

Die Holzkuppel von St. Quentin: Die Gestaltung des Rippengeflechts erfolgte nach Berechnung mit mathematischen Lösungsalgorithmen.

Lesen Sie dazu den Artikel auf den Seiten 6 bis 8.

FOTO: FLACH, TU INNSBRUCK

## FORM

**2** NEUE LEHRSTÜHLE HOLZBAU  
UND BIO-BASED FIBRE MATERIALS

**6** DIE FORM  
VON HOLZBRÜCKEN

**14** FORM FOLLOWS  
WOOD

# HOLZ > BILDUNG > FORSCHUNG

DAS  
WISSENSCHAFTS-  
MAGAZIN FÜR DIE  
HOLZWIRTSCHAFT

05.2004

56. JAHRGANG  
ISSN 1812-6928

## DIE FORM VON HOLZBRÜCKEN

Brücken werden im Allgemeinen als Ingenieurbauten betrachtet, die nach den Gesetzen der Statik gestaltet werden. Anhand von zwei Beispielen – der Brücke von Crest in Frankreich und der geplanten Brücke über die Drau in Österreich – möchte ich zeigen, dass auch bei Brücken das Teamwork Architekt-Ingenieur funktionieren muss, um ästhetisch und technisch anspruchsvolle Bauwerke zu erstellen.

Während üblicherweise die gemeinsame Entwurfsarbeit von Anfang an einsetzt – wie bei der Brücke von Crest – so wurde bei der Draubrücke das Pferd sozusagen von hinten aufgezaumt: Aus einer architektonischen Formvorgabe

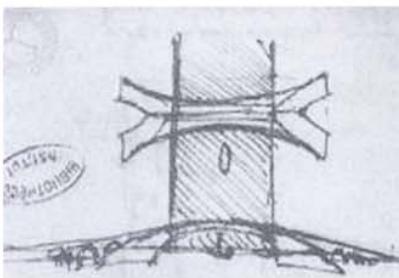
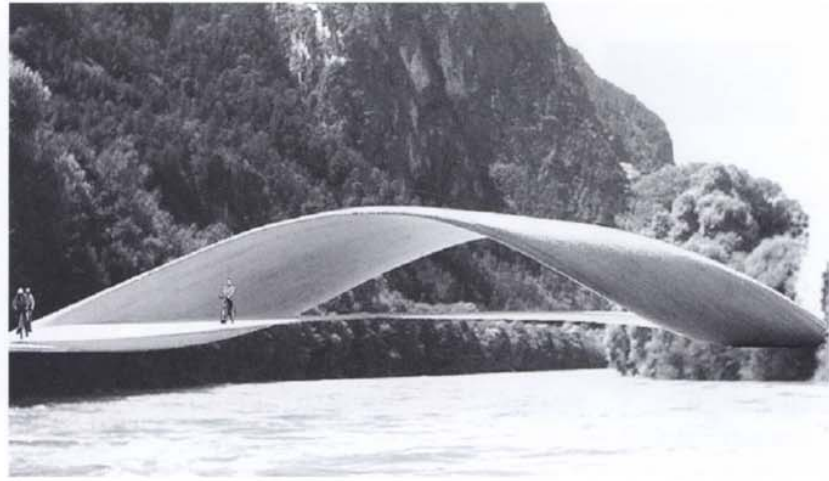


BILD 1: SKIZZE VON LEONARDO DA VINCI AUS DEM 15. JAHRHUNDERT, VORSCHLAG FÜR EINE 346 M WEITE ÜBERSPANNUNG DES GOLDENEN HORNS. DIE RICHTIGKEIT DER FORM BESTÄTIGTE SICH, ALS DIESER ENTWURF 500 JAHRE SPÄTER IN NORWEGEN NACHGEBAUT WURDE



FOTOS: FLACH

BILD 2: WETTBEWERBSVORSCHLAG DER DRAUBRÜCKE VON GEORG STEINKLAMMER, ARCHITEKT UND STEFAN TAGGER, INGENIEUR

entstand ein Tragwerk im Nachhinein. Diese Vorgangsweise hat durchaus ihren Reiz und führt ebenfalls zu bemerkenswertem Erfolg, setzt aber hohes technisches Können, einen Griff in die Trickkiste und Flexibilität bei allen Beteiligten voraus. In diesem Fall hat es zumindest zu einem spektakulären Projekt geführt, dessen erfolgreicher Abschluss erst durch die bauliche Verwirklichung bestätigt werden muss.

