



*Richard J. Dietrich
Dipl. Ing. Architekt
Büro für Ingenieur-Architektur
Bergwiesen und München
Deutschland*

Holz im Brückenbau: Urstoff mit Zukunft, Entwicklungslinien und innovative Beispiele

**Wood for bridge construction -
primeval material with a future lines of
development and three innovative
examples**

**Legno nelle costruzioni di ponti:
materia prima con un futuro, Linee di
sviluppo e tre esempi innovativi**

Dokument in Deutsch

Holz im Brückenbau, Urstoff mit Zukunft, Entwicklungslinien und innovative Beispiele

1 Holz als Brückenbaustoff

Holz ist der Urbaustoff im Brückenbau. Die erste Brücke war ein über einen Graben, einen Bach, eine Schlucht geworfener Baumstamm und bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts hinein hat man mit hoher Zimmermannskunst große und wichtige Brücken aus Holz gebaut. Ohne Holz als Brückenbaustoff wäre unter anderem die schnelle Entwicklung der Eisenbahnen in Europa und Amerika nicht möglich gewesen.

Alle Tragwerksysteme sind zunächst im Holzbau entwickelt worden, auch und vor allem im Brückenbau, wo es um immer größere Spannweiten ging.

Holz ist ein sehr vielseitiges Konstruktionsmaterial seine Möglichkeiten reichen vom weit gespannten Dachtragwerk über Brücken bis zu Hochleistungsstrukturen wie Schiffen und sogar Flugzeugen. Das tragende Gerippe des größten Flugszeugs das je gebaut wurde und flog, der so genannten „Spruce Goose“, der „Sperrholz-Gans“ in den USA 1939 war aus Holz konstruiert. Dichte, Gewicht, Stabilität, Tragfähigkeit reichen vom superfesten „Eisenholz“ bis zum federleichten „Balsaholz“. Der Vielfalt der Holzarten entspricht die Vielfalt von konstruktiven Verwendungs-Möglichkeiten.

