

Der entfesselte Baustoff

Zur Rezeption des frühen Eisenbetons und seiner Konstruktionspezifika

Mit der massenhaften Einführung der industriellen Baustoffe Eisen und später Eisenbeton verändert sich das bisherige Verhältnis von Stofflichkeit zu der daraus entwickelten Konstruktionsform. Im Vergleich mit den bis dahin verwendeten Baustoffen leistet der mit dem Eisen kombinierte Beton viel mehr in fast unbeschränkten Formen mit sehr viel weniger konstruktiven Beschränkungen. Dabei müssen aber zunächst in langen Auseinandersetzungen alte typologische Konstruktionskonzeptionen des Formens und Fügens überwunden werden. Im Eisenbeton erreicht die Verlagerung des Hauptaugenmerks des Konstrukteurs vom Fügen hin zum Formen seinen Höhepunkt: der gegossene Baustoff entledigt sich dem Zwang der Fügung und lässt sich fast beliebig formen. Er erreicht im Zusammenspiel der in ihm gezielt angeordneten Trageisen mit der äußeren Bauteilformung eine wesentliche Erweiterung seiner tragstrukturellen und formalen Leistungsfähigkeit. Erstmals kann ein Baustoff die gewünschte Erscheinung und eine tatsächliche Tragwirkung entkoppelt voneinander, aber in sich vereint, zusammenführen.

1 Neben Eisen und Holz: Zaghafte Einordnung 1.1 Allgemeines

Aus der künstlichen Steinmasse, wie sie zuvor schon als Großform beim Stampfbeton oder in kleinen Segmenten beim Kunststein auftritt, entsteht ab Mitte des 19. Jahrhunderts in Verbindung mit Eiseneinlagen der Eisenbeton. Die Betonmasse als künstlicher Stein wird zwar schon lange vorher im Bauwesen genutzt, jedoch tritt sie nun in Verbindung mit dem Eisen universeller und augenscheinlicher auf. Zusammen mit der Wirkung des Eisens können nun Bauwerksteile hergestellt werden, die mit ihrer Schlankheit und Leistungsfähigkeit aus dem Anwendungsfeld des reinen Betons heraustreten und dabei in den Bereich des Hochbaus eindringen, wo sie in Konkurrenz zu den anderen bis dahin verwendeten Baustoffen stehen.

1.2 Neue Plastizität

Der Eisenbeton nimmt nach EMIL VON MECESEFFY (1863–1945) eine Vermittlungsrolle zwischen den bisherigen Baustoffen ein, da er sich fast beliebig und mühelos in ganz verschiedene formale Ausgestaltungen bringen lässt. Er nimmt dabei sowohl die Form schlanker, rechteckiger Stäbe an, profiliert seine Flächen mit Rippen, löst sie in solche auf oder konzentriert Masse, um robust zu sein; er

The unbound material. On the reception of the early reinforced concrete and its construction specificity

With the mass introduction of industrial construction materials such as iron and later, reinforced concrete, the existing relationship between materiality and the form which is developed out of it has been changing. Compared with previously used construction materials, the combination of concrete with iron provides much more capability, in almost unlimited forms and with much less structural restrictions. Thereby, however, old typological design concepts of shaping and joining have to first be overcome in lengthy disputes. The shift in the main focus of the designer from joining towards shaping reaches its high point in reinforced concrete: the cast building material dispenses of the necessity of binding and can be shaped almost arbitrarily. It attains a substantial expansion of its structural and formal performance in the interaction of the iron specifically arranged to support it and the external formation of the components. For the first time, a building material can unite within itself the desired appearance and an actual structural effect that are decoupled from each other.

kann die vertrauten Konstruktionsprachen des Holzes, Eisens und Steins sprechen. Andererseits wird sein kräftigerer Ausdruck, seine Plastizität, vor allem dann als Gewinn gedeutet, wo das zierliche, „wesenlose“ Eisen allein wirkt. So urteilt MECESEFFY über die neuen Eisenbetonkonstruktionen als Bahnsteigüberdachungen: „Dass sie gegenüber dem hier bisher fast allein herrschenden Eisen einen wesentlichen künstlerischen Fortschritt bedeuten, scheint mir ausser Frage. Wie wohl tun schon die kräftigen Pfeiler nach den spindeldürren, meist mit den traurigsten Gussgliederungen verunzierten Eisensäulchen!“ [1].

Die Formungseigenschaften des künstlichen Steins stehen früh im Mittelpunkt, also die Vereinigung von Robustheit und formaler Flexibilität: „Eine neue künstliche Steinmasse, die flüssig in jede Form gebracht werden kann und verhärtet gegen Druck jeden Widerstand leistet, unempfindlich gegen Frost und Hitze, an keine bestimmte Form gebunden, sondern vielmehr mit einer unbegrenzten Formfähigkeit begabt, so ist die Natur des neuen Stoffes, die zwar im Aussehen dem Stein, im Wesen aber Gussmetall gleicht“ [2]. Die Formbarkeit der Betonmasse erfordert allerdings auch eine komplexere Vorplanung, was mitunter sogar als Bereicherung empfunden wird. Die Schalungen für aufwendige Wandoberflächen, vor allem aber für Vorsprünge und Ornamente, und die Berücksichtigung der Bewehrungsführung bedeuten für MECESEFFY im Umgang mit Eisenbeton, „dass das Entwerfen der Konstruk-

tion und das der Zierformen auf das engste Hand in Hand gehen müssen. [...] Denn bei dem losen Zusammenhang, der zwischen einer Eisenkonstruktion und ihrer Bekleidung besteht, ist [dies] leider stark außer Übung [...]. Der Eisenbeton scheint mir berufen, diesen ungesunden Zustand beseitigen zu helfen.“ Der Formungsprozess des Betons über ein Negativ, die Schalung, bedeutet für ihn, dass alles „schon in der Form vorgebildet“ sein muss; „dies legt der Schmückung der konstruktiven Glieder an Eisenbetonbauten sehr enge Fesseln auf“ [3]. LUX sieht dadurch sogar den Zwang zur formalen Einfachheit. Der gießbare Beton wirke daher „wieder als Erzieher zur modernen Sachlichkeit, die in der Anerkennung der nackten Schönheit, der in sich vollendeten reinen und absoluten Zweckmäßigkeit schwelgt“ [4].

1.3 Beständigkeit

Die Beständigkeit des neuen Baustoffs wird in den meisten frühen Schriften als der größte Gewinn proklamiert, nämlich dass „[...] gegenüber den Angriffen der Witterung, des Wassers und des Feuers die MONIER-Konstruktionen sich mit den besten Ausführungen früherer Bauweisen werden in Vergleich stellen lassen, wenn sie diese nicht theilweise noch weit überragen. Da der Cement im Laufe der Zeit bis zu natürlichen Grenzen eher an Widerstandskraft gewinnt als verliert und auch das Eisen in der starken Cementhülle gegen alle anderen als statischen Angriffe geschützt, also frei von Mängeln im Feuer und im Wasserdunst seine hohen Eigenschaften voll und dauernd zur Geltung zu bringen vermag, so kann man ohne reclamesüchtige Übertreibung Bauten in Cement und Eisen nennen, wie MONIER sie nennt: ‚unveränderlich‘ [...]“ [5].

Die ersten Handbücher zum Eisenbeton hielten schon eine sehr dünne Betondeckung für ausreichend. Nach den ersten „Amtlichen Bestimmungen für die Ausführung von Konstruktionen aus Eisenbeton bei Hochbauten“, 1904 in den Preussischen Bestimmungen eingeführt, sollte eine Deckung „nicht weniger als 1 cm betragen. Bei geringerer Stabdicke als 1 cm kann die Stärke der Deckung bis auf 0,5 cm ermäßigt werden, wenn später Putz aufgetragen wird.“ Für EMIL MÖRSCH (1872–1950) entspricht die Beständigkeit auch den wirtschaftlichen Vorzügen: „In den meisten Fällen schon billiger in der Herstellung wegen der rationellen Ausnutzung der Festigkeitseigenschaften der beiden verwendeten Materialien, entfallen bei ihnen, im Gegensatz zu den Holz- und Eisenkonstruktionen, alle Unterhaltskosten“ [6]. Als weiterer Vorzug wird auch die „außergewöhnliche Tragfähigkeit“ bei gleichzeitiger Vermeidung der „Brandgefährlichkeit“, die geringe Konstruktionshöhe der MONIERdecken und -wände sowie die bessere Hygiene hervorgehoben [7].

