er war auch der erste, der ganze Häuser goss, ein Vorgang, der zuvor, und gleichzeitig natürlich, in modularen Teilen mit Gusseisen versucht worden war. Die Gusseisenbauten waren indes so unbrauchbar, dass man die Fertigung rasch wieder aufgab. Die monolithische Bauweise sollte aber andauern und feierte nach dem Zweiten Weltkrieg in Form von Allbetonbauten unter Einsatz von Gleitschalungen und anderen technischen Hilfsmitteln Triumph.

Coignets technische Erfolge waren, im Gegensatz zu den wirtschaftlichen – er musste seinen Betrieb auch infolge des Preussisch-Französischen Krieges von 1870/71 liquidieren – so gross, dass der französische «Architekturpapst» Viollet-le-Duc von ihm sagte, er habe den «béton aggloméré» zu einer solchen Reife gebracht, dass es möglich geworden sei, ihn anstelle von Ziegel, Naturstein, Eisen und Holz zu setzen.

Gemessen an Coignet ist der englische Vorläufer William B. Wilkinson (1819–1902), ein Gipsermeister, weniger bedeutend. Ihm war natürlich die längst geübte Rabitzkonstruktion mit Holz-, aber auch mit Drahtbewehrung bekannt. Er wandte diese nun für Portlandzementbauteile an, um erhöhte Feuersicherheit zu erreichen. Wichtig ist sein Patent, Decken, also möglichst biegesteife Platten, mit Drahtseilen, die in der Zugzone verlaufen, in einer Art Kettenlinie zu bewehren. Durch Untergliederung in Kassetten, die Konstruktionshöhe erreichten und Gewichtsersparnis brachten, kam er zu einer Konstruktion, die an unterspannte Holzbalken erinnert, mit dem Unterschied, dass die Unterspannung gesichert in einem Betonsteg verlief. Das System funktionierte ausgezeichnet, war aber montageaufwendig.

Mit Joseph Louis Lambot (1814–1887) schrieb ein weiterer Franzose Betongeschichte. Er hatte eine Art geflochtener Netzbewehrung verwendet, um Holzgegenstände durch Betonwaren ersetzen zu können. Bereits 1840, also vor Coignet oder gar Monier, dessen Bedeutung noch gewürdigt wird, hatte er seinen «fercement» entdeckt und daraus Kübel, Ruderboote und andere Gebrauchsgegenstände gegossen.

Betonschiffe nach Lambot gab es danach in Menge. Zuletzt vor zwei Jahrzehnten in China, ab 1860 in Italien, während des Ersten und Zweiten Weltkriegs baute man, um Stahl zu sparen sowie Fertigungskapazitäten zu entlasten, Stahlbetonlastkähne und -schiffe. Auch der berühmte deutsche Ingenieur Ulrich Finsterwalder hat im Zweiten Weltkrieg Betonschiffe in Zeiss-Diwidag-Schalbauweise bis zu einer Tragfähigkeit von 3600 Tonnen gebaut. Solche Erwähnung ist heute nur noch anekdotisch interessant, die Entwicklung zeigt aber etwas Wichtiges, den Ersatzcharakter des Eisenbetons, der vor allem in stahlarmen Ländern wie Italien und der Schweiz zu hervorragenden Ingenieurleistungen führen sollte.