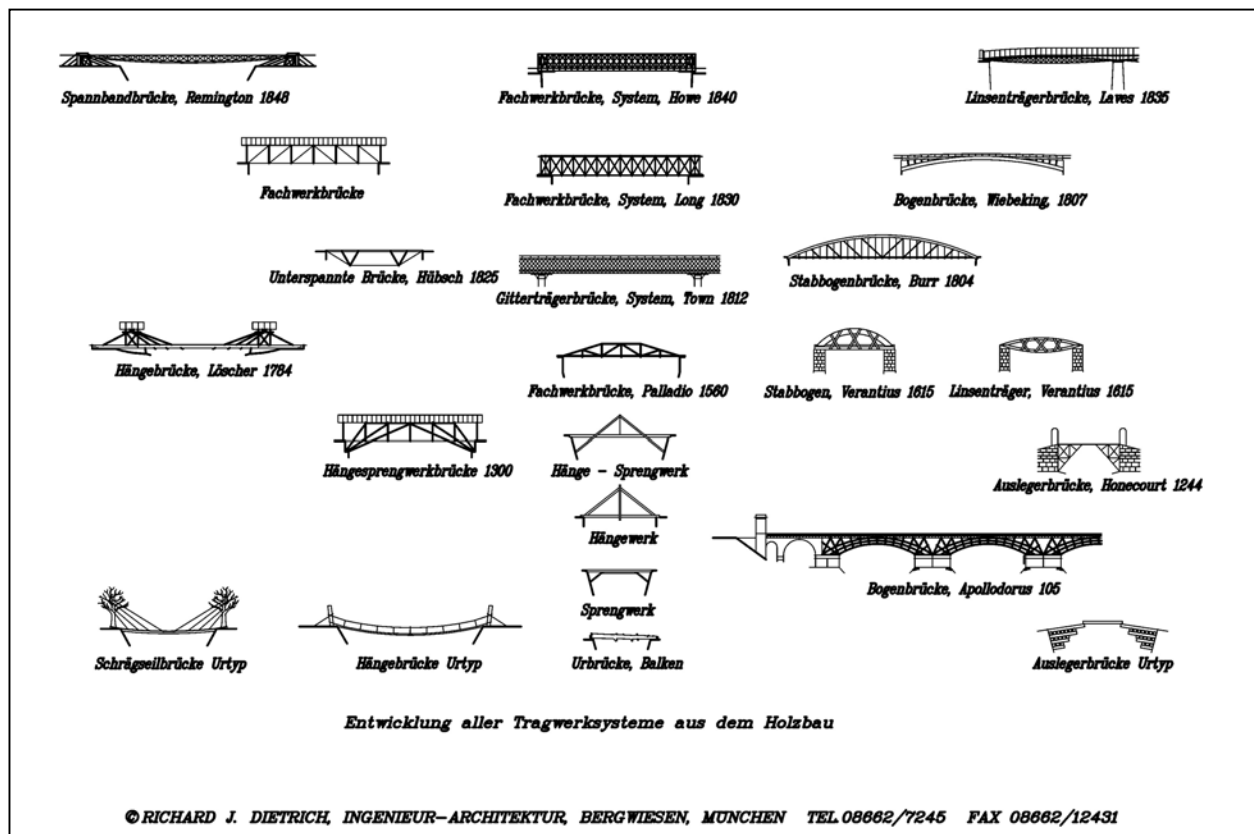


Abbildung 1: Stammbaum der Brücken, Ausschnitt Holzbrücken



Abbildung 2: Holzbrücken vom Renaissance
Architekten Andrea Palladio,
Repliken in Bassano



Abbildung 3: Park von Wörlitz

Holz ist für den Brückenbau ein sehr effizientes und wirtschaftliches Material.

Die Materialeffizienz die spezifische Leistungsfähigkeit des Holzes ist in konstruktiver Hinsicht bis heute durch kein herkömmliches oder neues Baumaterial erreicht worden, trotz aller Erfolge der modernen Baustofftechnologie.

Das für den Brückenbau entscheidende Gewichtsfestigkeitsverhältnis von Holz ist absolut gesehen außerordentlich. Ein Stab von 3 m Länge, der eine zentrische Drucklast von 20 t aufnehmen soll, wiegt aus Nadelholz 60 KG aus Vollstahl 130 KG und aus Stahlbeton 300 KG. Bei Belastung mit Zugkräften werden diese Unterschiede noch deutlicher, die Reißlänge eines aufgehängten Holzstabes mit beliebigem, durchgehend gleichem Querschnitt liegt theoretisch bei 7 km. Damit übertrifft Holz hinsichtlich des Gewichtsfestigkeits-Verhältnisses bei weitem den normalen Baustahl, der es nur auf 3 km bringt, vom Stahlbeton ganz zu schweigen, da der für Zug ungeeignete Beton die Stahllarmierung nur zusätzlich belastet.

Der englische Werkstoffwissenschaftler J. E. Gordon kommt aufgrund der neuesten Erkenntnisse seiner Wissenschaft zu noch erstaunlicheren Aussagen. Er schreibt: „gute Hölzer sind wegen ihrer relativ niedrigen Dichten bei vergleichsweise hohen Youngschen Moduln ungefähr fünf mal so effizient wie Stahl“. Der youngsche Modul bedeutet das Verhältnis von Spannung zu Dehnung und Dichte eines Materials. Weiter schreibt Gordon: „Um Holz angemessen beurteilen zu können, muss man auch andere Gesichtspunkte in Betracht ziehen. Das gilt vor allem für den Struktur-Belastungskoeffizienten, also dem Verhältnis aus der Last die ein System tragen muss und der Dimension, über die sich diese Belastung jeweils verteilt. Hat dieser Koeffizient einen hohen Wert, wie es etwa bei den meisten Maschinen der Fall ist. So ist Holz gegenüber Metallen wie Stahl im allgemeinen unterlegen. Jedenfalls ist Holz sicher kein geeignetes Material für eine Kurbelwelle. Umgekehrt erweist sich Holz bei niedrigen Belastungskoeffizienten, wie sie etwa für Bäume, Boote oder Flugzeuge (und auch Brücken) typisch sind, als ein sehr leistungsfähiges Material“. Andererseits bieten sich bei Holzkonstruktionen in den Brennpunkten der Kräfte, also an den Verbindungsknoten, Materialien mit hohen Belastungskoeffizienten an, wie zum Beispiel Stahl.

Gordon der mit der Entwicklung moderner Komposit-Werkstoffe, nach dem Vorbild von Holz bekannt wurde, ist der Meinung: „Die traditionelle Verwendung von Holz lässt gar nicht erkennen, welche Möglichkeiten tatsächlich in diesem anspruchsvollen Werkstoff schlummern“.