1.4 Steuerung der Stofflichkeit

Baustofflich gesehen war der wichtigste neue Aspekt die kontrollierte Zusammensetzung des Werkstoffs Eisenbe-

ton. Schon der Beton war als Kunststein bewusst in seinen Bestandteilen beeinflusst worden. GIEDION unterstreicht den industriellen Charakter: „Er wird nicht als kompaktes Material aus der Natur gebrochen. Sein Sinn ist: künstliche Zusammensetzung. Seine Herkunft: das Laboratorium“ [8]. Die präzise gesteuerte Beschaffenheit des Materials stand in diesem Punkt dem industriell fabrizierten Eisen, wie es aus den Walzwerken kam, im Prinzip in nichts nach. Was durch das Kombinieren mit dem Eisen für den Beton neu hinzukam, war die noch gezielte Zusammensetzung durch das geometrische Arrangieren der Komponenten; durch die beliebig definierbare Position der Einlagen konnte eine noch höhere Steuerbarkeit erreicht werden. Diese gezielt beeinflusste Anordnung der Eisenstäbe bewirkte in der Folge allerdings, dass der daraufhin konstruierte Eisenbeton für eine spezielle Belastungssituation ausgelegt war. Er weist für verschiedene Richtungen unterschiedliche Festigkeiten auf und ist aus diesem Grund, weil dies ein Wesensmerkmal ist, generell als anisotrop zu bezeichnen, wegen der Steuerung innerhalb des Querschnitts im Folgenden innere Anisotropie genannt.

Das Merkmal der Anisotropie ist mit Holz und Eisen grundsätzlich vergleichbar. Das Eisen ist zwar homogen, wird jedoch fast immer gerade so gewalzt, dass eine spezifische Querschnittsform entsteht, die dem Bauteil eine größere Tragfähigkeit für eine bestimmte Belastungsrichtung verleiht. Beim Holz ist durch die Richtung der Faser eine natürliche Verschiedenheit der Festigkeiten gegeben, welche sowohl für eine Inhomogenität als auch für die Anisotropie verantwortlich ist. Die Spezifität ergibt sich beim Holz unbeeinflussbar aus der Natur, beim Eisen im vordefinierten Repertoire des Walzwerks und im Eisenbeton erst mit der eigentlichen Herstellung.

2 Annäherungen an ein Funktionsprinzip

2.1 Allgemeines

Was am Ende des 19. Jahrhunderts ausreichend bekannt und jedem Konstrukteur vertraut sein musste, war der Baustoff Eisen mit seinen Vorzügen und Nachteilen. Das selbstverständliche Konstruieren mit Eisen war für die neue Kombination mit dem Beton eine wichtige Grundlage. MECSEFFY benennt zwei wichtige Neuerungen als Voraussetzung für die Entwicklung des Eisenbetons um die Mitte des 19. Jahrhunderts: „Die allgemeine Einbürgerung der hydraulischen Mörtelbinder und die Entwicklung des Eisens zu einem selbstständigen Konstruktionsmittel“ [9]. Dementsprechend waren auch die ersten Charakterisierungen des Eisenbetons von den Vorstellungen der Eisenbauweise und der Wirkungsweise eines Traggerüsts geprägt.

2.2 Das tragende Eisengerüst

Schon JEAN BAPTISTE RONDELETS (1743–1829) Beschreibungen der „Verankerung des Portals der Genovevenkir-

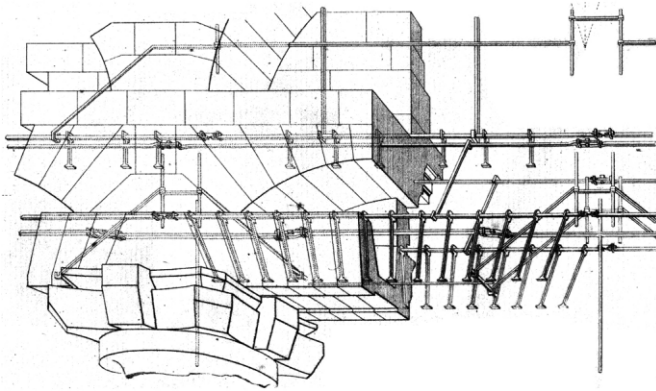


Bild 1 RONDELETS Beschreibung des Eisentragwerks mit angehängten Steinen, [10]
RONDELET'S description of the iron support structure with attached stones, [10]

che“ (Bild 1) demonstrieren die große Bedeutung des Eisentragwerks für massive Konstruktionen anhand der aufgehängten Steine an integrierten Eisenstangen: „[...] eiserne Anker [...], mit denen sich Hängeeisen verknüpfen, welche die durch starken Querbolzen (d.h. Eisenstab, Anm. d. Verf.) vereinigten sieben mittlere Steine halten.“ [10] In den von RONDELET erläuterten Steinkonstruktionen kann der Übergang des Eisens vom Hilfsmittel (Klammern, Zugbänder) zum tragenden Gerüst nachvollzogen werden.

Bezeichnenderweise trägt GUSTAV ADOLF WAYSS' (1851–1917) Broschüre zum „System Monier“ den Untertitel „Eisengerippe mit Cementumhüllung“. Die Verbundwirkung des Verbundkörpers war anfänglich im Wesentlichen ein Verbund der Funktionen ‚Tragen‘ und ‚Form‘ resp. ‚Schutz‘; nicht die Eiseneinlage verstärkte den Betonkörper, sondern der Beton schützte die tragstrukturell wirksame Eisenstruktur. [11]

WAYSS zitiert hierzu u. a. das „Sachverständigen-Gutachten des Wirklichen Admiraltätsraths Herrn VOGELER“: „Die Monierdecken [...] haben den Zweck, das eigene Gewicht und die aufzunehmenden Nutzlasten freiliegend zu tragen, wobei die eingelagerten Eisenstäbe die Zug- oder Druckspannungen übernehmen und der umhüllende erhärtete Cement das Ausknicken der belasteten Stäbe verhindert, resp. dieselben zu einem einzigen System verbindet [...]“ [12].

2.3 Eisen als Formträger

Ein grundsätzlich anderes Verständnis des Eisenbetons geht von der modellierten Betonform aus. Der Eisenbeton-Pionier JOSEPH MONIER (1823–1906) stellte als Gärtner in Paris Zementkübel für seine Pflanzen her und legte zur Verstärkung ein eisernes Gewebe ein. Dadurch konnten die nun robusteren Kübel viel dünner hergestellt werden. Sein 1867 beantragtes erstes Patent enthielt neben

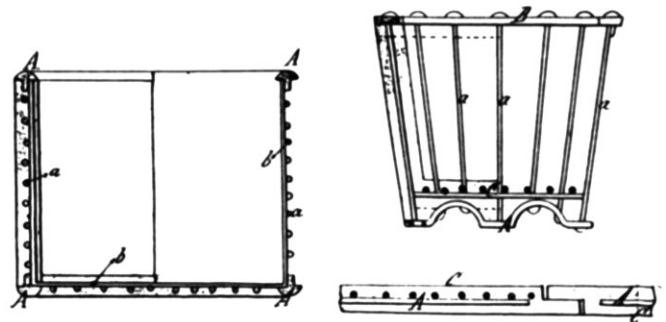
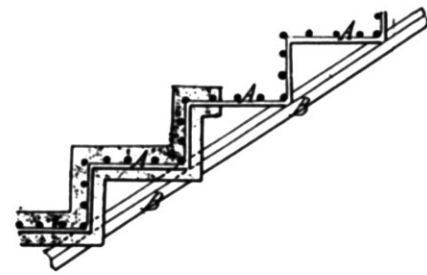
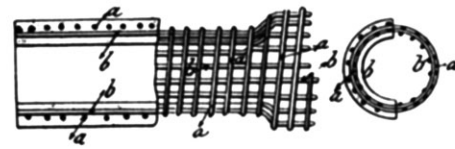