Wenn von Eisenbeton die Rede ist, muss natürlich Joseph Monier (1823–1906) erwähnt werden, der nach landläufiger Überlieferung die Eisenbewehrung erfunden hat. Man kann dies sogar in Fachpublikationen nachlesen, obwohl diese Zuschreibung nachweislich falsch ist. Tatsächlich hat der 1823 in einem Dorf in der Nähe von Nîmes Geborene ab 1848 ein Gärtnereigeschäft in Paris betrieben und damals versucht, Blumenkübel aus Zementmörtel mit einliegendem Drahtgeflecht zu fertigen. Seine Konstruktion gleicht der des altbekannten Rabitzens aufs Haar, mit dem Unterschied, dass für Rabitz meist Gips verwendet wurde. Monier stellte auch weiteres Gartenmobiliar her, in Konkurrenz zum Gusseisen. So fertigte er Gartenbänke aus Beton, die wie knorriges Astwerk aussahen und durch eingelegte Drähte verstärkt waren. Derartige setzte er gleichzeitig mit Lambots Betonbooten ins Werk. Lambot hatte sogar vor Monier im Jahr 1855 ein französisches Patent für solche Konstruktionen. Erst 1867 meldete Monier sein grundlegendes Patent an, durch welches er sich seine mit Gitterwerk – sagen wir Maschendraht – armierten Betonkübel schützen liess. 1869 liess er sich auch die Herstellung ebener Platten schützen, ohne jedoch zu wissen, dass die Bewehrung im von der Belastung am weitesten entfernten Bereich der Platte, in der Zugzone, liegen muss. 1873 erhielt er ein Zusatzpatent für den Bau von Brücken, Stegen und Gewölben. 1875 baute er im Park eines Adligen seine erste Brücke mit einer Spannweite von 16,5 Metern und vier Metern Breite. Die gewölbte Brückenplatte war gesteckt voll von sogenannten «Angsteisen», also so stark armiert, dass irgendeine Zufallsstatik deren Haltbarkeit bewirkte.

1878, nachdem er sein Grundpatent, wohl aus Geldmangel, hatte verfallen lassen, meldete er ein weiteres Zusatzpatent an, das nun auch im Ausland verbreitet und geschützt wurde. So begann die Legende von Monier als dem Erfinder des Eisenbetons, obwohl sich anhand der Patente nachweisen lässt, dass Monier zu keiner Zeit verstanden hatte, was seine «Moniereisen» im Beton bewirkten. Seine eigentlich bedeutsame, rein empirische Feststellung war, dass Eisen durch dichten Beton gegen Rost geschützt werden

könne. Das war eine kühne Neuigkeit, da es starke Kräfte auf der «Stampfbetonseite» gab, die dem Eisenbeton nicht wohlwollten – verständlich, wenn man überlegt, was rein wirtschaftlich auf dem Spiel stand.

Vor allem durch die theoretischen Arbeiten des bedeutenden Ingenieurs Mathias Koenen gelang der Durchbruch des nun von Fachleuten vielerorts gepflegten «Moniergedankens». Auf dieser Basis entstand eine grosse Anzahl bedeutender Baufirmen. Diese liessen das klassische Bauhandwerk hinter sich; von nun an bestimmte die Bauindustrie die Geschicke. Besonders die Grossfirmen – die Baugesellschaft Ways & Freytag und Dyckerhoff & Widmann, um nur zwei zu nennen – brachten die Betontechnik voran. Die gesamte Entwicklung ging rasch in eine in unserem Zusammenhang nicht mehr darstellbare Breite.

Die wesentlichsten rechnerischen Theorien für die neue Technik lieferten die Ingenieure Koenen und Mörsch. Mathias Koenen (1849–1924) hatte für die Firma Ways & Freytag die Bauarbeiten vor allem an den Betondecken des Wallotschen Reichstags in Berlin geleitet, und Regierungsbaumeister Emil Mörsch (1872–1950) war eines der Vorstandsmitglieder der Grossbauunternehmung Ways & Freytag. Beider wesentliche Beiträge liegen zwischen 1902 und 1907.