Holz ist also ein sehr effizientes Konstruktionsmaterial, dennoch hat es im Brückenbau nach einer großen Vergangenheit heute praktisch keine Bedeutung mehr. Zwar werden noch immer einige Brücken aus Holz gebaut, aber doch kaum wegen der überragenden Materialeigenschaften, sondern mehr aus gefühlsmäßigen Gründen. Holz steht für Tradition und angenehme Optik. Mit Rücksicht auf eine schöne Naturlandschaft oder auch auf ein denkmalgeschütztes Altstadtensemble greift man im Brückenbau zu Holz, nicht aber weil man ein besonders effizientes wirtschaftliches Tragwerk bauen will.

Ich habe mich jedenfalls selbst beim Bau meiner Holzbrücken von den Möglichkeiten und Qualitäten des Holzes für effiziente und wirtschaftliche Konstruktionen überzeugen können und kann mir gut vorstellen, dass dieses erstaunliche Naturprodukt im Brückenbau noch eine große Zukunft hat, vorausgesetzt man wird sich seiner überragenden Eigenschaften wieder bewusst und unterzieht sich der naturgesetzlichen Disziplin des Konstruierens mit diesem einzigartigem Baustoff, was allerdings einigen Aufwand und Gehirnschmalz bei der Planung erfordert.

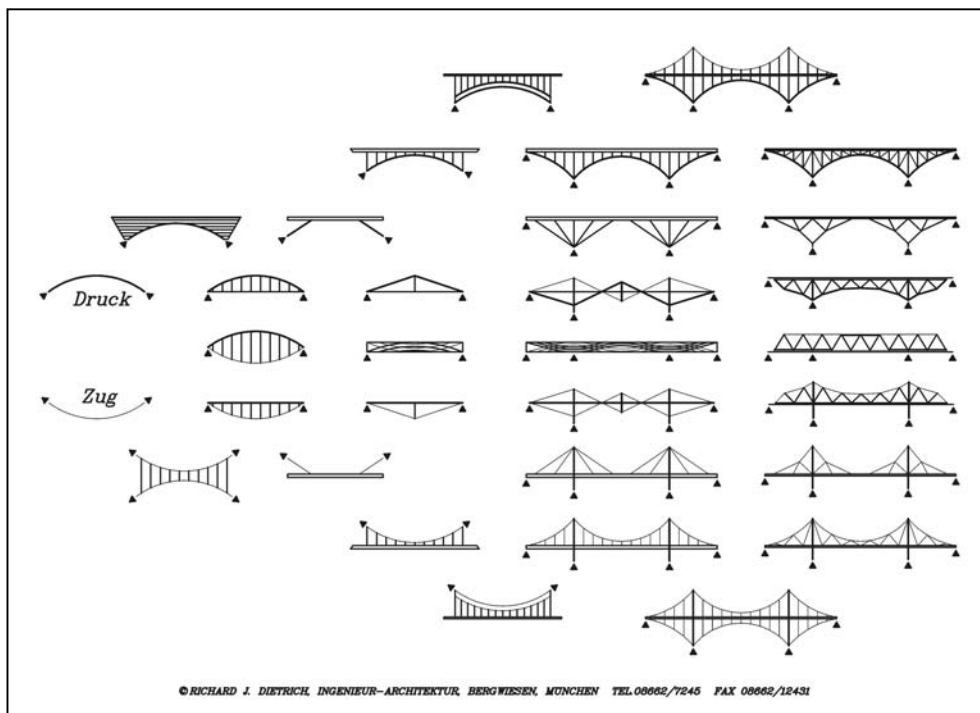


Abbildung 4: Repertoire der Tragwerksysteme

2 Brücken konstruieren und gestalten mit Holz

Das Tragwerk ist das entscheidende Gestaltungsmittel bei einer Brücke. Ein richtig konstruiertes Tragwerk ist Voraussetzung für eine gut gestaltete Brücke, aber eine richtige Konstruktion ist noch keine Garantie für Schönheit. Umgekehrt kann eine schlecht konstruierte Brücke nicht durch allerhand Beiwerk zu einer schönen Brücke hochstilisiert werden. Es bedarf nicht nur einiger schöpferischer Phantasie, sondern auch profunder Kenntnisse der Grundkomponenten Material, Struktur und Form. Das Ziel ist eine aus diesen Komponenten entwickelte ganzheitliche Gestalt, die sich der Umgebung am Standort einfügt.

