

# 2

89. Jahrgang  
Februar 2012, S. 83–88  
ISSN 0932-8351  
A 1556

Sonderdruck

# Bautechnik

Zeitschrift für den gesamten Ingenieurbau



## Kunstbauten – Ingenieurkunst

Christian Ommert  
Steffen Marx

# Kunstbauten – Ingenieurkunst

In den Dienstvorschriften (DV) der Deutschen Reichsbahn, den Dienstsachen (DS) der Deutschen Bundesbahn und bis zum Jahr 2006 auch in der RIL 809 der heutigen Deutschen Bahn wurden Brücken, Tunnel, Unterführungen und sonstige konstruktive Ingenieurbauwerke unter dem Oberbegriff Kunstbauten zusammengefasst. Auch in der Schweiz und in Österreich ist der Begriff sowohl für Straßen- als auch Eisenbahnbrücken weit verbreitet. Ursprünglich aus dem Wortgebrauch „künstliches Bauwerk“ abgeleitet, beinhaltet die heutige Lesart einen starken Zusammenhang zur Ingenieurkunst und zur kreativen Leistung des Entwurfsprozesses von Ingenieurbauwerken. Es wird der Frage nachgegangen, was Kunstbauten auszeichnet und worin als Äquivalent dazu die Kunst des Ingenieurs besteht.

Was bedeutet Ingenieurkunst im konstruktiven Ingenieurbau heute, welche Bedingungen liegen dazu vor und unter welchen Voraussetzungen kann sie im Besonderen im Brückenbau ihrem Wortsinn gerecht werden? Anhand von Beispielen aktueller Bauwerke werden die Schwierigkeiten und deren Lösung dabei aufgezeigt.

**Keywords** Kunstbauten; Ingenieurkunst; Brücken; Entwurf; Innovation; Nachhaltigkeit

## Structural art – the art of engineers.

In former codes and guidelines of the German Railway, bridges, tunnels, underpasses and other engineering structures are summarized under the general term “Kunstbauwerke” (“Artistic Structures”). In Switzerland and Austria, this term is still very commonly used for both, street bridges as well as railway bridges. Originally derived from the term “artificial structure” the contemporary interpretation contains also a strong relationship to structural art and to the creative process of the design of structures. The paper follows the question what distinguishes structural art and the art of engineers. What does structural art in bridge design mean today and which conditions and requirements have to be considered? Using actual examples, challenges and solutions in bridge design are illustrated.

**Keywords** engineering structures; structural art; bridges; design; innovation; sustainability

## 1 Kunstbauten gestern und heute

Betrachtet man die historischen, oftmals mit neoromanischen Elementen verblendeten Tunnelportale, die Detailgestaltung der Brückenüberbauten, vorzugsweise der Gehstegkonsolen mit den Geländern und die Gliederung der Unterbauten alter Bauwerke, kann der Begriff Kunstbauten für bewusst gestaltete, ihrer Bedeutung gerecht werdende Ingenieurbauwerke verstanden werden. Heute empfinden wir gerade diese alten, architektonisch ausgeformten und nach dem damaligen Zeitgeist verzierten Objekte als schön und bereichernd für das urbane oder ländliche Umfeld.

Im Besonderen die Brückenbauwerke mit ihrer Verbindungsfunktion über Hindernisse hinweg gehören zu den grundlegenden Ingenieurbauten in der Gesellschaft. Sie spiegeln die technischen und gesellschaftlichen Möglichkeiten zum Zeitpunkt ihrer Planung und Erstellung wider. Zugleich sind die Kunstbauten Ausdruck des Anspruchs, aber auch des Selbstbewusstseins der Bauherren und beteiligten Verwaltungen sowie Behörden (Bilder 1 und 2).