Bild 2 Patent von JOSEPH MONIER 1879: „Beschreibung der Erfindung von Konstruktionen aus Eisen und Cement [...]“
Patent of JOSEPH MONIER 1879: „Description of the Invention of structures made of iron and cement [...]“

den Kübeln noch andere Gefäße, 1868 patentierte er Rohrleitungen aus Eisenbeton und 1869 Betontafeln für Gebäudefassaden. Erst 1877 patentierte er die erweiterte Verwendung als Verbundkörper in Form von Balken und Stützen. MONIERS Grundkonzeption bestand in der Modellierung mithilfe einer Eisengitterfläche, welche als Trägersystem für eine umschließende Betonschicht diente. Sie war damit zunächst Formträger und nicht die gezielte Verstärkung spezifischer Bereiche des Betons. MONIERS Vorstellungen der Eisenbetonkonstruktionen, die sich gut an den ersten Patenten nachvollziehen lassen (Bild 2), sind auf neue Art zusammengesetzte und hergestellte, künstliche Steinkonstruktionen: schmale Cementplatten als Deckenabschluss, Gewölbe und Blumenkübel – alle Anwendungen bildeten hinlänglich bekannte Formen. Entweder waren die Bauteile noch in harmlosen Dimensionen eingesetzt (Cementplatten auf Eisenträgern), oder ihre Form folgte der Anwendung des Steinbaus (Gewölbeplatte). Die Kunststeinmasse ist dabei gleichmäßig mit Eisen „gleichsam als zähe Nervenstränge“ durchzogen. Zwar beantragte MONIER auch Patente für ebene Platten, Brücken und Treppen, jedoch werden bei ihm die Eiseneinlagen so schematisch eingesetzt, dass GIEDION resümiert: „Trotz instinktmäßig richtiger Anordnung ist die Funktion des Eisens und des Betons bei ihm [MONIER] auch am Ende noch nicht erkannt“ [13].

3 Dominanz des Tradierten bei den Bauteilen

3.1 Grundvorstellungen

Die frühen Eisenbeton-Bauteile unterscheiden sich zunächst kaum von denen der zu diesem Zeitpunkt herkömmlichen Baustoffe. Ähnlich wie bei der Einführung des Eisens „ist der neue Stoff zunächst bloßer Ersatz, Surrogat, ein Kunstmittel, dem noch keine eigene Sprache zuerkannt worden ist [...]“, so LUX. „Der Architekt denkt in den Formen des Steinbaues und führt sie in Eisenbeton aus“ [14]. Auch bei der Ausbildung ganzer Tragsysteme, verfahren die Planer ähnlich typologisch. Ähnlich stellt LUDWIG HILBERSEIMER (1885–1967) fest: „Die Elemente sind beim Eisenbetonbau zunächst dieselben wie beim Eisenbau: Stützen und Balken und die verschiedenen Kombinationen ihrer Verbindung.“ Die feinen, selbsttragenden Rippen repräsentierten zunächst die Logik des „neuen inneren Konstruktionsorganismus.“ [15]

Entsprechend dem vertrauten Konstruieren mit linearen Elementen war auch das modellhafte Verständnis ausgeprägt. Im Sachverständigen-Gutachten von Prof. WOLFF, zitiert in WAYSS' Broschüre, heißt es: „Werden nun mehrere Monier-Träger durch quergelegte schwache Drähte mit einander in einer horizontalen verbunden, so entsteht eine tragfähige Platte [...]. Die Platte kann eben oder gewölbt sein, je nach der Form der zu ihr vereinigten Träger. Ebenso können mehrere Monierträger in einer Vertikalen kombiniert werden, dann entsteht ‚eine tragfähige Wand‘“ [16].

3.2 Tendenzen der Form

Das Modelldenken und die konzeptionelle Formgebung des Verbundkörpers Eisenbeton engten die Formvorstellung lange Zeit ein; LUX fordert: „Die Stützen und Decken, die Flächen und Gewölbe, die Kuppeln und Hallen, die Brücken und Gebäude erscheinen formalistisch noch sehr häufig von überlieferten architektonischen Gesichtspunkten bestimmt. Der Betonbau hat eine künstlerische Eigensprache insoweit noch nicht erreicht, als er nur die quantitative Übertragung der überlieferten architektonischen Grundform darstellt. [...] Kein Gleichnis mit vergangenen Bauformen kann über die künstlerische Möglichkeiten befriedigenden Aufschluss geben. Anstelle der traditionellen Formgebundenheit muss völlige Freiheit und Kühnheit walten“ [17].

Die Möglichkeit, den flüssigen – also formal fast gänzlich ungebundenen – Baustoff in eine beliebige Form zu bringen und damit auch direkt als flächiges Tragelement zu benutzen, also – im Sinne von Prof. WOLFF aus WAYSS' Broschüre – gleich einem System sich kreuzweise überlagernder Balken zu denken, wurde in dieser Phase nicht in Betracht gezogen. Genau wie der Eisenbeton zunächst keine natürlich vorgeprägte spezifische Stofflichkeit besitzt, also die Komponenten während der Herstellung ihre Anordnung und Ausrichtung finden müssen, so besitzt er gesamtgeometrisch zunächst auch keine aus Kompo-



Bild 3 Modelliertes Betontragwerk des Zolllagers Chiasso, ROBERT Maillart, 1924 (Foto: MARIO RINKE)
Modeled concrete structure of the customs warehouse Chiasso, ROBERT MAILLART, 1924 (Photo: MARIO RINKE)

nenten hergeleitete ‚natürliche‘ Form. Das Fließende, Gegossene formt grundsätzlich Volumen. Das körperhaft Plastische ist hier stoffimmanent und kann zur spezifischen Ausformung als Bauteil beinahe beliebig als schwere Masse oder feine Schlankheit ausgebildet werden. Da der Beton in gegossener Form zunächst richtungslos ist, muss ihm – wenn überhaupt – gewollt eine Richtung gegeben werden (Bild 3, ROBERT MAILLARTS Betonkonstruktion für das Zolllager in Chiasso, wo feingliedrige Elemente analog dem Eisen sowie Plastizität zusammengeführt werden).

4 Steife Verbindungen als neues Prinzip

4.1 Verschränkung der Tragwirkung

Der Umweg zur Fläche über gegliederte Systeme ist vor allem der architektonischen Vermittlung und der konstruktiven Tradition geschuldet. Diese konstruktionskulturelle Bindung an eine tektonische Vorstellung von übereinander angeordneten vertikalen und horizontalen Stäben, die dort flächig geschlossen wurden, wo es gewünscht war, blieb für den normalen Geschossbau über Jahrzehnte dominant.

Das Herstellungsprinzip des Gießens, vor allem die Herstellung vor Ort, erlaubte also eine neuartige Verknüpfung von bis dahin einander nur berührenden Bauteilen. Ganz aus dem stofflichen Wesen heraus war es nun möglich, einen fließenden Übergang von einzelnen Elementen zu schaffen, was zwangsläufig die Möglichkeiten ergab, tragende Bauteile (Rippe und Dachhaut, Platten und Balken) zu einem Gesamtquerschnitt zusammenzufügen. In der Folge bildete sich eine typische Betonsprache heraus, wie GIEDION konstatiert: „Der entscheidende Schritt, der überhaupt erst gestattete, aus einem Hilfsmittel, einem Konstruktionsdetail ein neues architektonisches Gestaltungsmittel werden lassen, gelang Francois Hennebique“ [18]. Mit dem Verschmelzungsprozess von Platte und Rippe ist nicht nur eine für die Architektur bedeutsame Konstruktionsform entstanden, sondern vor allem ein wesent-

licher Wandel im allgemeinen Konstruktionsverständnis vollzogen worden: Der Balken mit der darauf lastenden Decke wurde mit dem Eisenbeton ganz endgültig zu einer mit Rippen verstärkten tragenden Platte.