Grundsätzlich sind Brückentragwerke lineare und gerichtete Systeme, das heißt sie überbrücken, als lang gezogene Struktur einen Zwischenraum, eine gewisse Spannweite zwischen zwei Widerlagern bzw. Pfeilern, insofern kommen nicht alle überhaupt denkbaren Tragwerksysteme in Frage.

Andererseits werden die möglichen Systeme von der Art der Baustoffe bestimmt, wir unterscheiden Materialien nach ihrer Druck- und/oder Zugfestigkeit und nach ihren strukturellen Eigenschaften.

Holz kann als stabförmige Struktur sowohl Druck- als auch Zugkräfte aufnehmen. Entsprechend können Holzprofile sowohl für druckbeanspruchte, als auch für zugbeanspruchte Konstruktionen oder Konstruktionsteile eingesetzt werden.

Die Grundstruktur des Holzes als Baustoff ist entweder stab- oder scheibenförmig, Balken oder Bretter. Holzbaustoffe sind „formaktiv“, das heißt sie müssen dem Kraftfluss folgend im Tragwerk eingesetzt werden, womit Struktur und Form eines Tragwerks bestimmt werden.

Die einfachste Strukturform für spannweiten überbrückende Konstruktionen ist der gerade Biegebalken, der Zug und Druck in einem Querschnitt aufnimmt. Man kann den Balken aber auch durch Wölbung zu einem Druckbogen machen oder aber umgekehrt bei entsprechendem Durchhang zu einem Zugband. Letztere Strukturformen ermöglichen wesentlich schlankere Querschnitte und größere Spannweiten als gerade Biegebalken.

Daneben gibt es die Möglichkeit den Balken aufzulösen in Form von kombinierten Stabwerken, in welchen Zug- und Druckkräfte auf stabförmige, gegeneinander verstreute Elemente verteilt werden, Sprengwerke, Hängewerke, Fachwerke.

Durch Verleimung können aus Brettern bzw. Lamellen auch plattenförmige Bauteile hergestellt werden. So sind noch weitere Strukturformen möglich, zum Beispiel Vollwandträger auch blockverleimte Platten. Letztere Strukturformen entsprechen im gewissen Sinne jedoch nicht der stabförmigen Grundstruktur des formaktiven Baustoffs Holz.

Andererseits sind Kombinationen von Holz mit anderen Materialien wie Stahl oder Beton im modernen Ingenieur-Holzbau möglich und zunehmend auch üblich.