Ist aber die äußerliche Gestaltung der Ingenieurbauwerke, ihrer Fassade auch Ingenieurkunst im Sinne einer ingenieurtechnischen Leistung? Diese zeigt sich viel mehr in der gesamtheitlichen Bewältigung der gestellten Bauaufgabe und der angemessenen technischen Lösung dafür mit oft auch neuen Konstruktionen sowie Methoden in der Nachweisführung. Dabei ist es die Kunst des Ingenieurs, auf der Basis des Bewährten unter Abwägung der Risiken technisches Neuland zu betreten, die daraus resultierenden Herausforderungen anzunehmen, sie zu bewältigen und schließlich das Ergebnis zu verteidigen.

Ohne diese Ingenieurkunst wäre unsere gebaute Umwelt und hier der Brückenbau um ein Vielfaches ärmer, wie die Bilder 3 und 4 für Beispiele aus der Vergangenheit zeigen.

Die heutigen Rahmenbedingungen für Entwurf und Errichtung von Kunstbauwerken unterscheiden sich deutlich von denen vor 100 Jahren. Die technischen Möglichkeiten, die Verfügbarkeit moderner Hochleistungsbaustoffe, neue Technologien und rechentechnische Methoden geben den Ingenieuren alle Mittel für kreative und innovative Lösungen in die Hand.



**Bild 1** Portal Schürzebergtunnel  
Portal Schürzebergtunnel

Andererseits ist der Prozess der Projektentwicklung immer mehr dominiert von kaufmännischen Zwängen, Anforderungen aus dem Vergaberecht und – speziell bei Bahnbauwerken – vom sehr hohen Stellenwert baubetrieblicher Vorgaben sowie zunehmend von Anforderungen aus dem transeuropäischen Netz.

Hinzu kommt ein überbordendes nationales und europäisches Vorschriftenwerk. Möglichst jede noch so spezielle Fragestellung soll detailliert geregelt und gleichzeitig der moderne Stand der Technik umfassend widergespiegelt werden. In der praktischen Umsetzung führt das jedoch zu einem schier unüberschaubaren Umfang in der Nachweisführung, teilweise mit sich gegenseitig ausschließenden Forderungen, die jede Kreativität und Innovation im Entwurf bereits im Keim ersticken. Aber führt diese Vorgehensweise tatsächlich auch zu einer höheren Sicherheit der Bauwerke?

Regelwerke, insbesondere Richtzeichnungen und Typenplanung, müssen im Übrigen nicht im Widerspruch zur Ingenieurkunst stehen, sofern sie nicht sakrosankt sind. Die vielfältigen Aufgabenstellungen und eine angemessene ingenieurtechnische Reaktion darauf bringen auch im Detail eine Vielzahl technischer Lösungen hervor, sodass eine Monotonie der Bauwerke vermieden werden kann. Dabei endet die Ingenieurkunst nicht im Entwurf, sondern in dessen Durchsetzung in der geforderten Ausführungsqualität.

Die Ästhetik der technischen Lösung entsteht auch aus ihrem starken Bezug zum Ort und aus der Widerspiegelung der natürlichen und baulichen Randbedingungen. Gerade hier liegt die Quelle einer nahezu unerschöpflichen Lösungsvielfalt und gleichzeitig das wesentliche Kriterium für die Auswahl des richtigen Entwurfs für die jeweilige Situation.

Gleichzeitig beruht die Ästhetik von Kunstbauten auf deren Authentizität, d. h. der Ablesbarkeit der Tragwerksform und des Kraftflusses, unterstützt durch eine sorgfältige Abwägung der Bauwerksproportionen und Gestal-



**Bild 2** Pfeiler U-Bahnviadukt Berlin  
Column underground viaduct Berlin

tung im Detail. Andererseits erlauben gerade die heutigen technischen Möglichkeiten Konstruktionen, die sich dieser Bewertung entziehen. Signature Bridges, die mehr Skulptur als funktionales Brückenbauwerk sein wollen, mögen in besonderen Situationen ihre Berechtigung haben. Aber in den meisten Fällen sollte es die Aufgabe des Ingenieurs sein zu verhindern, dass sich Innovationsfreudigkeit und Gestaltungswille allzu sehr verselbstständigen.