### Form und Struktur von Brücken

Die Formgestaltung von Tragwerken besteht grundsätzlich darin, Form und Struktur so zu verbinden, dass die Form die Funktionen des Tragwerks zum Ausdruck bringt. Dadurch ergeben sich Bauwerke, deren Erscheinungsbild ablesbar und verständlich ist und auch die Materie Ressourcen-sparend und wirtschaftlich eingesetzt wird. So erfolgt es zumindest in der Natur bei jedem biologischen Wachstum, wo Form und Struktur eine perfekte Einheit bilden.

Zu den bekanntesten Verfechtern dieses Prinzips gehören Le Corbusier (hat immer die Kooperation mit Ingenieuren und Konstrukteuren geschätzt), Luigi Nervi („Form ist gleich Struktur“) und Santiago Calatrava (seine Strukturvorstellungen sind inspiriert von organischen Lebensformen, die das Statische und das Dynamische verbinden). Sie verstanden es, Form und Struktur zu einem harmonischen Ganzen mit der doppelten Fähigkeit eines Architekten und eines Ingenieurs zu entwickeln. Zu Zeiten von Leonardo da Vinci und Galilei Galileo vereinte der Baumeister noch das gestalterische und das technische Wissen (Bild 1).

Die Trennung dieser beiden Funktionen in der Gestalt des Architekten einerseits und des Ingenieurs auf der ande-

ren Seite führte teilweise zu einem Unverständnis von Form und Struktur und machte es notwendig, dass Architekten und Ingenieure im Team arbeiten. Besonders bei technischen Bauten wie Brücken mit großen Spannweiten und schweren Lasten, die oft an die Grenzen der Machbarkeit gehen, ist eine technisch orientierte Formgestaltung unumgänglich. Meist waren es Ingenieure wie Maillart, Eiffel, Finsterwalder oder Schlaich, die die Gestaltung ihrer Brücken prägten. Bemerkenswert ist, dass die Anerkennung dieser Bauwerke weniger von Seiten der Ingenieurwissenschaften als von kunstinteressierten Kreisen kam.

Der Einfluss der Architektur auf den Brückenentwurf wurde in den vergangenen Jahren erneut von den großen Meistern wie Santiago Calatrava oder Norman Foster (Viadukt von Millau/FR) beeindruckend zur Schau gestellt. Dies beweist, dass hochtechnische Bauten auch hohe architektonische Anforderungen erfüllen müssen.

Meine eigene Erfahrung als Ingenieur, der sich für Architektur und gestalterische Fragen interessiert, hat gezeigt, dass nur die Zusammenarbeit mit Architekten zu vollkommen optimalen Lösungen führt, bei denen Gestaltung, Technik, Design und Ausführung miteinander harmonieren. Trotz einiger gelungener Brücken, die ich ohne das Mitwirken von Architekten geplant habe, fehlte dabei das Tüpfelchen auf dem „i“, das ein guter Architekt im Fingerspitzengefühl hat.

### Die Brücke von Crest

Umso mehr war ich vom Entwurf der Brücke Crest [1] angetan, die in intensiver Teamarbeit mit dem Architekten Yves Perret entstand. Der Bauherr ließ uns freie Hand. Wir verpflichteten uns in der

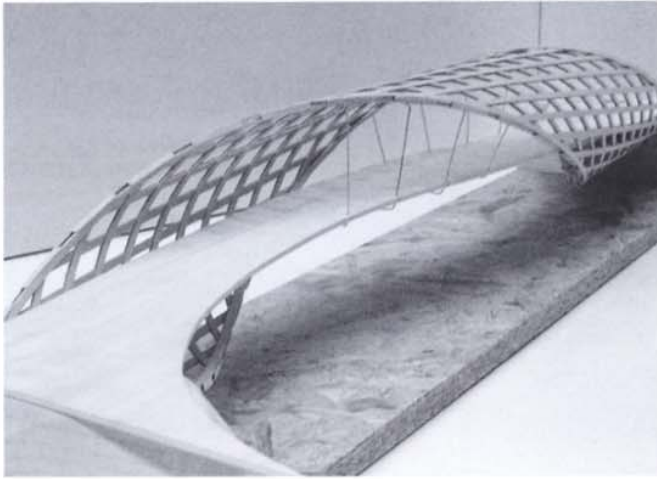


BILD 3: DRAUBRÜCKENMODELL EINER HOLZRIPPENSCHALE ALS VORSCHLAG DER UNIVERSITÄT INNSBRUCK FÜR EIN KONSTRUKTIVES SYSTEM



BILD 4: RIPPENSCHALE IN SAINT QUENTIN – DIE AUSGESTALTUNG DES RIPPENGEFLECHTS ERFOLGTE MIT CAD-PROGRAMMEN

Vorprojektphase, unterschiedlichste Varianten vorzustellen, aus denen wir zusammen mit dem Bauherrn die geeignete Lösung auswählten. Ich wusste, dass die persönliche Handschrift des Architekten in das Organische und das verspielt Symbolhafte ging, Perret kannte meine Vorliebe für verzweigte Baumstrukturen und räumlich aufgelöste Tragwerke.