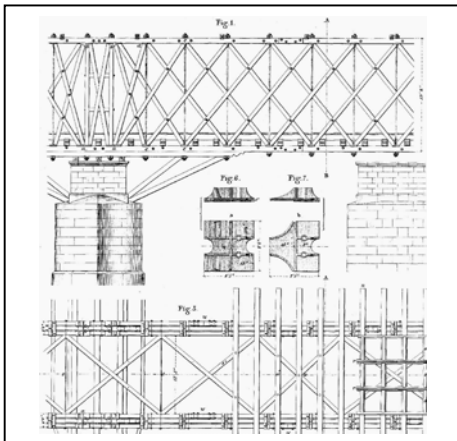


Abbildung 5

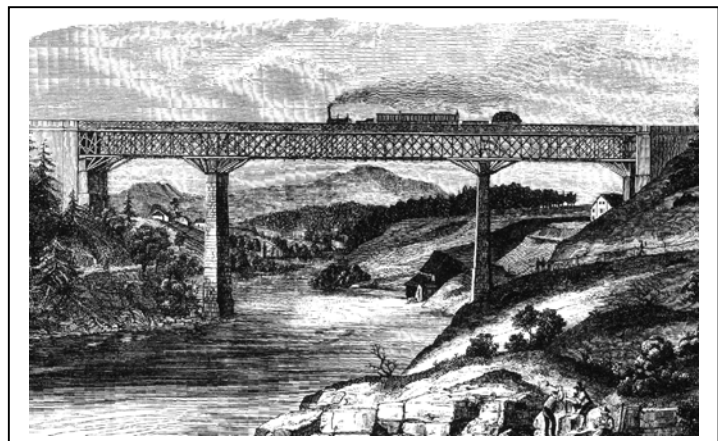


Abbildung 6

Der bekannte und im 19. Jahrhundert weit verbreitete „Howesche-Träger“ ist ein frühes und überzeugendes Beispiel für eine intelligente und innovative Kombination von Holz und Stahl. Um die damals im Holzbau besonders problematischen Zugverbindungen zu umgehen, spannt Howe seine Stabwerke mit Eisenstangen zusammen. Die Holzstäbe werden dadurch ohne weitere Befestigung in gusseiserne Schuhe gedrückt. Die Konstruktion war sehr effizient, gut montierbar und konnte nachträglich ausgerichtet werden. Die empfindlichen Holzstäbe waren leicht auswechselbar. Das System fand sogar für viele hoch belastete Eisenbahnbrücken Anwendung. Howe's Ansatz ist auch heute im Holzbrückenbau bei schwierig lösbaren Knotenproblemen immer noch vorbildlich.

3 Beispiele innovativer Brücken von Heute

Eine eigene Arbeit zeigt eine andere Variante einer solchen Kombination von Stahl und Holzelementen. Die in diesen Tagen fertig gestellte neue Holzbrücke über die Isar bei Oberföhring in München wird getragen von seitlichen Fachwerkstrukturen mit Holzgurten und Holzpfosten. Die Diagonalen sind aus Stahl. Die Knoten im Brennpunkt der Kräfte, wo alle Stäbe auf engem Raum zusammen kommen sind aus Stahlguss. Die Gurte und Pfosten sind mit Kopfelementen ebenfalls aus Stahlguss mittels Bolzen an die Knotenscheiben angeschlossen.



Abbildung 7: Neue Holzbrücke über die Isar bei München - Oberföhring

Die Holzstäbe sind aus Lärchenleimholz rund gefräst. Die Rundform ist von Motiven des Standortes abgeleitet. Es handelt sich um eine „Parkbrücke“ im Englischen Garten, umgeben von dichtem Baumbestand und Bäume sind nun mal rund. Die runden Stäbe sind aber auch konstruktiv als reine Druck- und Zugstäbe begründet, außerdem läuft Regenwasser auf runden Stäben leichter ab. Die Stahl-Holz-Kombination ermöglicht eine besonders filigrane Struktur, die sich transparent in die Umgebung einfügt.



Abbildung 8: Isarbrücke Oberföhring, Vormontage



Abbildung 9: Knoten-Detail

Ein anderes für die Kombination von Holz und Stahl oder auch Beton prädestiniertes Problem ist bei größeren Straßenbrücken die Konstruktion der Fahrbahntafel. Hier kann Holz für größere Querspannweiten überfordert sein. Auch lässt sich ein abgedichteter Asphaltbelag schlecht mit einer hölzernen Unterlage verbinden.

Hier bietet sich der Einsatz von Fahrbahntafeln oder Decks aus Stahl oder aus Holz in Verbund mit Stahl und / oder Beton an.

Ein interessantes Beispiel aus neuester Zeit ist hier die „Vihantasalmi-Brücke“ in Finnland von 1999. Hier tragen klassische Hängewerke oder „King-Post-Trusses“ aneinander gereiht eine Holz-Stahl-Beton-Brückentafel über drei Felder von jeweils 42 m Spannweite. Die Druckstäbe bestehen aus Leimholzbalken, die Hänger aus Stahlstäben.