4.2 Kompakte Monolitie

Der fließende Übergang zwischen den Bauteilen der Decke war aber nur eine der neuen konstruktiven Besonderheiten des Eisenbetons. Auch die festen Verbindungen von sich kreuzenden Betonbalken sind augenscheinlich absolut neu und dem andersartigen Bauprozess zuzuschreiben. Theoretisch ist es nun möglich, so HILBERSEIMER, „ein Bauwerk in wahrstem Sinne des Wortes aus einem Guss zu erstellen“, weshalb „diese Bauwerke Monolitie sind, Körper ohne Fugen“. Und dabei hat „nicht formbildender Wille mitgewirkt, sondern Notwendigkeiten, entsprungen aus dem Bauvorgang“ [19]. Mit dem kontinuierlichen Übergang zwischen den Bauteilen fehlen dem Eisenbeton auch die eigentlich typischen Verbindungselemente, was, so MECESEFFY, „den Eisenbeton [...] von allen bekannten Baustoffen scharf scheidet“ [20].

Die Anordnung der Konstruktionselemente ist wieder direkt aus vertrauten Baustoffen in den Eisenbeton übertragen. Das „steinstarre räumliche Fachwerk [besteht aus] meist vierkantigen, seltener runden Stützen [und] in der Höhe jeder Decke [angeordnete,] in zwei aufeinander senkrechten Richtungen verlaufende Unterzüge. Gewöhnlich liegen in der einen Richtung starke Unterzüge von Stütze zu Stütze, zwischen die sich dann die zahlreicheren und schwächeren Deckenbalken der anderen Richtung einspannen. Diese Anordnung bedeutet eine unmittelbare Übersetzung der Holzkonstruktion in den neuen Baustoff.“ Das „Einspannen“ der Deckenbalken in die Unterzüge, also die konstruktiv starr verbundenen oder besser noch kontinuierlich durchlaufenden Deckenbalken, ist mit dem Baustoff Holz praktisch unmöglich. „Jede wirklich konstruierte Holzbalkendecke muss nämlich den Unterschied von stärkeren Unterzügen und schwächeren Balken zeigen [...]. Niemals kann also ohne unkonstruktive Künstelei die Unterfläche der Balken mit jener der Unterzüge zusammenfallen und dadurch eine sogenannte Kassettendecke entstehen.“ Anders beim Eisenbeton, wo „die Deckenbalken ganz zwanglos bis auf ihre volle Höhe zwischen die Unterzüge gesetzt werden können und ebenso die schließenden Platten zwischen die Balken; denn die Bewehrungen der einen wie der anderen führt man ohne Schwierigkeit durch den Beton des nächst übergeordneten Traggliedes hindurch.“ Dadurch ist es nun auch möglich, so wie formal oft zuvor gewünscht war, „gleichberechtigte Balkenlagen sich in derselben Höhe und ganz ohne Schaden für ihre Tragfähigkeit durchdringen zu lassen. Damit wird die Kassettendecke für den Eisenbeton zu einer durchaus berechtigten Konstruktionsform“ [21].

Die nun konstruktiv mögliche physische Durchdringung von Tragsystemen unterschiedlicher Richtungen erlaubte

also das räumliche Zusammenlegen zweier zuvor getrennt angeordneter Tragschichten. Daraus ergab sich vor allem auch eine große Einsparung an Konstruktionsraum. Zusammen mit den nun auch geringeren Abmessungen der Träger aus Eisenbeton war das eine Wandlung zu auffällig flacheren Deckenkonstruktionen. Tragstrukturell bedeutete das monolithische Verschmelzen einen Gewinn an Steifigkeit und dadurch die Möglichkeit zur zusätzlichen Verschlankeung der Tragglieder. Die zuvor noch an die Unterzüge seitlich angehängten oder oben aufgelegten Deckenbalken stellten einfache Tragsysteme dar. Im Eisenbeton wurden die kontinuierlichen Tragsysteme zum Standardsystem, denn durch das Gießen künstlich definierter Balken und Platten entstanden gewissermaßen unendliche Konstruktionsglieder, die im Verband wirkten.

4.3 Steifes Rahmenwerk

Noch viel bedeutender war der kontinuierliche Übergang zwischen horizontalen und vertikalen Traggliedern. Die Traggerüste, die vollständig in Beton ausgebildet werden konnten, stellten nicht nur ein feingliedriges Netzwerk von schlanken Stäben dar, sondern auch ein sehr steifes (Bild 4). „Durch die starre Verbindung der senkrechten Stützen mit den horizontalen Schwellen und Trägern entsteht das unverschiebbare Gerippe des Eisenbetonfachwerks, ein biegungsfestes, steifes Rahmenwerk.“ So stellt HILBERSEIMER über vormals klassische Eisenbauten fest: „Ursprünglich wurden die Shedbauten in Eisen konstruiert, neuerdings wurde aber auch hier Eisenbeton verwandt und hat vorzügliche Lösungen ergeben. Säulen, Unterzüge, Decke, alles ist hier ein Ganzes“ [22].

Die fest miteinander verbundenen Stäbe sorgen prinzipiell für die Möglichkeit einer guten Kraftübertragung, wozu aber vor allem die Eisenbewehrungen kontinuierlich verlaufen müssen. Das ist verbindungstechnisch letztendlich auch ein bedeutender Unterschied: Im Holz- und Steinbau ist die Verbindung in der Regel schwächer als

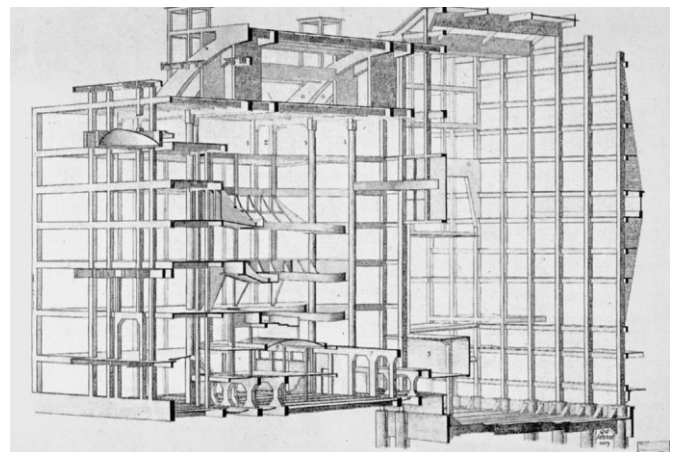


Bild 4 Eisenbeton-Skelett für das Théâtre des Champs-Élysées, AUGUSTE PERRET, 1923, [8]
Reinforced concrete skeleton for the Théâtre des Champs-Élysées, AUGUSTE PERRET, 1923, [8]

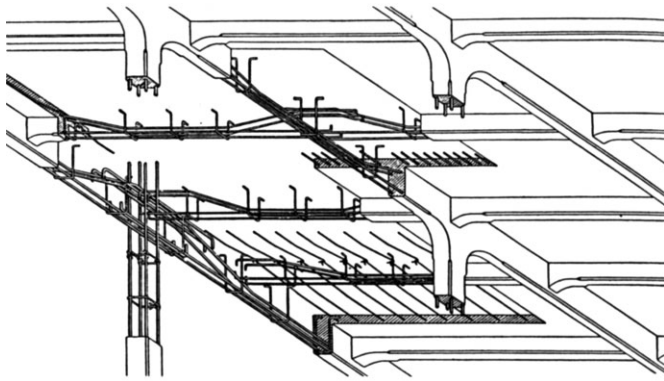


Bild 5 Patent von FRANÇOIS HENNEBIQUE zur monolithischen Konstruktionsweise von 1892
 Patent of FRANÇOIS HENNEBIQUE for the monolithic construction method from 1892

das Bauteil, im Eisenbau sind sie gleichwertig und im Eisenbeton ist die Verbindung idealtypisch identisch mit dem Bauteil.

Eine große Verbreitung erfuhr diese Konstruktionsweise durch FRANÇOIS HENNEBIQUE (1842–1921). Neben der Ausformulierung seines patentierten Konstruktionssystems aus Stützen, Trägern und Platten besteht die Leistung des Systems HENNEBIQUE im Wesentlichen in der Detaillierung eines konsistenten Bewehrungsprinzips, das für alle Situationen schematisch die entsprechende Eisenführung vorgab. Aus dem Patent FRANÇOIS HENNEBIQUES von 1892 (Bild 5) und der darin veröffentlichten, heute schon ikonografischen Darstellung, werden also insgesamt zweierlei Aspekte deutlich: Die systematische Anwendung der kontinuierlichen Kraftführung und die typische Verbindung von Deckenbalken und Tragplatte.