Ingenieurkunst zeigt sich gerade auch im Verborgenen, bei unspektakulären Bauwerken, die keine Landmarke darstellen oder das urbane Umfeld dominieren. Hier liegt oftmals die Kunst des Ingenieurs darin, in einem durch vorhandene Leitungen und angrenzende Bebauung begrenzten Baufeld unter Aufrechterhaltung des Verkehrs ein neues Ingenieurbauwerk zu planen, baurechtlich durchzusetzen und schließlich auch in der erforderlichen gestalterischen und technischen Qualität zu erstellen. Der Ingenieur muss alle die Planung und den Bau beeinflussenden Faktoren erkennen, abwägen und zu einem Bauwerk zusammenführen; er ist mehr denn je ein Generalist.

## 2 Die Rolle des Architekten

Es wäre ein Armutszeugnis für die Ingenieurkunst, wenn sie von vornherein des Gestaltungswillens eines Architekten bedarf. Was soll er dekorieren, färben, kaschieren?



**Bild 3** Enztalviadukt Bietigheim  
Enztalviaduct Bietigheim



**Bild 4** Müngstener Brücke  
Müngstenerbrücke

Bei einem Ingenieurbauwerk, besonders einer Brücke, sind Bauwerk und Tragwerk nahezu identisch. Es gibt keine andere Funktion als das Überbrücken, das Tragen. Damit muss automatisch der Ingenieur den Entwurf bestimmen.

Zu einem Dialog ist der Architekt jedoch herzlich willkommen, ja als Partner mit gestalterisch besonders geschultem Auge geradezu erforderlich. Das gilt besonders für die Durcharbeitung im Detail, für die Gestaltung von Übergängen, Proportionen. Architektonische Gestaltung sollte jedoch kein Selbstzweck sein, gewissermaßen von außen an das Bauwerk „geklebt“ werden. Oder schlimmer: eine Tragwirkung vorgaukeln, die in der Realität gar nicht vorhanden ist. Willkürliche Gestaltung ohne Bezug zum Tragwerk, zum Ort ist immer abhängig vom persönlichen Geschmack und wirkt schnell lächerlich, besonders wenn sich der Geschmack mit dem Zeitgeist in einigen Jahren ändert. Wahre Ingenieurkunst ist zwar Zeitzeuge, selbst aber zeitlos.

Die Gestaltung sollte sich immer aus der Situation, besonders aus dem Tragwerk selbst ergeben. Nur damit wird die architektonische Gestaltung ein echter Mehrwert, ohne jedoch mehr zu kosten. Schließlich sollte gerade für Kunstbauten immer gelten „less is more“.

### 3 Nachhaltigkeit von Kunstbauten

Vorgenannte Zeitlosigkeit der Ingenieurkunst ist auch ein Beispiel von Nachhaltigkeit, einem immer häufiger im Zusammenhang mit Ingenieurbauwerken genannten Stichwort. Dazu gehören die Berücksichtigung von definierten zukünftigen Verkehrslasten und Beanspruchungen, die Fragen der Erhaltung hinsichtlich Robustheit, wartungsaufwändiger Konstruktionsdetails und deren Austauschbarkeit sowie der späteren Erneuerung des Gesamtbauwerks.

Problematisch wird der Begriff Nachhaltigkeit bei fehlender Langzeiterprobung von Konstruktionen. Wenn die

Nachhaltigkeit sich nur durch ein Erfahrungszeitraum von einem oder gar mehreren Jahrzehnten nachweisen lässt, besteht die Gefahr, dass sie zum k.o.-Kriterium für Innovationen wird.