Abbildung 10: „Vihantasalmi-Brücke“ in Finnland, Haupttragwerk Holz und Stahl

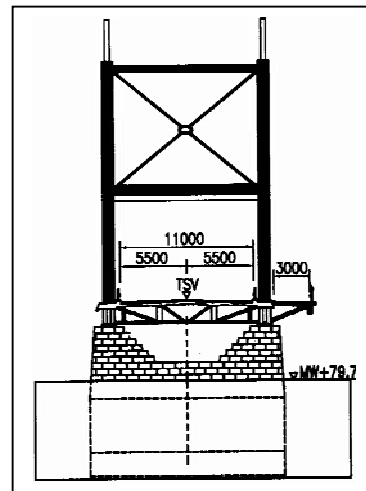


Abbildung 11: Brückentafel Mischkonstruktion aus Holz, Stahl und Beton

Eine eigene Arbeit, die wir zur Zeit in Planung haben, zeigt ähnliche Grundzüge, eine neue Brücke über die Loisach in Eschenlohe. Hier liegt die Umgebung mit alten Bauernhäusern eine überdachte Holzbrücke nahe. Es handelt sich aber um eine Straßenbrücke der Klasse 60/30 mit relativ breitem Querschnitt, 6 m Fahrbahn und zweiseitig 2 m Gehwege. Ein Dach über das Ganze wäre zu monumental, daher eine Teilung, wobei nur die Gehwege überdacht und gleichzeitig die eigentlichen Haupttragwerke aus Holz geschützt werden.

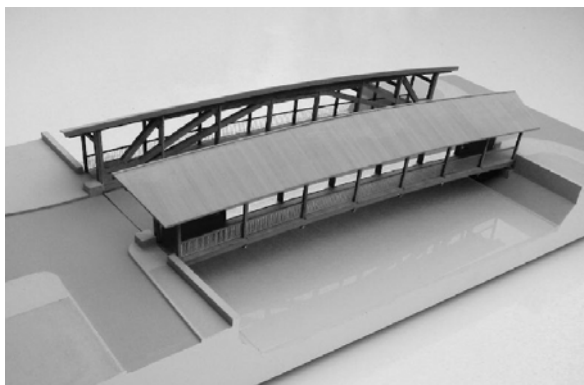


Abbildung 12: Loisachbrücke Eschenlohe

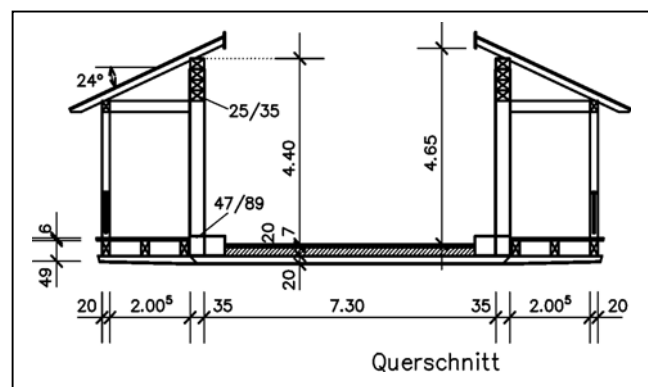


Abbildung 13: Modellansicht und Querschnitt

Das Tragwerkssystem ist wie bei der „Vihantasalmi-Brücke“ aus dem klassischen Repertoire genommen, ein echtes Sprengwerk. Dies ist immer noch eine sehr sinnfällige und elegante Konstruktion.

Das Fahrbahndeck ist aus oben genannten Gründen und weil praktisch keine Konstruktionshöhe zwischen Hochwasserfreibord und Straßenanschlüssen zur Verfügung steht in Stahl-Beton-Verbund konstruiert und an den Holztragwerken aufgehängt. Die auskragenden Gehwege sind in Holz konstruiert.



Abbildung 14: Straßenbrücke aus Holz über die Isar



Abbildung 15: Isarkanal in München - Thalkirchen

Eine andere hier wohl schon bekannte Arbeit ist meine Thalkirchner Brücke. Das Tragwerk dieser Straßenbrücke ist im Brückenbau neuartig. Ein räumliches Fachwerk über die ganz Breite der Brücke ist noch nirgends ausgeführt worden, allenfalls kamen Dreigurtbinder aus Stahl im Brückenbau zur Anwendung.



Abbildung 16: Brücke München-Thalkirchen, Raumfachwerk



Abbildung 17: Detail Knotenausbildung

Es handelt sich bei der Thalkirchner Brücke um ein konsequentes Flächentragwerk das mit einer Einzelspannweite von 13,4 m und einer Breite von 11,2 m über die ganze Länge der Brücke zwischen den Widerlagern durchläuft. Über den Pfeilern statisch konsequent erhöht ergibt sich eine bogenförmige Ansicht. Für die Knoten des Raumfachwerks, also in den Brennpunkten der Kräfte sind konsequenterweise Stahlelemente verwendet.

Für die komplizierte Knotengeometrie und die dynamische Belastung habe ich ein System aus geschmiedeten Kugeln und Stahlgussköpfen entwickelt, die mit hochfest vorgespannten Schrauben verbunden sind.

