

## **„Innovation und Kreativität französischer Holzingenieurbauten“**

Michael Flach, I.C.S. Bois, Les Lanches Frankreich

Frankreich gehört zu den alpinen Europäischen Ländern, die sich auf eine ausgeprägte Holzbautradition berufen können. Besonders die an die Schweiz angrenzenden Regionen wie der französische Jura und das Hochsavoyen, aber auch das Deutschland naheliegende Elsass und die Vogesen nutzen seit Jahrhunderten in bedeutendem Ausmass die heimischen Holzvorkommen für den Wohnbau.

Die „Compagnons du Devoir“, die bei ihrer mehrjährigen Tour de France die handwerklichen Fähigkeiten von ihren Meistern erwerben, haben in Frankreich die Kenntnisse von hochqualifizierten Zimmerleuten bis in heutige Zeiten weitervermittelt. Sie begründen den Berufsstand der französischen Zimmermänner.

Neben den traditionellen Massivholzbauten entwickelte sich in den Fünfzigerjahren die Brett-schichtholzindustrie. Der grösste französische Brett-schichtholzhersteller zählt in Europa mit zu den bedeutendsten der Europäischen Holzindustrie. Die Pioniere des französischen Ingenieurholzbaus waren oft Autodidakten mit Stahlbauerfahrung. Sie entwickelten teils in firmeneigenen Ingenieurbüros, teils als beratende Ingenieure, weitgespannte Brett-schichtkonstruktionen, die sich durch ihre gebogenen Formen und hohe Querschnitte auszeichnen.

Eine neue Generation von Holzbauingenieuren entstand durch das im französischen Sprachraum situierte Polytechnikum von Lausanne. Der von Professor Julius Natterer in den 80ziger Jahren gegründete Nachdiplomkurs für Holzbau bildete die Grundlage für so manche französischen Holzbauspezialisten, die den Holzbauarchitekten in Frankreich neue Impulse gaben. Aber auch Deutsche und Schweizer Ingenieure sind seit einigen Jahren in Frankreich tätig, wodurch sich die internationale Zusammenarbeit intensiviert hat.

Das vor 8 Jahren von Julius Natterer und Michael Flach gegründete Ingenieurbüro gehört seitdem zur wichtigsten Drehscheibe der Entwicklung innovativer Holzingenieurbauten in Frankreich. Neben zwei Deutschen und fünf Schweizer Holzbauexperten (Biel) arbeiten auch französische Ingenieure, die zum Teil bereits ihr eigenes Büro gegründet haben.

Ausser guten technischen Fähigkeiten braucht man ein paar alpine Vorkenntnisse, um im Winter mit Skiern in das Büro zu gelangen. Die meist in Zusammenarbeit mit Professor Natterer entwickelten Holzbauten wurden bei Anwendung neuer Technologien mit Versuchen im Lausanner Polytechnikum geprüft.

Die im Vergleich zur deutschen DIN-Norm relativ bescheidenen französischen Vorschriften ermöglichten es, einfacher und ohne grossen Verwaltungsaufwand, kreativen und innovativen Holzbau zu betreiben.

Die ersten bemerkenswerten Grossbauten in Holz zeichneten sich dadurch aus, dass mit relativ kleinen Holzquerschnitten und geradlinigen Stäben filigrane Fachwerkträger mit grosser Spannweite entwickelt wurden. Den bisher bei grossen Spannweiten üblichen Bogenkonstruktionen waren diese Systeme durch die Vermeidung grosser Horizontalschübe auf die Fundamente überlegen.

Die von Michael Flach mit der Firma Weisrock in Jahre 1985 entwickelte Holzkonstruktion des **Radstadiums von Bordeaux** konnte dadurch kostengünstig auf schlechtem Baugrund errichtet werden. Es handelt sich um ein räumliches Fachwerktragwerk das eine Grundfläche von etwa 11000 m<sup>2</sup> überspannt. Die Holzkonstruktion ruht im wesentlichen auf 4 Betonstützen und gehört noch heute zu den grössten Holzbauwerken Europas.