### 4 Innovation und Risiko

Ein, wenn nicht der wesentliche Erfolgsfaktor der deutschen Volkswirtschaft ist ihre Innovationsstärke. Als Land weitgehend ohne natürliche Rohstoffe mit gleichzeitig hohem Lohnkostenniveau ist unsere Innovationskraft der wesentliche Wettbewerbsvorteil, der im internationalen Maßstab deutlich wahrgenommen wird und der unsere Wettbewerbsfähigkeit sichert. Innovationen entstehen aber erst dann aus Ideen, wenn diese in neue Produkte, Dienstleistungen oder Verfahren überführt werden, die tatsächlich erfolgreiche Anwendung am Markt finden. In anderen Industriezweigen ist dies eine grundlegende Erkenntnis, wogegen im deutschen Brückenbau eine regelrecht innovationsfeindliche Stimmung herrscht. Brücken sind immer Unikate und jeder Projektleiter versucht zu Recht, die Risiken in seinem Projekt zu minimieren, indem er sich möglichst auf altbewährte, leicht zu beherrschende Konstruktionen und Bauweisen verlässt. Auch die Bauherren und beteiligten Behörden bzw. Verwaltungen verfolgen in der Regel die Strategie der möglichst vollständigen Risikovermeidung. Für das einzelne Projekt mag diese Sichtweise richtig sein, aber in globalem Maßstab bedeutet das Stillstand ohne Weiterentwicklung! Innovationen sind immer mit Risiken behaftet.

Um eine behutsame Weiterentwicklung zu gewährleisten, müssen diese Risiken abgewogen und aktiv begleitet werden.

In diesem Prozess fällt dem Ingenieur eine entscheidende Rolle zu. Er muss im Team die Führung übernehmen und er muss mehr sein als nur Statiker, Konstrukteur oder Technologie. Leider treten dabei häufig die in der Ausbildung nicht vermittelten oder beruflich verloren gegangenen handwerklichen Fähigkeiten im Design und der Ausföhrung schmerzlich zu Tage.



**Bild 5** Ansicht der integralen Rohrfachwerkbrücke  
View of the integral pipe truss bridge



**Bild 6** Detail  
Detail

## 5 Beispiele

Die vorgenannten Bedingungen und Voraussetzungen für Ingenieurkunst sind sicher nicht einfach. Trotzdem gelingen dem Ingenieur in Planung und Ausführung immer wieder überzeugende Bauwerke. Stellvertretend werden im Folgenden drei Beispiele aus der neueren Planung der SSF Ingenieure AG gezeigt.

### Beispiel 1: Integrale Rohrfachwerkbrücke mit geschweißten Knoten

Die exponierte Lage der Straßenüberführung über die BAB A71 am oberen Maintal verpflichtete zu einem besonderen Ingenieurbauwerk. Entworfen wurde vom Ingenieur eine integrale Rohrfachwerkbrücke, die nicht nur durch ihre Transparenz und der dem Kraftverlauf folgenden Formgebung auffällt (Bilder 5 und 6). Außergewöhnlich war vor allem die Anwendung wirtschaftlicher Fertigungs- und Fügetechniken neuester Generation für Stahlrundrohre.

So wurden die Fachwerkknoten des Tragwerkes als geschweißte Rohrknöten ohne den Einsatz von Gussknöten ausgebildet. Ohne diese Neuerung im deutschen Straßenbrückenbau wäre der Brückenentwurf wirtschaftlich nicht realisierbar gewesen, da jeder Knoten aufgrund der Fachwerkgeometrie anders ausfiel und zu einer Vielzahl von unterschiedlichen Gussknöten geführt hätte.

Das Problem dabei war, dass Knoten dieser Art und Abmessung in der Normung nicht behandelt werden, was nicht bedeutet, dass man sie nicht bauen kann, in Deutschland ohne eigene Regelung aber nur unter Schmerzen für alle Beteiligten.

#### Bauwerksgeometrie:

Stützweite:	90,82 m (Untergurt)
Breite zwischen Geländer:	10,50 m
Systemhöhe am Widerlager:	5,81 m
Systemhöhe in Feldmitte:	1,79 m

### Beispiel 2: Trogverbundkonstruktion

Für die neue zweigleisige Ijsselbrücke im Zuge der Neubaustrecke Hanzelijn wurde 2006 ein mehrstufiger Realisierungswettbewerb zwischen fünf Teilnehmern, bestehend aus Bauunternehmungen, Ingenieuren und Architekten, mit vorgeschalteter Präqualifikationsphase ausgeschrieben.