Im Laufe der ersten Handskizzen entstanden Ungeheuer, die aus dem Fluss auftauchten, verschiedene Tiergestalten, die einen Brückentisch abspannten und Bäume, die aus dem Wasser ragten. Nach einer ersten Eingrenzung der Entwurfsideen konzentrierten wir uns auf optimale Proportionen, die hydraulischen Randbedingungen und die Abstimmung der Feldweiten (Bild 7).

In zahlreichen Vergleichsberechnungen wurden die Verstreibungen und die Abstufung der Querschnitte optimiert. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen und Kostenberechnungen bestätigten schließlich, dass Form und Struktur zusammenpassten und Arbeitsmodelle überzeugten den Bauherrn davon, dass er für sein Geld das Beste bekam (Bild 8).

### Die Draubrücke in Brettstapelbau

Im Vergleich zum üblichen Entwurfsprozess der Crestbrücke verlief die Planungsphase der Draubrücke zwischen Tirol und Kärnten ganz anders. Georg Steinklammer, ein talentierter Architekt aus Osttirol, schuf aus einer übermutigen Stimmung heraus ein künstlerisches Brückenwerk für einen Wettbewerb, das prompt die Aufmerksamkeit der Jury auf sich zog (Bild 2).

Verunsichert durch die unkonventionelle Form des Tragwerks wendete sich die Landesbaudirektion mit der Bitte an mich, über die Machbarkeit dieses Vor-

schlags zu befinden. Angesichts der besonderen Herausforderung beurteilte ich die Chancen groß, aus diesem Kunstwerk ein Tragwerk zu machen, unter der Bedingung, dass gewisse Anpassungsmaßnahmen erfolgen und der Budgetrahmen großzügiger gestaltet werde.

Im Vergleich zum vorher beschriebenen Projekt war der Handlungsspielraum angesichts der verbindlichen Vorgaben aus dem Wettbewerb enger. Es galt, erst einmal ein konstruktives Konzept zu erstellen und dieses entsprechend der geometrischen Vorgabe zu adaptieren (Bild 3).

Die Notwendigkeit einer Anpassung der Form bestätigte sich, als die Berechnungen am Wettbewerbsmodell unzulässige Verformungen und überdimensionale Querschnitte ergaben. Das lag im Wesentlichen daran, dass die Stützlinien, die den Randträgern der Schale folgten, ins Leere liefen und sich nicht abstützen konnten, ohne große Biegekräfte und starke Verformungen hervorzurufen.

Für die Holzrippenschale bot sich die Brettstapelbauweise an, die den Vorteil hat, dass die Knotenpunkte durch einfaches Kreuzen der Brettlagen ohne Stahlknoten ausgeführt werden können und somit wirtschaftlich sind. Allerdings setzt diese Technik voraus, dass die Holzlamellen nicht um die starke Achse gebogen werden dürfen und in den Knotenpunkten in der Schalenebene liegen müssen. Um diese Anforderungen zu erfüllen, müssen die Rippenachsen auf sogenannten „geodätischen Trajektorien“ verlaufen. Bei einfachen geometrischen Flächen wie Zylinder- oder Kugelflächen können solche Linien mittels CAD-Programmen konstruiert werden. Im Fall der



BILD 5: DIE URSPRÜNGLICHE FORM, WIE SIE IM WETTBEWERB VORGESCHLAGEN WURDE



BILD 6: OPTIMIERTER TRAGWERKS-ENTWURF, DER DEM TRAGWERK EINE AUSREICHENDE STEIFIGKEIT VERLEIHT

Lesen Sie weiter auf Seite 8



BILD 7: DIE BRÜCKE VON CREST

Fortsetzung von Seite 7

Draubrücke handelte es sich allerdings um eine Torusform<sup>2</sup>, so dass die Linienführung der Holzrippen nur mathematisch bestimmt werden konnte.

In seiner Diplomarbeit entwickelte Andreas Walter zur gleichen Zeit an der Universität Innsbruck in Zusammenarbeit mit Univ.-Prof. Manfred Husty und unserem Holzbaulehrstuhl ein Programm, mit dem der geometrische Verlauf solcher Kurven für Freiformflächen berechnet werden konnte (Bild 4).