Das in allen Feldern geometrisch gleiche Raumfachwerk besteht aus Fichten-Leimholz-Stäben mit nur drei verschiedenen Querschnitten und entsprechenden Stabköpfen und vier verschiedenen Längen. Durch diese konsequente Standardisierung der Einzelteile war eine wirtschaftliche Ausführung des komplizierten Bauwerks möglich. Das Haupttragwerk ist durch eine dichte Brückentafel vor Witterungseinflüssen geschützt. Unter der Fahrbahn kam eine Blechtafel zum Einsatz auf welcher sich der Asphaltbelag problemlos aufbauen ließ.



Abbildung 18: Brücke München-Thalkirchen,
Fahrbahnunterbau aus Stahlblech



Abbildung 19: Gleitlagerung

Die Konstruktion erwies sich in der Folge als äußerst gutmütig unter viel zu hohen Verkehrslasten. Aus politischen Gründen wurde schon für den Entwurf die Verkehrslast auf 3t beschränkt, um schweren Verkehr aus diesem empfindlichen städtischen Erholungsraum an der Isar heraus zu halten. Nach Fertigstellung aber fuhren ständig schwere und überschwere Fahrzeuge darüber und jetzt gibt es ominöse Schilder, die Einsturzgefahr androhen, weil dem Amt nichts besseres einfiel, als sich selbst der Errichtung einer einsturzgefährdeten Brücke zu bezichtigen. Wie dem auch sei, jedenfalls haben verschiedene Kritiker und auch Stimmen aus der Bevölkerung dieser Brücke bestätigt, dass hier Material, Struktur und Form zu einer gelungenen Gestalt vereint wurden, die sich der schönen Flusslandschaft in diesem Münchner Erholungsgebiet vorteilhaft einfügt.



Abbildung 20: Spannbandbrücke über den Main-
Donau-Kanal bei Essing



Abbildung 21: Ansicht 2004

Abschließend möchte ich noch auf die hier ebenfalls schon bekannte Spannbandbrücke bei Essing über den Main-Donau-Kanal kommen.

Diese Brücke ist zwar die älteste und die erste meiner Holzbrücken, aber immer noch die spektakulärste und auch innovativste, deshalb soll sie hier am Schluss stehen. Ich muss in diesem Rahmen bei dieser bekannten Brücke nicht auf Einzelheiten eingehen und möchte nur einiges in diesem Zusammenhang Wesentliches herausstellen.

Der Baustoff Holz ist hier konsequent in seiner effizientesten Strukturform als Zugband eingesetzt. Im Hauptfeld überspannt die Brücke 75 m. So ergibt sich aus der optimierten Kombination von Stoff, Struktur und Form eine ungewohnte, überraschende Gestalt, die sich wie selbstverständlich in die umgebende Landschaft einfügt.

Das Konstruktionsprinzip eines hölzernen Spannbandes im Brückenbau ist, wie oben erwähnt schon im 19. Jh. vorgeschlagen worden. Es gab auch schon Spannbandbrücken aus Beton aber in Holz war eine solche Spannbandbrücke noch niemals gebaut worden. Dies machte im Vorfeld der Verwirklichung umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten nötig. Nicht nur bei den statischen und dynamischen Berechnungen mussten neue Wege gegangen werden, sondern auch im Detail musste durch Versuche die Machbarkeit nachgewiesen werden.

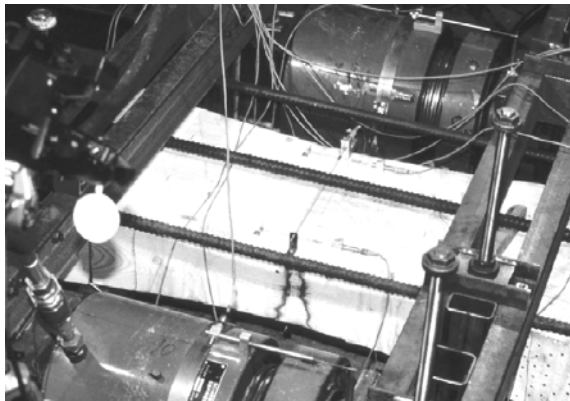


Abbildung 22: Spannbandbrücke Essing, Keilzinkenstoß



Abbildung 23: Zerreißprobe im Labor

Um das aus neun parallelen Balken bestehende Spannband über 190 m kontinuierlich aus Holz herzustellen, mussten jeweils 40 m lange Teilstücke mittels Keilzinken-Stößen an der Baustelle zusammen geleimt werden. Die Tragfähigkeit dieser Keilzinken-Stöße war in dieser Größenordnung nicht belegt und musste durch Zerreißproben im Maßstab 1:1 im Labor getestet und später auch im Einbauzustand noch einmal überprüft werden. Ein finaler Belastungstest mit Wasser gefüllten Containern auf der Brücke brachte schließlich die letzte Sicherheit.