5 Formung und Steuerung

5.1 Betontypische Vouten

Die steif verknüpften Stabelemente lassen ihre neue Wirkung auch an den rahmenartigen Verstärkungen in den Knotenpunkten ablesen, so HILBERSEIMER: „Von besonderer Bedeutung sind die Anschlüsse der Balken an die Stütze, die nach Maßgabe der zu übertragenden Lasten durch einen entsprechenden Trägeranlauf ausgeführt werden und zu den charakteristischen Formen der Eisenbetonbauweise gehören.“ [23]

Diese bis weit in die 1930er Jahre hinein typischen Verstärkungen treten praktisch an jeder Verbindungsstelle zwischen den Bauelementen auf: Zwischen den Balken untereinander und zwischen Balken und Stütze; sogar zwischen Balken und Decken. Diese Anläufe bilden – über das physische (monolithische) Verbundensein und die Kontinuität der Eiseneinlagen hinaus – das Ineinanderfließen formal ab. Der Deckenträger geht in den Unterzug über, welcher wiederum fließend in die Stütze übergeht. MAX FÖRSTER zusammenfassend: „Auch hier wird stets auf einen Übergang durch Schrägen, also ein

unwandelbares, monolithisches Einbinden der Hauptbalken in die Stütze, ganz besonderes Gewicht gelegt, sodass von einem eigentlichen Auflagern des Balkens auf der Säule kaum mehr gesprochen werden kann; vielmehr liegt hier ein vollkommenes Zusammenwachsen beider Konstruktionsglieder unter sich vor, das sich u.a. auch darin zu erkennen gibt, dass die Stützenbewehrung bis zur Deckenunterfläche in vollem Querschnitte durchgeführt wird und die Balkeneisen sie durchdringen.“ Aber nicht nur formal, sondern auch statisch ist die Verdickung des Trägers gewünscht. Durch die besonders große Belastung beim Auflager sei es zweckmäßig, sie genau dort „zu verstärken und sie in diese mit Verstärkungsschrägen – Vouten – einlaufen zu lassen“ [24].

Für MECESEFFY ist dies sogar eine typologische Verwandtschaft mit dem Holzbau: „Man rechnet mit der Starrheit der Knoten, also mit der Einspannung der Stäbe und deren Biegefestigkeit; zu diesem Zwecke werden auch vielfach die Stäbe gegen die Knoten hin verstärkt [...]. Anstelle der in älteren Holzbauten mit Recht so beliebten Sattelhölzer treten häufig jene auch rechnerisch leicht zu begründenden schrägen oder flachbogenförmigen Verstärkungen nach unten, die dem Ansatz der Eisenbetonbalken an die Stützen den Anschein des Herauswachsens [...] verleihen“ [25].

5.2 Anomalien der Materialspezifität

Interessanterweise tritt durch MECESEFFYS Vergleich nochmals deutlich eine Auswirkung der zuvor beschriebenen, gezielt gesteuerten Anisotropie zum Vorschein. Das Holz ist natürlich anisotrop; der Holzbalken trägt die auf ihn einwirkenden vertikalen Lasten deswegen gut ab, weil er in seiner Längsrichtung die mit Abstand größte Zug- und Druckfestigkeit aufweist und so einer auftretenden Krümmung den besten Widerstand entgegensetzen kann. Aus demselben Grund ist der Eisenträger mit einem bestimmten Profil geformt; gerade für den Widerstand gegen Biegung weist er kräftige Flansche an der Ober- und Unterseite auf. Der Eisenbetonbalken erhält zur Aufnahme der entsprechenden Kräfte hauptsächlich Eisenstäbe, die in seiner Längsrichtung verlegt sind, und zwar normalerweise an seiner Unterseite, wo er gestreckt wird. Das alles sind strukturelle Maßnahmen bzw. Charakteristiken für die am häufigsten auftretende Beanspruchung, die gleichmäßige vertikale Last, welche die sogenannten inneren Biegespannungen verursacht. Für diesen Fall weisen die Bauteile eine jeweils große Tragkapazität auf.

Tritt allerdings eine große Last konzentriert auf, kann es dazu kommen, dass die Biegespannungen im Bereich der Stützung kleiner werden als die Schubbeanspruchungen. Im Holzbau kommen dann die bekannten Sattelhölzer und Knaggen für eine größere Kontaktfläche zum Einsatz; im Stahlbau ergänzt man Stegbleche (Steifen), sodass der dünne Steg unter der konzentrierten Kraft nicht beult. Im Eisenbetonbau tritt die Notwendigkeit der vertikalen Verstärkung vor allem bei Flachdecken auf, die nur

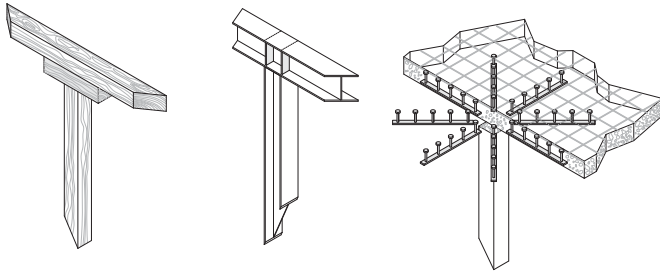


Bild 6 Kapazitive Anomalie bei den Baustoffen und typische Maßnahmen
Capacitive anomaly in the building materials and typical measures

punktuell gestützt werden; hier müssen zusätzliche vertikale Eisenstäbe bei der Stützstelle eingelegt werden, die sogenannte Durchstanzbewehrung. Alle diese Maßnahmen bilden materialspezifische Reaktionen auf die hohe Beanspruchung in Stützennähe (Bild 6), bei der die Anisotropie der Baustoffe – die Holzfasern, Stahlflansche und Betonlängseisen – lokal nicht der dominanten Belastungssituation entspricht. Die Tragkapazität der Bauteile, eng verbunden mit der anisotropen Spezifität, kehrt sich lokal in eine Schwäche; diese kapazitive Anomalie wird lokal durch entsprechende Maßnahmen behoben.

5.3 Materialimmanente Bauteilmodellierung

Das zusätzliche Konstruktionselement beim Holzbau, das den Balken entlasten soll, indem die Spannweite etwas verkürzt (Kopfband oder Bug) oder die Stützung verbreitert wird (Knagge oder Sattelholz), ist eine konstruktive Reaktion mithilfe der verfügbaren Formen der Holzelemente. Diese Eigenschaft hat das Holz mit dem Eisen gemeinsam, nur ist die strenge Linearität hier dem Herstellungsprozess geschuldet und nicht der natürlichen Verfügbarkeit. Um im Eisenbau mit einer Verstärkung zu reagieren, wird ebenfalls ein zusätzliches Konstruktionsbauteil eingeführt, welches kein zusätzliches Stabelement ist, sondern ein Sonderbauteil, wie etwa ein Blech. Aus Blechen wird auch eine Verstärkung in der Rahmenecke hergestellt, sodass hierdurch der Träger künstlich verdickt wird (Voute). Die Verstärkungen und Anpassungen im Eisen- und Holzbau stellen ein additives Prinzip dar. Dagegen ist der Formungsprozess des Bauteilquerschnitts allein aus den Grenzen des Schalens und Gießens begrenzt. Das Formdiktat der Linearität, der geraden Flächen eines Quaders, ist willkürlich [26].