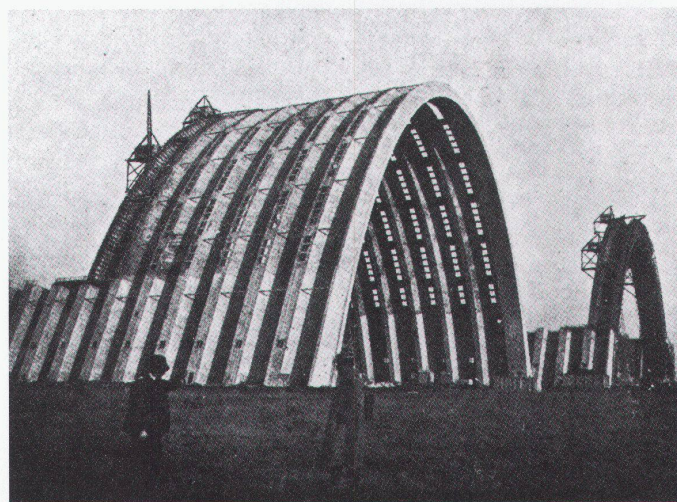
In Frankreich arbeitete Coignets Sohn Edmond (1856–1915), ein hervorragender Bauingenieur, und Eugène Freyssinet (1879–1962) erforschte 1911 das Kriechen des vorgespannten Betons. Bis 1924 lieferte Freyssinet zahlreiche bahnbrechende Patente für Spannbeton und moderne Verarbeitung, ohne welche die neueren Entwicklungen vor allem im Betonbrückenbau undenkbar wären.

1922 und 1924 erlangten Walter Bauersfeld zusammen mit der Firma Carl Zeiss in Jena sowie die beiden Chefingenieure Franz Dischinger und Ulrich Finsterwalder Patente für den Betonkuppelbau und für pfettenlose Stahlbetontonnendächer.\*

Die Firma Ways & Freytag, der Zusammenschluss der ältesten Monier-Patentnehmer in Deutschland, arbeitete seit 1935 nach Freyssinetschen Lizenzen mit Spannbeton.

\* Walter Bauersfeld (1879–1959), Erfinder vieler optischer Instrumente und Verfahren, Patente für die Zeiss-Diwidag-Schalbauweise  
– Franz Dischinger (1887–1953), Chefstatiker der Firma Diwidag  
– Ulrich Finsterwalder (1897–1988), Chefstatiker der Firma Diwidag, später Vorstandsmitglied

Eugène Freyssinet,  
Luftschiffhalle in Paris-Orly, 1923  
■ Halle pour aéronefs à Paris-Orly, 1923  
■ Airship hangar in Paris-Orly, 1923



Unschwer wird deutlich, dass das Material während der ganzen Zeit seiner Entwicklung fast ausschliesslich für Ingenieurbauten bestimmt war. Seine gestalthafte Ausprägung folgte weitgehend konstruktiver Logik unter wirtschaftlichen Bedingungen. Im Zuge dieser fortschreitenden Erkenntnis ergaben sich, wie schon angekündigt, einige stahlbetontypische Besonderheiten. Da wäre zuerst der monolithische Verbund von Stütze, Balken und Platte zu nennen. Die erreichte Homogenität geht über ähnliche gestalthafte Ausformungen des Stahlbaus beträchtlich hinaus. Auch hinsichtlich der Schlankheiten und vor allem der Übergänge entstand ein neues Bild. Die korrekte Ermittlung der Zugzone, also des Ortes der Eisenbewehrung in Platten und Balken durch Thaddeus Hyatt (1816–1901), einen erfinderischen Rechtsanwalt, brachte gerade für den Übergang von Stütze zu Balken die Plastizität der Voute. Sie hatte zwar eine Entsprechung im Knotenblech des Stahlbaus oder im sogenannten Kopfband zimmermannsmässiger Holzkonstruktionen, brachte aber doch etwas eigenständig Neues und Unverwechselbares.