Abbildung 24: Spannbandbrücke Essing, Ausführung der Keilzinkenstöbe



Abbildung 25: Biegezugtest nach Fertigstellung der Stöße

Das äußerst schlanke Brückenband musste als Modell im Windkanal auf seine Anfälligkeit gegen windangeregte Schwingungen untersucht werden.

Ich muss allen Beteiligten vom Bauherrn der Rhein-Main-Donau AG angefangen, über den Ingenieur Dr. Brünninghof und die anderen Sonderfachleute bis zur ausführenden Firma Huber & Sohn sehr dankbar sein für ihren außerordentlichen Einsatz bei dieser außergewöhnlichen

Brücke. Die Verwirklichung des Bauwerks hat schließlich fast 7 Jahre gedauert und auch einen erheblichen finanziellen Einsatz seitens des Bauherrn gefordert, der in die Baukosten einging.

Inzwischen ist die Brücke unbeeinträchtigt fast 20 Jahre in Betrieb. Zugegebenermaßen aber ist doch ein Detailproblem aufgetreten. Im bewitterten, das heißt dem Regen und auch der Sonne ausgesetzten Bereich der Holzkonstruktion haben sich die hier mehrfach verwendeten Nagelplattenanschlüsse nicht bewährt. Durch die vielen Löcher und Nägel gelangt Feuchtigkeit ins Innere des Holzes und kann nicht mehr hinaus. An diesen Stellen tritt dann von innen heraus Fäulnis auf. An den betroffenen, bewitterten Bereichen waren und sind noch immer einige Reparaturen nötig.

Auch der geringe Überstand der abdeckenden Platte unter der Gehbahn über dem Haupttragwerk ist zu gering. Die Sonneneinstrahlung hat auf der Westseite tiefere Risse in den Außenflanken des äußeren Spannbandbalkens entstehen lassen. Um hier weitere witterungsbedingte Probleme zu vermeiden hat man sich zu einer durchgehenden Verkleidung mit Bootssperrholz entschlossen.

Besser wäre es allerdings gewesen die Abdeckung weiter überstehen zu lassen, wie das bei der Thalkirchner Brücke der Fall ist. Hier sind auch keine Nagelblech Verbindungen verwendet, sondern nur Schlitzbleche und Dübel. So haben sich nach den inzwischen 13 Jahren ihres Bestehens auch im Detail keine Schäden gezeigt. Auch die frei bewitterten Teile des Nebentragwerks und des Geländers sind so konstruiert, dass hier bisher keine Schäden aufgetreten sind.

Beim Entwurf der späteren Holzbrücken in Oberföhring und auch in Eschenlohe sind die Erfahrungen dieser früheren Brücken eingeflossen, sodass hier wohl mit einer reparaturarmen Dauerhaftigkeit zu rechnen ist, auch wenn diese Brücken aus Holz bestehen. Eine gewisse Pflege ist jedoch bei allen Brücken, auch wenn sie aus Beton sind, notwendig. Diese Pflege wird leider allenthalben sehr vernachlässigt.

Holz ist bei entsprechender Verwendung in Struktur und Form immer noch ein interessanter Brückenbaustoff mit Zukunft, vorausgesetzt einige Vorurteile bei den Bauherren werden ausgeräumt und die planenden Architekten und Ingenieure sind bereit mehr Arbeit, als bei Betonbrücken in den Holzbrückenbau zu investieren.

Literatur

J. E. Gordon, „Strukturen unter Stress, mechanische Belastbarkeit in Natur und Technik“ Bibliothek Spektrum der Wissenschaft, Band 21, Heidelberg, 1996

Richard J. Dietrich, „Faszination Brücken, Baukunst, Technik, Geschichte“ Callway München 1998, 2. erw. Auflage 2001