Die formale oder tragstrukturell motivierte Modellierung ist eine wichtige Basis der plastischen Wirkung des Betons. Die biegesteife Ecke des Eisenbetonrahmens ist lediglich die besondere Form des sonst im ganzen Element vorhandenen Querschnitts – so wie meist am Rahmenende zum Auflager hin der Querschnitt sich verschlankt (Bild 7). Die Konzeption der Form eines Bauteils entspricht im Modellierungsprozess dem Aufwand des tatsächlichen Formens, also dem Einsatz von Schalung. Den Stützen und Trägern, Wänden und Decken oder deren

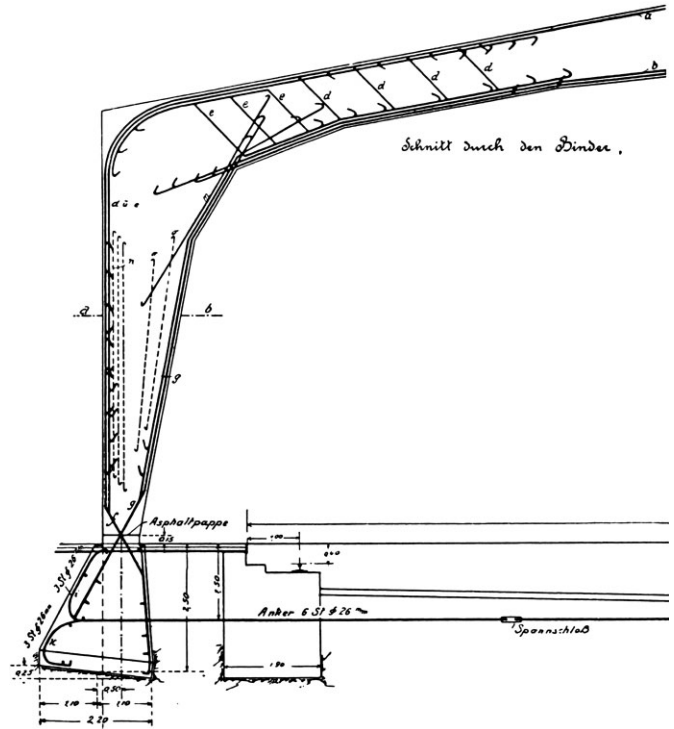


Bild 7 Eisenbewehrung eines Eisenbeton-Rahmens, Bahnhof Rummelsburg, 1914, [15]
Iron reinforcement of a reinforced concrete frame, the Rummelsburg station, 1914, [15]

steife Verbindung kann durch die gezielte Verteilung von Material die konzeptionell erforderliche Funktion und entsprechende Steifigkeit zugewiesen werden, ohne zusätzliche, möglicherweise fremdartige, Elemente hinzufügen zu müssen: „Alle [Rahmen] zeigen die typischen Verstärkungen, die den Dreieckverband anderer Konstruktionsarten ersetzen“, so HILBERSEIMER. Durch die formale und tragstrukturelle Verschmelzung der Tragwerkselemente, die Aktivierung der ‚natürlich‘-monolithischen steifen Ecke, die Reduziertheit an Elementtypen und die damit verbundene Aktivierung der Bauteile für verschiedene Aufgaben „ist also die vollkommene Einheit der Konstruktion Tatsache geworden“ [27].

Die modellierte äußere Form des Betons stellt somit grundsätzlich eine weitere Möglichkeit zur Steuerung der Tragwirkung dar. Durch die möglicherweise integrierte Aussteifung werden die Bauteile integrativ mit mehreren tragstrukturellen Funktionen ausgestattet. Die steife Verbindung im Eisenbeton kennt die Diagonale als Bauteil nicht; es findet sich immer die kraftmäßige Ausbildung einer Diagonale innerhalb des Materials. Um Kraftausbreitungen besonders zu begünstigen, kann der Eisenbeton auch entsprechend nachgeformt oder es können Eiseneinlagen hinzugefügt werden.

5.4 Tragstrukturelle Flexibilisierung

Die einzelnen Konstruktionsglieder verlieren vom Holz über das Eisen hin zum Eisenbeton vor allem durch die

zunehmende konstruktive Leistungsfähigkeit sukzessive den konkreten Bezug zur Einwirkung, durch welche sie eigentlich indirekt verursacht werden. Während sich die Traglieder – aus zunehmend industrialisierten Baustoffen gefertigt – immer komplexer und robuster gegen Einwirkungen erwehren können, wird das Traggebilde zum abstrakten Generalinstrument der Lastabwehr; es lässt sich seine Wirkungsweise immer seltener ablesen. Damit trägt auch der Industrialisierungsprozess des Baumaterials dazu bei, die lesbare Spezifität zunehmend zu verringern, d.h. das tragstrukturell flexibilisierende Material bewirkt, dass die konkrete Relation zwischen gestaltgebenden Faktoren und dem Wesen einer spezifischen Tragkonstruktion zunehmend aufgelöst wird. Dieser Prozess der abnehmenden Spezifizierung führt in seiner Folge zu einer allgemeinen Generalisierung der Bauteil- und Tragwerksform [28].

Die Ausformung, beispielsweise als Aufweitung in der Rahmenecke oder als Rippe bei einem Plattenbalken, bewirkt eine zusätzliche geometrische Steifigkeit, ganz so wie das profilierte Eisen aus dem Walzwerk für eine bestimmte Richtung eine höhere Steifigkeit erlangt. Dieses einfache konstruktive Konzept verschafft nun also auch dem Bauteil einen anisotropen Charakter. Zwar ist auch das Eisenbauteil in der Regel profiliert, also für eine spezifische Tragrichtung optimiert, besitzt jedoch fast immer denselben Querschnitt entlang seiner Achse. Das Holzbauteil wird in der Regel nicht äußerlich geformt; es ist ein natürliches Material, das in kompakt geometrischer Form aufgefunden und in unspezifischer Querschnitts-

ausformung verwendet wird. Eine flexible äußerliche Bauteilform ist nur mit dem Eisenbeton möglich. Die durch die äußere Form gesteuerte Steifigkeit, welche gezielt eine Anisotropie für das Bauteil verursacht, wird hier daher äußere Anisotropie genannt – analog zur Definition der Steuerung innerhalb des Bauteils.

Die äußere tragstrukturelle Steuerungsmöglichkeit ist eine zweite Ebene unabhängig von der Steuerung durch die Lage der Eisenbewehrung. Dem Holz als natürlichen Baustoff fehlen beide dieser Steuerungsmöglichkeiten; seine innere Anisotropie ist kaum steuerbar, und als gewachsenes Material hat das Bauteil bereits eine natürlich gegebene Form. Das Eisenbauteil hingegen kann theoretisch eine variable Trägerhöhe entlang seiner Achse aufweisen, jedoch ist dies die einzige Steuerungsmöglichkeit des Baustoffs, da er prinzipiell homogen ist. Beim Eisenbeton ermöglicht das Zusammenspiel von innerer Organisation der Eiseneinlagen und äußerer Bauteilform eine künstliche, gezielte Steuerung von innerer und äußerer Anisotropie (Bild 8).

6 Entkoppelung der Form als Umkehrung der Bildungslogik
6.1 Formung als Materialoptimierung

Die doppelte Steuerungsmöglichkeit erlaubte seit jeher nicht nur eine direkte ‚Modellierung der Tragfähigkeit‘, sondern bot sich geradezu für ingenieurmäßige Optimierungen an. Dabei ließ sich mit der Entwicklung von Geo-