Dabei treffen wir auf Hennebique (1842–1921), ein weiteres Ingenieurgenie des Betons. Seine Zuckerfabrik in Lille, seine Spinnerei in der gleichen Stadt und das Mehllager in Nantes, alle 1892 erbaut, weisen die konsequente Durchbildung des monolithischen Konstruktionsapparats nach. Auch die über ein halbes Jahrhundert später zum Tragen kommende Raumzellenbauweise hatte er in seinem monolithischen, bahnverladbaren Signalwärterhäuschen aus allseits fünf Zentimeter Eisenbeton vorweggenommen. In seinem eklektizistischen Pariser Haus, 1, rue Danton, verwirklichte er genau das, was Le Corbusier rund zwei Jahrzehnte später als den «Plan libre», also die freie, wandunabhängige Grundrisskonzeption bezeichnete. Damit war neben dem monolithischen Stützenrasterbau eine zweite Komponente des Betonbaus geschaffen.

Zeitlich etwa parallel zu Hennebiques Bauten errichtete in den USA Ernest Leslie Ransome, dessen Vater in England wichtige technische Neuerungen für das Zementklinkerbrennen erfunden hatte, ebenfalls Skelettbetonbauten. Er erfand das gedrillte Bewehrungsseil und entwickelte das erste Taktverfahren, also die eigentlich bauindustrielle Herstellungsweise am Bau der ein klassisches Betonskelett zeigenden United Shoe Machinery Company 1903. 1902 hatte er sich ein Skelettsystem für Geschäftsbauten patentieren lassen, welches als reine Rahmenkonstruktion später im amerikanischen Hochbau zum Allgemeingut wurde.

Die nächste entscheidende betontypische, formprägende Innovation sollte die sogenannte «Pilzdecke» werden. Der später als genialer Brückenbauingenieur weltberühmt gewordene Schweizer Robert Maillart (1872–1940) erhielt 1908 ein Patent für eine den Übergang zwischen Platten und Stützen schaffende Plattenverstärkung, die als sogenannter «Pilzkopf» in runder oder eckiger

Form auszuführen war. Damit verschwanden der Unterzug bzw. die sich im Stützenbereich kreuzenden Balken unter der Platte. So entstand eine Konstruktion, die weder im Stahlbau noch im alten Holzbau möglich war. Maillarts System der Lastabtragung, das sogenannte «ungerichtete Zweibahnssystem», erlaubte einen kontinuierlichen Verlauf des Übergangs zwischen Stütze und Deckenplatte.

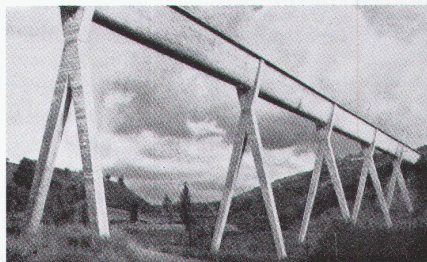
Ein Jahr später erhielt der Amerikaner Henry C. Turner für das sogenannte «gerichtete Vierbahnssystem», welches eine zusätzliche Kopfplatte sowie zusätzlich Diagonal- und Ringbewehrung aufwies, sein Patent. Beide Konstruktionen verliehen dem Betonbau eine nie zuvor erreichte visuelle Unverwechselbarkeit.

Zu den grössten gestaltenden Erfindern des neuen Ingenieurbaumaterials gehört aus der Sicht des Hochbaus sicherlich Eugène Freyssinet. Abgesehen von den grossartigen Erfindungen wie Spannbeton entwickelte er nach dem Vorbild des in einer Richtung sehr steifen Wellblechs das Eisenbetonfaltwerk als raumabschliessendes Bauelement und errichtete, unter wirtschaftlichem Druck – seine Firma hatte zu günstig angeboten – die später als hoch ästhetisch empfundenen, völlig neue Perspektiven eröffnenden Luftschiffhallen in Paris-Orly (1923, zerstört 1943 durch Luftangriff). Diese oft mit Kathedralen verglichenen Bauwerke hatten bei 56 Meter Scheitelhöhe eine Spannweite von 80 und eine Länge von 300 Metern. Die Wellen hatten eine Amplitude von 7,5 Metern, eine Höhe am Boden im Kämpferbereich von 5,4 Metern und im Scheitel von 3 Metern. Die Betondicke betrug etwa 9 Zentimeter.