Der Wettbewerb selbst wurde als Designer-Cost-Built-Optimization-Process im engen Dialog mit den Bauherrn ProRail durchgeführt.

Mit dem 1. Preis prämiert und schließlich in den Jahren 2007 bis 2010 ausgeführt wurde ein 926 m langer Mehrfeldträger mit Stützweiten von jeweils 40 m und 75 m/150 m/75 m über der Ijssel (Bilder 7 und 8). Als Überbau wurde ein Stahlverbundtrog gewählt, der über den Hauptöffnungen in einen Stahlfachwerkbogen aufgelöst wurde [5].

Aufgabe des Ingenieurs war es hier, die verschiedenen Interessen der Beteiligten so zusammenzuführen und umzusetzen, dass nicht nur ein in der flachen Landschaft überzeugendes, sondern auch wirtschaftliches Bauwerk entstand mit einem Stahlverbundtrog als besonders im Detail nicht alltägliche Lösung.

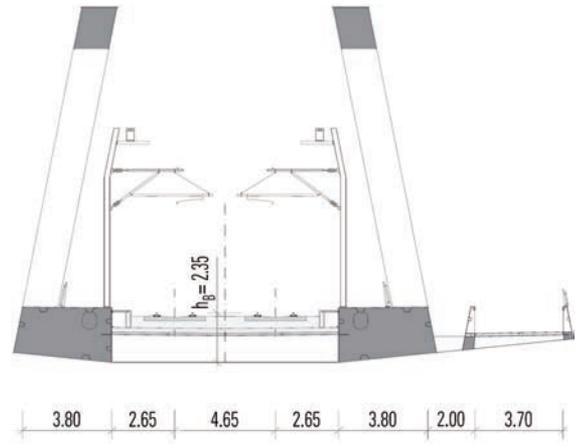
Eine weitere Besonderheit des Entwurfs war der einseitig mit zu überführende Weg, der sowohl aus gestalterischen als auch konstruktiven Gründen und Überlegungen zur Baulasttrennung durch eine Kragplatte, getrennt vom Hauptquerschnitt des Überbaus, ausgebildet wurde.

#### Bauwerksgeometrie:

Stützweiten:	33,13 / 4 × 40,00 / 75,00 / 150,00 / 75,00 / 10 × 40,00 / 33,34 m
Gesamtlänge:	926,47 m
Bauhöhe:	2,33 m
Systembreite:	13,31 m
Systemhöhe:	14,50 m (Haupt- bzw. Bogenfeld)



**Bild 7** Ansicht der IJssel-Brücke  
View of the IJssel bridge



**Bild 8** Querschnitt Hauptfeld  
Cross-section main span

**Beispiel 3: integrale Massivkonstruktion**

Die zweigleisige Hauptstrecke Fürth–Würzburg quert das Aurachtal auf einem bis zu 40 m hohen Damm, der über der Aurach mit einer ca. 115 m langen Eisenbahnüberführung unterbrochen ist.

Die Talquerung soll in Verbindung mit einer Linienverbesserung der Gleistrasse durch ein neues Bauwerk mit einer Schotterbettfahrbahn ersetzt werden, wofür – leider noch immer eine Ausnahmesituation in Deutschland – ein Brückenwettbewerb ausgelobt wurde.

Da das neue Brückenbauwerk weitgehend im Schattens des verbleibenden Damms liegt, es nur einseitig erlebbar ist und auch nicht frei und weithin sichtbar in der Landschaft steht, verzichtete der mit dem 1. Preis prämierte Ingenieur als Entwurfsverfasser auf eine großzügige Talquerung mit entsprechend großen Stützweiten und markanten Brückenelementen. Stattdessen wurde ein mehrfeldriger Viadukt mit sehr schlanken und sorgfältig proportionierten Querschnitten, zugleich aber auch wirtschaftlichen Abmessungen gewählt (Bilder 9 und 10).