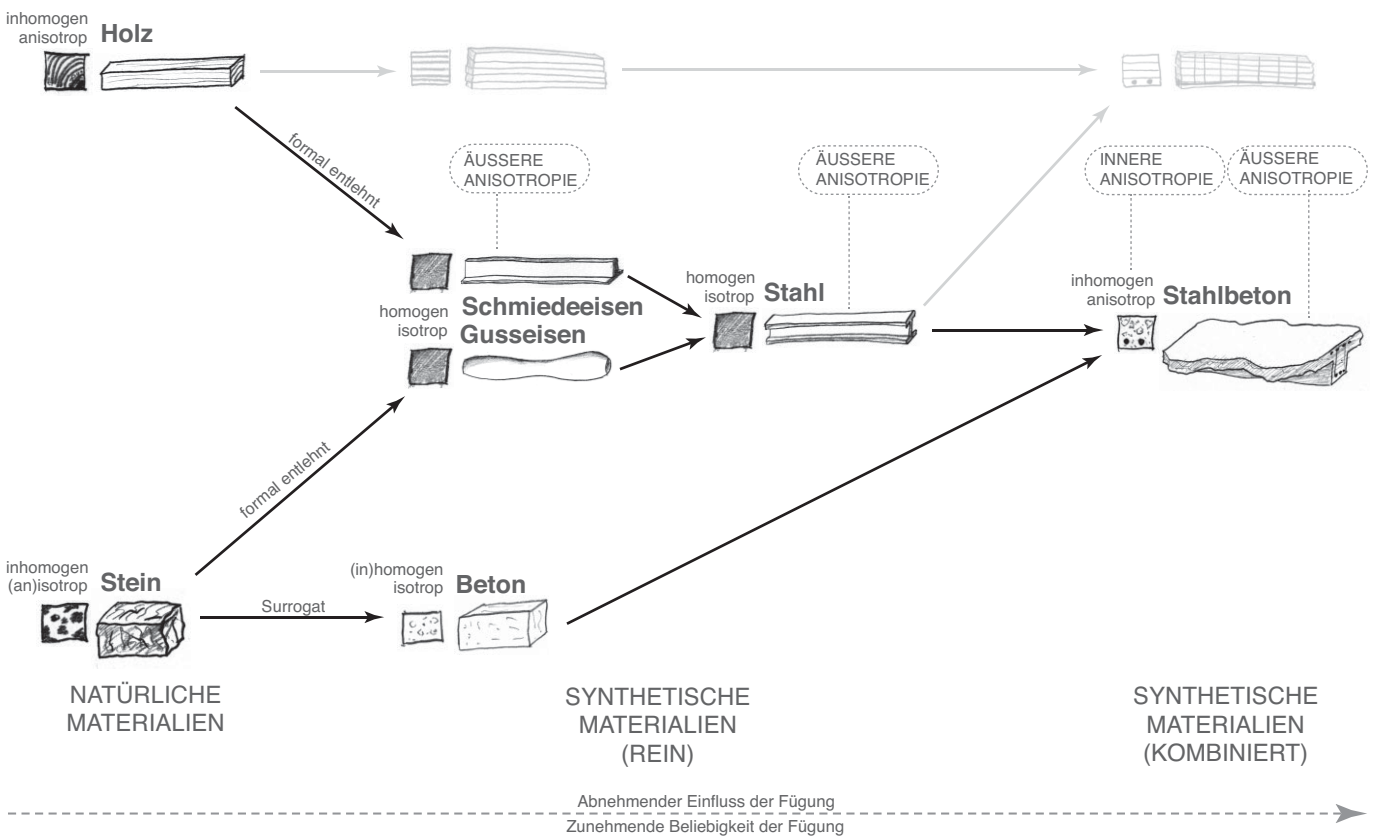


Bild 8 Konstruktions-konzeptionelle Verknüpfung zwischen den Materialien
 Construction and conceptual-based links between the materials

metrie – sowohl Bauteil- bzw. Tragwerksgeometrie als auch Querschnittsgeometrie – und Bewehrungsführung eine Verminderung des Materialbedarfs insgesamt erreichen und in der Folge mit der Gesamtleistungsfähigkeit des Tragwerks größere, weitere und höhere Bauwerke. Dem Französischen Konstrukteur EUGÈNE FREYSSINET (1879–1962) kommt dabei eine besondere Rolle zu: „Am genialsten hat FREYSSINET die Möglichkeiten des Bogendaches ausgenutzt. Bei seiner Luftschiffhalle in Orly hat er die Fläche des Bogendaches wellblechartig gefaltet, wodurch eine außerordentliche Versteifung gegen Knickung erreicht wurde“, stellt HILBERSEIMER fest (Bild 9). Den Ingenieuren sei es „gelingen, die Eisenbetonbauweise so zu vervollkommen, dass es möglich geworden ist, bei einem Minimum von Materialaufwand ein Maximum an Leistung zu erzielen. Durch strukturelle Gliederung die Passivität der Materie zu aktivieren. Ihre lastende Schwere zu überwinden, ja in tragende Energie umzuwandeln“ [30].

6.2 Entkoppelung der Bauteilform

Die im Eisenbeton nun neue Möglichkeit der tragstrukturellen Steuerung im Materialkörper selbst nur mithilfe verborgener Eiseneinlagen, also ohne das Bauteil nach außen hin sichtbar zu verformen, ermöglichte eine Entkoppelung von Tragwirkung und äußerlicher Erscheinung. Anders herum stellt die Ebene der inneren Steuerung stets eine Möglichkeit dar, die formal gewünschte äußere Gestalt tragstrukturell zu kompensieren bzw. realisieren. Anders als beim Eisenbau, wo die Entkoppelung von Tragwirkung und äußerer Erscheinung über eine zusätzliche Verkleidung realisiert werden musste, kann der Eisenbetonbau aus sich selbst heraus – seiner Natur gemäß – tatsächlich jede Form ermöglichen, selbst wenn sie bezüglich der Tragwirkung sogar nachteilig wäre. Die Konstruktion des Bauteils in Eisenbeton unterliegt mit seinem inhärenten, „inneren Tragwerk“ so immer mehr dem Primat der Form. Nach Lux „scheint es nun fast keine Grenzen mehr zu geben. Alles ist möglich.“ LUX erinnert sich dabei an die orientierungslose Phase des Eisens bei dessen Einführung: „Die stilistische Unsicherheit bezweckt in der Tat, dass dieses Material noch mehr wie das Eisen fast keine Schwächen hat, die dem Künstler eine sichere Bahn und die Einhaltung gewisser scharf umzogener formaler Grenzen auferlegen, sondern dass es fast nur Vorzüge besitzt, die die formalen Möglichkeiten ins Fessellose steigern“ [31].

6.3 Verlust der Konstruktionszwänge

Die Schwächen des Materials bilden gewissermaßen den Rahmen seiner konstruktiven Möglichkeiten; seine Beschaffenheit erschließt das charakteristische konstruktive und formale Repertoire. Das stabförmige, natürlich anisotrope Holz bildet Konstrukte aus eben solchen Elementen, deren Orientierung stark auf die Beanspruchung bezogen ist und an der Schwäche des Materials vorbeigeführt wird. Wegen der ‚natürlichen Schwächen‘ entwickeln Holzkonstrukte daher ein mitunter stark differenziertes und sehr

komplexes Gefüge. Eisenkonstruktionen hingegen ermöglichen durch die große Festigkeit für Druck und Zug, welche auch für die Verbindungsstellen problemlos zutrifft, einen robusteren Lastabtrag; die einzelnen Konstruktionsteile funktionieren beinahe richtungsunabhängig und übernehmen mehrere Funktionen gleichzeitig. Eine Differenzierung der linearen Einzelbauteile wird wegen der optimalen Anpassung an die individuelle Belastung vorgenommen. Der Eisenbeton allerdings, so FÖRSTER, zeichnet sich „durch die Gleichartigkeit aller seiner einzelnen [...] Konstruktionsteile und deren einheitliche Zusammenfassung zu einem, überall mit den gleichen Stoffen und Mitteln und nach denselben Konstruktionsgesichtspunkten errichteten Massivbau aus“ [32].

Die industriellen Materialien, die zunächst synthetisch hergestellt werden, später dann kontrolliert zusammengeführt und kombiniert werden, entledigen sich ihrer stofflichen Schwächen; sie flexibilisieren sich in Ausprägung und Anwendung. Mit dem Verlust der Konstruktionszwänge geht auch ein Verlust an einer zwingenden Konstruktionslogik einher. Das zeigt sich insbesondere am formalen Vakuum bei jeder Einführung eines neuen Materials. Mit den neuen stofflich-physikalischen Vorteilen und der zunehmenden Unabhängigkeit der konstruktiven Zwänge verlagern sich die Bemühungen der Formentwicklung und Tragsystematisierung auf die Ebene der Gesamtform. Die Beherrschung des Kraftspiels in der Tragwerksgesamtform legitimiert formale Untersuchungen zur Minimierung des Materialbedarfs. Wenn beim Eisenbeton von einer Schwäche gesprochen wird, dann muss die Abhängigkeit von der Schalung bei der Realisierung der Form in den Fokus geraten. Sie ist die prinzipielle Beschränkung dieses Materials, welche aber vor allem herstellungspraktischer und damit auch wirtschaftlicher Art ist.