Nach Freyssinet haben vor allem der Spanier Eduardo Torroja (1899–1961) und die Deutschen Bauersfeld, Dischinger und Finsterwalder mit ihren Schalen- und Kuppelentwicklungen völlig neue Baugestalt ermöglicht. Sie erreichten einen Grad rational bestimmter Entmaterialisierung, der dem Stahl höchstens in einem Frühwerk, dem Paxtonschen Kristallpalast, gelungen war. Torroja, auch was die formale Seite des Schalenbaus angeht, zusammen mit Nervi einer der Grossen der Baukunst dieses Jahrhunderts, schreibt in seinem Buch «Logik der Form»: *«Der Stahlbeton stellt ein ganz neues Material mit Eigenschaften dar, die von denen des Betons und des Stahles allein vollständig verschieden sind, obwohl oder gerade weil diese Stoffe als Bauteile des Stahlbetons ganz neue Eigenschaften erhalten. Treffend ist einmal gesagt worden, dass im Stahlbeton der Stahl dem Steine seine Faser verleiht und der Beton dem Stahl seine Masse. Der Stahlbeton ist ein organisch zusammengesetzter Stein, in dessen Innerem sich der sehnenartige Komplex der Bewehrung in der zweckmässigsten Lage befindet und der so bemessen ist, dass er dem Beton die in jedem Punkte notwendige Zugfestigkeit verleiht, die darüber hinaus den Anforderungen des vorgesehenen Spannungsnetzes gemäss gerichtet und verstärkt wird.* Der Stahlbeton stellt aus die-

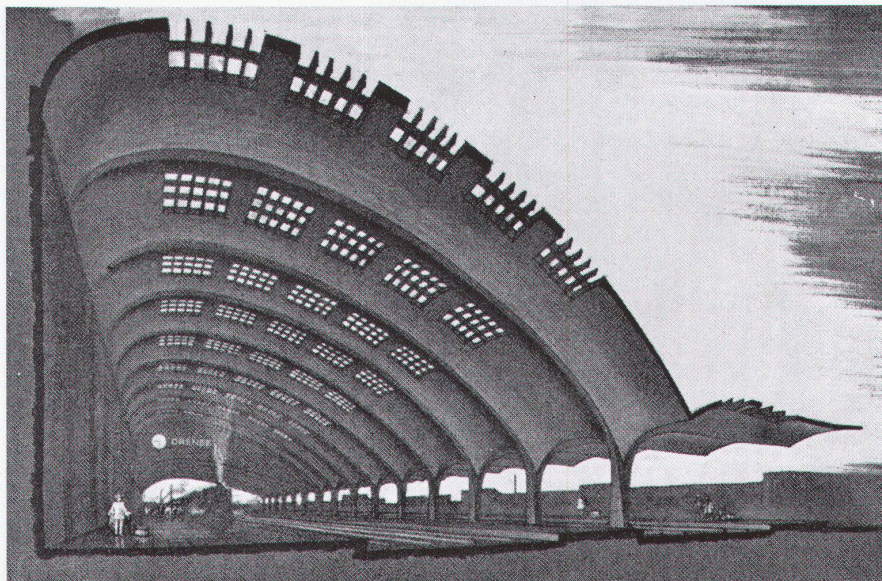
sem Grunde den technisch zweckmässigsten aller Baustoffe dar. *Er ist der einzige Werkstoff, dessen tragwerkmäßiges Verhalten nicht allein durch die in seinem äusseren Bilde in Erscheinung tretenden Werte beurteilt werden kann; denn die festigkeitsverleihende Seele, die Bewehrung, verbirgt sich in seinem Inneren. Wir können sie uns nur als etwas vorstellen, das dem klassischen Baustoff (Stein) eine in den Schöpfungen der anorganischen Natur nicht vorhandene Kraft und Zähigkeit verleiht.*»