Das Haupttragsystem wird von einem pyramidenförmigen Gelenkstabzug gebildet, der sich mit vier 10 m hohen Fachwerkträgern auf einem quadratischen Grundriss überlagert. Die Zugbänder der Pyramide, die zugleich die Untergurte der Fachwerkträger bilden, wurden in Stahl ausgeführt um Zugkräfte von bis zu 400 t aufzunehmen.

Ein anderer Grossbau, die **Grosse Halle in Martiques**, überdacht eine Fläche von etwa 9000 m<sup>2</sup>. In diesem Fall sind auch die Zugstäbe in Brettschichtholz ausgeführt. Die Schwierigkeit des Projektes bestand darin, die Knotenanschlusskräfte von bis zu 250 t auf kleinstem Raum zentrisch und ohne Spiel anzuschliessen. Der Anschluss der Druckkräfte konnte dabei über Kontakt mit hochfesten Kunstmörtelinjektionen relativ einfach hergestellt werden. Kleinere Zug- und Schwerkkräfte werden über Passbolzen und Nagelverbindungen angeschlossen. Die Übertragung grosser Zugkräfte an den Holzquerschnitt erforderte jedoch ein völlig neues Verbindungssystem. Zu dieser Zeit hatte der Deutsche Ingenieur Peter Bertsche die Entwicklung von Verbundankern gerade soweit vorangetrieben, dass ihr Einsatz zum ersten Mal in diesem Ausmass durchgeführt werden konnte. Die mit Kunstmörtel ausgepressten Verbundanker wurden im Rahmen von Versuchen an der Militärhochschule in München mit über 100 t belastet. Die hohen Zugkräfte konnten damit zentrisch und ohne Spiel in den Knoten angeschlossen werden.

Die in diesem Jahr fertiggestellte 6500 m<sup>2</sup> grosse **Indoor-Athletikhalle bei Paris** ist ein Beispiel, wie man mit einem horizontalen Fachwerkrost Spannweiten von fast 100 m überbrücken kann. Die Querschnitte wurden trotz der grossen Spannweiten kleingehalten. Die Baustoffe Holz und Stahl wurden so eingesetzt, dass jedes Bauteil unter besten mechanischen und wirtschaftlichen Bedingungen arbeitet.

Filigrane Fachwerksysteme mit schlanken Stahlunterspannungen können bereits bei mittleren Spannweiten infolge ihrer Leichtigkeit zu Abheberscheinungen führen. Für die **Tennis-halle in Saint Vulbans bei Lyon** wurden unterspannte Binder mit 40 m Tragweite vorgesehen. Die Dywidag-Stahlzugstäbe wurden so verspannt, dass sie selbst unter Windsogwirkung zugbeansprucht bleiben.

Ohne Vorspanntechnik kann die Aufnahme geringer Druckkräfte infolge von Windsog auch über schlanke Stahlhohlrohre gelöst werden. Die räumliche Fachwerkkonstruktion der **Sporthalle in Grenoble** wurde nicht wie üblich in der Dachebene, sondern in der Untergurtebene durch Windverbände aufgestreift, wodurch die Decke von Diagonalverbänden freigehalten werden konnte.

Diese Beispiele zeigen, dass man auch mit geradlinigen Stabsystemen wirtschaftlich und ästhetisch optimal arbeiten kann. Die jüngsten Trendformen der modernen Architektur orientieren sich allerdings wieder in Richtung flach gespannte Bogen. Dass es dafür moderne und vielfältige Lösungen gibt, ohne dabei auf schwerfällige Breitschichtbögen zurückzugreifen, zeigen die weiteren Beispiele.

Das gewölbte Dach der 1993 fertiggestellten **Schwimmhalle in Sete** wird von einer räumlichen Baumstruktur getragen. Die Entwicklung der Geometrie dieser Konstruktion war relativ aufwendig, konnte aber mit Hilfe von geeigneten CAD-Programmen gemeistert werden. Dem Materialersparnis solcher feingliedrigen Raumstrukturen steht ein erhöhter Abbundaufwand gegenüber, der aber in Zukunft mit computergesteuerten Abbundanlagen gebaut werden kann. Für den Bauherrn zahlt sich der relativ geringe Mehraufwand einer attraktiven Holzkonstruktion in jedem Fall aus, da die Qualität der sichtbaren Konstruktion wesentlich zur Anziehungskraft eines Schwimmbades beiträgt.