6.4 Gewünschte und benötigte Form

Die zunehmend komplexeren Wirkmechanismen des Eisenbetons durch eine hochgradig steuerbare Konstruktionsform führen aber auch zu einem neuen Potenzial der Vermittlung zwischen gewünschter und benötigter Form im Formverhandlungsprozess der Beteiligten. Die beiden Ebenen der Tragwerkssteuerung im Eisenbeton bilden möglicherweise sogar auch zwei geteilte Zuständigkeitsbereiche der beteiligten Planer. In der Trennung der Formungsabsichten in ‚äußere Form‘ und ‚inneres Tragwerk‘ wäre die entkoppelte Planungskompetenz von Architekt und Ingenieur evident. Der Drang des Ingenieurs, mit wissenschaftlichem Kalkül der richtigen Konstruktionsform habhaft zu werden, verschaffte den Planenden bereits im Eisenbau eine Trennung. Die Dominanz des ingenieurmäßigen Formdenkens sei oft unerbittlich, wie MEYER dramatisch schildert, denn durch das statische Rechnen „wird jener Abstand zwischen Konstruktion und Architektur zu einer scheinbar unüberbrückbaren Kluft erweitert. Denn ‚Rechnen‘ ist reine Verstandestätigkeit. Das ‚Ja‘ und ‚Nein‘ der Zahlen ist unerbittlich. So unumschränkt herrscht es im Reich der Notwendigkeit, dass

alle Bewegungsfreiheit sich ihm fügen muss. Es ist, als gehe von den Zahlenoperationen selbst ein kalter Hauch aus, der alles Leben von vornherein erstickt“ [33]. Die zwanghafte Zurschaustellung des Traggerippes kann im Eisenbeton in die Ebene des inneren Tragwerks zurückgedrängt werden. Aber der Betonkörper wird nicht durch sein Erfordernis zum Tragbeitrag diszipliniert, sondern durch die Mittel seiner Herstellung. Der Ingenieur kann versuchen, Form und Tragwerk zusammenzuführen oder zumindest sich gegenseitig helfen zu lassen; genau an dieser Stelle begegnen sich Architekt und Ingenieur bei der gemeinsamen Formsuche.

7 Schlussbetrachtung

Die Untersuchung des anfänglichen Umgangs mit dem neuartigen Baustoff Eisenbeton offenbart einflussreiche Verknüpfungen zu traditionellen Materialien; diese bil-

den das konstruktive Fundament, welches Gewissheit aber auch Beschränkung für das technisch und formal Denkbare darstellt. Das Konstruieren, also Materialisieren des Modellhaften, das Verknüpfen und Ausformen, stellt sich als baukulturell gebunden heraus, und zwar u. a. durch den Umgang mit anderen Materialien und anderen technischen Fragestellungen. Hierbei wird deutlich, wie sehr die Geschichte des Konstruierens und die der Baustatik ganz eigene Wurzeln und Pfade aufweisen. Das Einbeziehen der ureigenen konzeptionellen Grundlagen – das „Woher“ und „Warum“ der verinnerlichten Vorstellungen – kann der Bewusstseinsbildung des Bauingenieurs nur zuträglich sein, fernab der technisch-wissenschaftlichen Fertigkeiten. Egal ob einfache oder komplexe Geometrie, Vorfertigung oder In-Situ-Herstellung: Die heutige Planungspraxis zeigt, dass die alte Frage nach der Form auch aus technischer Sicht immer wieder neu gestellt wird. Für den Stahlbeton muss dafür immer eine neue richtige Antwort gegeben werden können.

Literatur

- [1] VON MECENSEFFY, E.: *Die künstlerische Gestaltung der Eisenbetonbauten*. Ergänzungsband 1. aus: VON EMPERGER, F. (Hrsg.): *Handbuch für Eisenbetonbau*. Berlin: Ernst 1908, S. 133.
- [2] LUX, J. A.: *Ingenieur-Aesthetik*. München: G. Lammers 1910, S. 46.
- [3] VON MECENSEFFY, E.: *Die künstlerische Gestaltung ...* S. 14, 25.
- [4] LUX, J. A.: *Ingenieur-Aesthetik*. S. 48.
- [5] WAYSS, G. A.: *Das System Monier (Eisengerippe mit Cementumhüllung) in seiner Anwendung auf das gesamte Bauwesen*. Berlin: Seydel 1887, S. 8f.
- [6] MÖRSCH, E.: *Der Betoneisenbau, seine Anwendung und Theorie*. Stuttgart: Wayss & Freytag 1902, S. 9.
- [7] WAYSS, G. A.: *Das System Monier*. S. 9ff.
- [8] GIEDION, S.: *Bauen in Frankreich, Eisen, Eisenbeton*. Leipzig und Berlin: Klinkhardt & Biermann 1928, S. 66.
- [9] VON MECENSEFFY, E.: *Die künstlerische Gestaltung ...* S. 4.
- [10] RONDELET, J.-B.: *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*. 3. Band, Paris: L'Auteur 1802–1817, S. 307f. und der Tafelband Pl. CLI.
- [11] Aus dieser Zeit stammen zahlreiche Betonkonstruktionstypen, in denen ganze Eisenträger liegen, z.B. die Brückenkonstruktionen von JOSEPH MELAN („Melan-Bauweise“) oder die Zeiss-Dywidag-Schale.
- [12] WAYSS, G. A.: *Das System Monier*. S. 2f.; Allerdings heißt es später von WAYSS selbst: „Es ist der Konstruktionsgedanke, die hohe Druckfestigkeit des Cementes und die vortreffliche Zähigkeit des Eisendrahtes durch Anordnung jedes dieser Stoffe an der rechten Stelle zu gemeinsamer Wirkung zu vereinigen [...]“ S. 6.
- [13] GIEDION, S.: *Bauen in Frankreich ...* S. 66.
- [14] LUX, J. A.: *Ingenieur-Aesthetik*. S. 46.
- [15] VISCHER, J.; HILBERSEIMER, L.: *Beton als Gestalter. Bauten in Eisenbeton und ihre architektonische Gestaltung*. Stuttgart: Hoffmann 1928, S. 14.
- [16] WAYSS, G. A.: *Das System Monier*. S. 4f.
- [17] LUX, J. A.: *Ingenieur-Aesthetik*. S. 47f.
- [18] GIEDION, S.: *Bauen in Frankreich ...* S. 66.
- [19] VISCHER, J.; HILBERSEIMER, L.: *Beton als Gestalter*. S. 21.
- [20] VON MECENSEFFY, E.: *Die künstlerische Gestaltung ...* S. 25.

- [21] ebenda, S. 79ff.
- [22] VISCHER, J.; HILBERSEIMER, L.: *Beton als Gestalter*. S. 8ff.
- [23] ebenda, S. 8.
- [24] FÖRSTER, M.: *Die Grundzüge des Eisenbetonbaues*. 2. Auflage, Berlin: Springer 1921, S. 82f.
- [25] VON MECENSEFFY, E.: *Die künstlerische Gestaltung ...* S. 81.
- [26] DEPLAZES, A.: *Die Metaphysik des Sichtbetons*. In: Ders. (Hg.): *Architektur konstruieren, vom Rohmaterial zum Bauwerk*. 2. Auflage, Basel: Birkhäuser 2005, S. 57–60.
- [27] VISCHER, J.; HILBERSEIMER, L.: *Beton als Gestalter*. S. 23.
- [28] RINKE, M.: *The infinitely shapable structure. Structural iron and the decontextualization of construction*. In: RINKE, M.; SCHWARTZ, J. (Hrsg.): *Before Steel. The introduction of structural iron and its consequences*. Sulgen: Niggli 2010, S. 67–86.
- [29] Association pour la mémoire et le rayonnement des travaux d'Eugène Freyssinet: *Eugène Freyssinet 1879–1962. A revolution in the art of construction*. Paris: Presses de l'École nationale des ponts et chaussées 2004.
- [30] VISCHER, J.; HILBERSEIMER, L.: *Beton als Gestalter*. S. 14.
- [31] LUX, J. A.: *Ingenieur-Aesthetik*, S. 46f.
- [32] FÖRSTER, M.: *Die Grundzüge des Eisenbetonbaues*. S. 81.
- [33] MEYER, A. G.: *Eisenbauten, ihre Geschichte und Aesthetik*. Esslingen: Neff 1907, S. 4f.

Autoren



Dipl.-Ing. Mario Rinke
rinke@arch.ethz.ch

ETH Zürich
Professur für Tragwerksentwurf
Departement Architektur
Wolfgang-Pauli-Strasse 15
8093 Zürich



Dr. Toni Kotnik
toni.kotnik@uibk.ac.at

Universität Innsbruck
Institut für Experimentelle Architektur
Technikerstraße 21
6020 Innsbruck