Auch Pier Luigi Nervi (1891–1979) hat als genialer Konstrukteur, Architekt und Unternehmer die Baugestalt durch Beton verändert. Typisch für seine Konstruktionen ist die Auflösung der Tragwerke in eine Vielzahl in Form und Lage dem Kräfteverlauf folgender und diesen verdeutlichender Einzelglieder. Dabei entwickelte er vorfabrizierte Bauelemente von grosser Feinheit und Schlankheit, die mittels Ferrocementformen – er hatte dafür ein eigenes Schalungssystem erfunden – in enormer Gusspräzision hergestellt wurden. Er hat beim Bau seiner grossen Hallen zwar keine revolutionären statischen Systeme erfunden wie etwa Freyssinet oder die deutschen Schaleningenieure, dafür erreichte er aber eine Eleganz und Transparenz, die zuvor nur im Stahlbau möglich schien. In der plastisch-ästhetischen Wirkung seiner Konstruktionen hat er alles übertroffen, was die Baukunst seit der Hochgotik zustande gebracht hat. Nach all den grossen Konstrukteuren und eindeutigen Ingenieuren stellt Nervi einen Übergang zur Architektur her. Trotz aller Bewunderung für Nervis hohe Ingenieurkunst und ästhetische Feinfühligkeit – beides macht ihn unübertroffen – ist seine Arbeit aber eigentlich nicht betontypisch. Sie gehört insgesamt eher zu den Ausformungen modularer Logik, die nicht unbedingt materialabhängig ist. Nur über die Plastizität seiner Module, über deren Giessbarkeit, entsteht die Brücke zum Beton.



**Eduardo Torroja,**  
**Aquädukt bei Allos, 1940**  
 ■ Aqüeduc près d'Allos, 1940  
 ■ Aquaduct near Allos, 1940

**Eduardo Torroja,**  
**Überdachung eines Eishallstadions,**  
**Entwurf, 1950**  
 ■ Couverture d'un stade de patinage,  
 projet, 1950  
 ■ Roofing of a small ice-rink stadium,  
 sketch, 1950



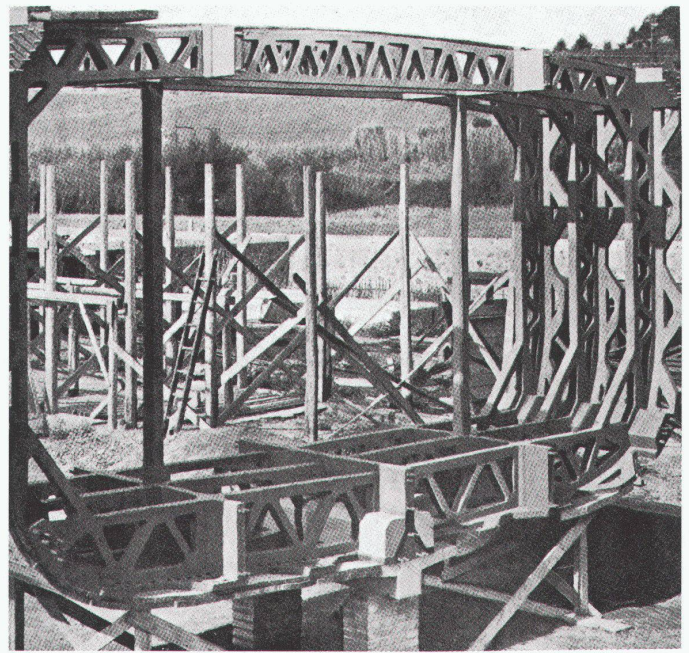
## Gedanken zum Guss

Beton ist, darin besteht seine Faszination für jeden, der mit diesem Material gearbeitet hat und vertraut ist, der Stoff des grossen Gusses. Er ist das Material des Determinismus, der Imagination, die bis an die Grenzen getrieben werden muss. Aus der möglichst vollendet durchdachten und mit höchster Sorgfalt gebauten Negativform tritt das gnadenlos jeden Fehler, jede Nachlässigkeit, jede Unfähigkeit und Dummheit abbildende und irreversibel festlegende Positiv hervor.