Ein völlig anderes, dafür aber auch wirtschaftlicheres Tragsystem wurde nach dem Prinzip der Natterischen Brettstapelkuppel für ein **Ausbildungszentrum in Chaumont** gewählt. Die Form entspricht dem statischen System der Zylinderschale, so dass sich eine Konstruktionshöhe von nur 16 cm ergibt. Die Wirtschaftlichkeit solcher Schalensysteme ergibt sich aus der Vielfachfunktion jedes Bauteils. Die Schalung erfüllt dabei sowohl die Aufgabe eines Tragelements als auch die Rolle einer schallabsorbierenden Decke.

Der Materialaufwand ist bei dieser Rippenschale gering. Stahlteile gibt es so gut wie nicht, dafür ist der Montageaufwand höher als bei herkömmlichen Tragsystemen. Angesichts der Lage auf dem Arbeitsmarkt, ist dies aber wünschenswert.

Die flache Kuppel der **Holzingenieurschule in Nantes** ist ein anderes Beispiel wie man mit Rippen in Brettstapelweise strukturierte Holzdecken in Blütenform gestalten kann. Der Ringzuganker ist in Brettschichtholz ausgeführt. Die Kuppel wurde am Boden vorgefertigt und wie eine fliegende Untertasse in die endgültige Lage gehoben.

Die Möglichkeiten der Brettstapelbauweise drücken sich durch die Vielfalt der Formen aus, die mit einfachen Mitteln hergestellt werden können. Bei einem Übungsseminar in der Nähe von Lyon wurde eine **Gartenlaube** von Architekturstudenten in zwei Tagen im Eisenbau erstellt und damit neue gestalterische Ansätze gezeigt.

In Anlehnung an die Brettstapelbauweise wurden speziell in Frankreich Balkenroste mit gekreuzten abwechselnd durchlaufenden Kanthölzern entwickelt. Die erste Ausführung dieser Art wurde für eine **Abundhalle im französischen Zentralmassif** verwirklicht. Die Versuche wurden am Polytechnikum in Lausanne durchgeführt, um an einem Modell in wahrer Grösse den Trägheitsverlust durch den Schlupf der Verbindungsmittel zu beurteilen. Es werden Stabdübel von oben in das Holz gepresst, wodurch sie nicht sichtbar bleiben. Die Balken laufen in den Knotenpunkten wechselseitig durch. Auf Stahlteile konnte weitgehend verzichtet werden.

Der eigentliche Sinn dieser Bauweise wird offensichtlich, wenn man mit Hilfe einer zuverlässigen Holzsortierung die deterministische Methode anwendet. Bei dem 800 m<sup>2</sup> grossen Balkenrost für ein **Experimentalgebäude auf dem Versuchsgelände von Cantercel in Südfrankreich** wurden die Kiefern balken zuerst mit dem Ultraschall nach ihrer Festigkeit sortiert. Es galt anschliessend für jedes Holz in Abhängigkeit seiner Festigkeit den geeigneten Platz zu bestimmen. Hochfeste Balken werden für die oberste oder die unterste Lage in Feldmitte bevorzugt, weniger feste Balken verwendete man eher für die Zwischenlagen und die Füllhölzer. Durch eine geschickte Anordnung der nicht sichtbaren Stabdübel ist es möglich, sich dem Kräfteverlauf anzupassen. Eng gesetzte Dübel in stark beanspruchten Zonen vermindern den Schlupf zwischen den Balkenlagen und erhöhen das wirksame Trägheitsmoment. In schwach beanspruchten Zonen kann sogar auf Füllhölzer verzichtet werden.