Es wurde zuerst die Geometrie des Wettbewerbsmodells erfasst und analysiert. Die Erkenntnisse aus den entsprechenden Modellberechnungen führten anschließend zu einer Anpassung der Schalenform an die statischen Anforderungen. Sobald diese erfüllt waren, bestimmte Walter mit seinem Programm

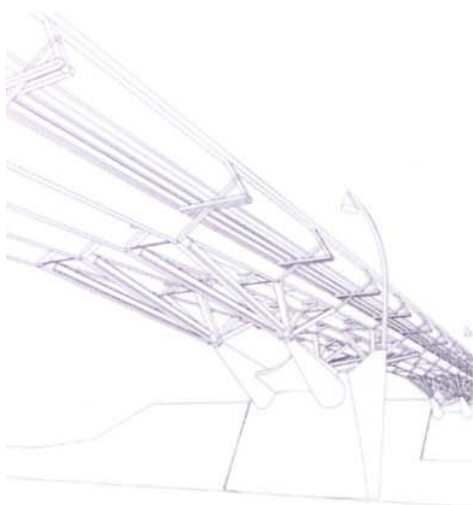


BILD 8: AXONOMETRIE DES CAD-MODELLS DER BRÜCKE VON CREST

den Verlauf der geometrischen Linien. Wie aus seiner Diplomarbeit [2] hervorgeht, erfolgte die Berechnung des Kurvenverlaufs über Differentialgleichungen mit Hilfe des Programms Maple. Nachdem die Linien nicht als Funktionen, sondern in Form einer Punktwolke vorlagen, mussten die Schnittpunkte sowie die Knoten der Schale numerisch bestimmt werden (Bild 5).

Es wurde versucht, die neue Geometrie so festzulegen, dass sich die spiralförmige Torusschale an den Auflagern in geeigneter Form abstützen konnte, um die angehängten Lasten des Brückentisches aufzunehmen. Nachdem dies nur mit einer deutlichen Veränderung der ursprünglichen Form möglich gewesen wäre, mussten die Auflagerbedingungen neu überarbeitet werden. Durch eine ausgeklügelte Form des Widerlagers, das mit einem verlängerten Kragarm bis in den Brückentisch hineinreicht und einer leichten Streckung sowie einer zusätzlichen Überhöhung der Schalenform konnten die Verformungen um ein Vielfaches verringert werden (Bild 6).

So gelang es schließlich, die ursprüngliche Idee weitgehend zu bewahren, auch wenn dazu ein gewisser Kraftakt nötig war, um aus der vorgegebenen Form ein Tragwerk zu entwickeln.

#### Form + Tragwerk, Architekt + Ingenieur

Wie diese beiden Beispiele zeigen, sind Form und Tragwerk unzertrennliche Voraussetzungen für Brückentragwerke. Dazu ist es notwendig, dass im Entwurfsprozess Architekt und Ingenieur eng zusammenarbeiten, wobei die Teilnahme eines versierten Architekten beim Brückenentwurf eine wesentliche Bereicherung darstellt.

Eine nachträgliche Hinzunahme des Ingenieurs geht allerdings meistens ins Auge, da die technischen Anforderungen die Form von Tragwerken weitgehend bestimmen.

Am Beispiel der Draubrücke hat sich allerdings gezeigt, dass stark vom Design geprägte Formvorgaben zu außergewöhnlichen Projekten führen können. Diese würden vermutlich nicht entstehen, wenn sie, wie üblich, von der Tragwerksplanung ausgegangen wären. Dieses Zustandnis hat allerdings einen Preis. Er macht sich dann bezahlt, wenn die Anziehungskraft, die diese Brücke ausübt, die Mehrkosten durch Rückwirkungen auf den Tourismus kompensiert.

> Univ.-Prof. DDI Michael Flach,  
> DI (FH) Patricia Spormann,  
Technisches Sekretariat des Institutes für Stahlbau, Holzbau und Mischbau-Technologie an der Leopold-Franzens-Universität in Innsbruck  
Tel. +43 (0) 512/507-6885  
Patricia.Spormann@uibk.ac.at

#### Fußnoten

- 1 Einfach gekrümmte Linienführung, die am kürzesten Weg zwei Punkte auf einer Oberfläche verbindet
- 2 Ein Torus bezeichnet die geometrische Form eines Rings oder Reifens

#### Literaturverzeichnis

- [1] Flach M., Frenette C.D., "Le retour du bois", Traces, no128-12, Lausanne, 2002, pp.18-23
- [2] Andreas Walter, geodätische Rippenschalen im Holzbau, Diplomarbeit an der Universität Innsbruck 2003