Dies macht die Herausforderung des monolithischen Sichtbetonbauens aus, das nach seiner zwingenden Ideologie keine Nacharbeit und Nachbesserung verträgt. In solcher Gegossengleich-Fertig-Absolutheit übertrifft der gegossene Beton jeglichen Metallguss, zum Beispiel jenen einer Bronzeplastik, die ja nachgearbeitet werden darf und muss. Die «Beton-Entelechie», eine Art Schicksalsspiel, ist für jeden, der sich auf dieses Gebiet gewagt hat, immer erneut ein Erlebnis der Selbstprüfung.

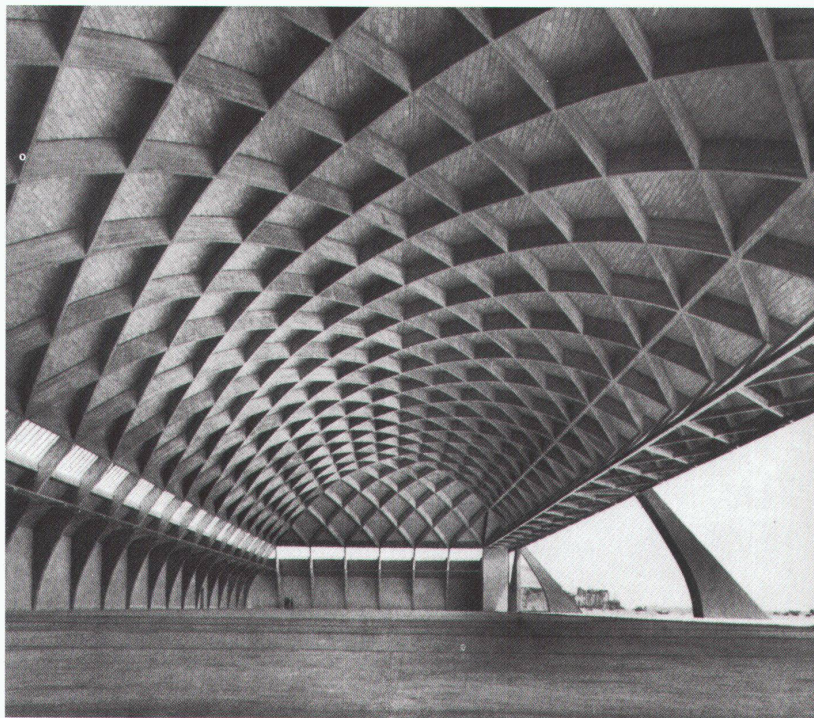
Dem Beton wird nachgesagt, er sei, gemessen an modularen Materialien, die ihre Ordnung durch definierte Konturen und Abmessungen in sich tragen und additiv oder kumulativ verbreiten, ohne Charakter. Daran ist etwas Wahres. Der Beton, wie jegliches plastische Material, zeigt, da eigentlich ordnungslos, aber doch keineswegs ohne Gesetze, unmittelbar den Charakter dessen auf, der seine Form definiert. Und genau hierin liegt das dekuvierende Moment, wenn Beton in der Architektur eingesetzt wird. Hierin liegt aber auch die grossartige Chance, die Architekten wie Le Corbusier oder auch Förderer und Ingenieure wie Nervi und Torroja deutlich zeigen.

*Ch.H.*



Pier Luigi Nervi,  
Motorschiff aus vorgefertigten  
Betonteilen, 1943

- Bateau à moteur en pièces de béton préfabriquées, 1943
- Motor ship constructed in prefabricated concrete parts, 1943



Pier Luigi Nervi,  
Flugzeughalle in Orvieto, 1935

- Hangar pour avions à Orvieto, 1935
- Aeroplane hangar in Orvieto, 1935