Die Entwicklung neuer Verbundtechniken ist vor allem bei zusammengesetzten Querschnitten mit verschiedenen Materialien interessant. Jeder Baustoff kann dadurch im optimalen Bereich eingesetzt werden. Wie wir vorhin gesehen haben, wird bei Holz-Stahl Systemen das Holz vorwiegend auf Druck, der Stahl eher auf Zug beansprucht. Bei Verbunddecken hat sich eine Holz-Beton Verbindung vorteilhaft erwiesen. Holz übernimmt in diesem Fall eher die Zugkräfte, der Beton die Druckkräfte. Verbunddübel, wie sie Professor Natterer entwickelt hat, haben sich für Brettstapeldecken im Holz-Betonverbund bewährt und wurden vielfach bei Projekten in Frankreich verwendet.

**Holz-Beton Verbunddecken** sind aber auch bei der Altbausanierung interessant. In Frankreich ist der Bauumfang für Renovierungsarbeiten bereits bedeutender als der Neubaumarkt. Zudem wurden die meisten Decken der französischen Grosstädte des vergangenen Jahrhunderts mit Eichenholzbalken erstellt.

Es besteht deshalb eine grosse Nachfrage für die Entwicklung geeigneter Techniken zur Sanierung von Altbaudecken unter Wiederverwendung bestehender Holzbalken.

Angesichts der unterschiedlichen Zustände von Altbauten ist es erforderlich, jeden Fall für sich zu untersuchen. Dabei sind Kreativität und die Anwendung von innovativen Techniken bei der Suche nach der geeigneten Lösung massgebend. Aufgenagelte Stahlbleche, Hartholzknaggen und Nagelpressverleimungen kommen dabei ebenfalls zur Anwendung wie verschiedenste Arten von Konnektoren.

Abschliessend sei noch auf die Anwendung von Holz-Beton Verbundsystemen im Brückenbau hingewiesen. Für eine **100 m Holzbrücke, die sich auf der französischen Insel der Réunion** (bei Madagaskar) gerade im Bau befindet, war es erforderlich, den abgespannten Brückentisch soweit zu erschweren, dass bei Wirbelstürmen keine Abhebekräfte und somit keine Druckkräfte in den Schrägseilen entstehen. Die Holz-Betonverbundplatte ist gleichermaßen als Windscheibe der Horizontalkräfte ausgebildet.

In gemässigten Klimazonen sind diese Brückentypen auch ohne Verbunddecke ausführbar. Der Brückentisch besteht in diesem Fall aus nebeneinander befestigten Baumstämmen. Bei der **Fussgängerbrücke im Jura** konnte somit die Holzkonstruktion mit heimischem Massivholz hergestellt werden.

Die 60 m **lange Fahrradbrücke über eine Autobahn bei Nantes** ist ein weiteres Beispiel, wie Massivholzbrücken mit 40 m Spannweite filigran gestaltet werden.

Die Verbundtechnik ist wiederum sinnvoll, wenn es darum geht, Radlasten von Schwerlastwagen zu verteilen. Eine kleine **15 m Holzbrücke für 30 t Laster im Süden von Lyon** wurde mit einer Holz-Betonplatte und rundholz-Dreieckbindern besonders günstig hergestellt.

Innovative Verbundtechnologien sind unentbehrlich wenn es sich um weitgespannte Holzbrücken für den Autoverkehr handelt. Eine 200 m lange Autobrücke für Busverkehr ist in **Saint Gervais** vorgesehen. Die Spannweite des Mittelfeldes beträgt 130 m. Die Fahrbahnplatten im Holz-Beton-Verbund verteilen die Achsenlasten von 12 t. Wie in alten Zeiten ist auch hier der konstruktive Holzschutz mit einer Überdachung gewährleistet, wodurch die Lebensdauer dieses Bauwerks wesentlich erhöht ist.

Ich habe versucht zu zeigen, dass man mit Kreativität und neuen Technologien im Holzbau neue Möglichkeiten eröffnen kann. Frankreich wartet dabei sicherlich im interessanten Projekten auf, die sich auf internationaler Ebene zeigen lassen.