Die 11-feldrige integrale Massivkonstruktion, längs vorgepannt, mit gleich bleibenden Einzelstützweiten von 50,00 m und 40,00 m in den Randfeldern ergibt nicht nur eine gute Bauwerksproportion und schlanke Ausbildung, sie ermöglicht auch eine stützenfreie Querung der im Talbereich liegenden Anlagen und Gewässer. Außerdem sind die Stützweiten hinsichtlich der Baudurchführung, der Bauwerkskosten und des Lasteintrages in den Boden sehr günstig.

Der einsteigige Plattenbalken-Vollquerschnitt des Überbaues wird über den Pfeilern stark angevoutet und folgt im Aufriss einem Korbbogen.

Der Übergang in den Pfeilerquerschnitt erfolgt allseitig kontinuierlich.

Die Rahmenkonstruktion ist biegesteif mit dem Fürther Widerlager verbunden, über das die Abtragung der Hori-

zontalkräfte erfolgt. Dagegen werden am Würzburger Widerlager zum Abbau der Zwängungskräfte Lager und im Gleis Schienenauszüge angeordnet. Diese integrale Konstruktion ist verbunden mit der Beantragung und Erteilung einer Unternehmensinternen Genehmigung (UiG) und Zustimmung im Einzelfall (ZiE). Schwerpunkte sind dabei die Nachweise zur Schienenspannung und Zwangsbeanspruchung, die Verformungsnachweise sowie die Reaktion des anstehenden ungünstigen Baugrundes mit Auslaugungszonen.

Eine UiG wird zusätzlich erforderlich für den Einbau der Schienenauszugsvorrichtung in Bogenlage und die erforderlichen Baukörperdurchdringungen der Entwässerungsleitung.

**Bauwerksgeometrie:**

Stützweiten:	40,00 m / 9 × 50,00 m / 40,00 m
Gesamtlänge:	530,00 m
Bauhöhe:	2,50 m im Feld 5,20 m am Pfeiler
Breite zwischen Geländer:	13,15 m
max. Höhe über Talsohle:	36,00 m

**6 Schlussbemerkung**

In einem wenig innovativen Umfeld, unter der Last eines überbordenden Vorschriftenwerks und dem Termindruck in der Ausführungsplanung, fällt es dem Ingenieur schwer, ein im besten Sinne nachhaltiges Ingenieurbauwerk zu planen und damit dem heutigen Begriff Ingenieurkunst gerecht zu werden. Die Möglichkeiten, die uns hervorragende Baustoffe und moderne Berechnungshilfsmittel heute bieten, haben bisher viel zu wenig zu einer gleichmäßig hohen ästhetischen und technischen Qualität der Brückenbauwerke geführt. Der Nobelpreisträger Konrad Lorenz bringt es in [2] aber auf den Punkt, wenn er die Verwüstung des natürlichen Lebensraums



**Bild 9** Ansicht des mehrfeldrigen Viadukts  
View of the multi-span viaduct



**Bild 10** Querschnitt  
Cross-section

und der menschengeschaffenen kulturellen Umgebung für die ästhetische und ethische Verrohung der Zivilisation, die Zerstörung der Seele verantwortlich macht. Dieser Verantwortung müssen sich Ingenieure stellen und ihr Wissen, ihre Erfahrungen und ihre technischen Möglichkeiten in den Entwurf und den Bau ganzheitlich überzeu-

gender Ingenieurbauwerke investieren. Die Wirtschaftlichkeit ist dabei kein Hinderungsgrund, besonders wenn anstelle der bloßen Herstellungskosten die Gesamtwirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit als Beurteilungskriterium herangezogen wird.

## Literatur

- [1] SCHLAICH, J.; SCHMITT, V.; MARX, S. u. a.: *Leitfaden Gestalten von Eisenbahnbrücken*. 1. Aufl. Berlin: DB AG Dezember 2008.
- [2] LORENZ, K.: *Die acht Todsünden der zivilisierten Menschheit*. Serie Piper, Bd. 50, 34. Aufl. München 2009.
- [3] FREYSTEIN, H.: *Entwicklungen und Tendenzen im Eisenbahnbrückenbau*. Der Prüflingenieur (2011), H. 4, S. 23–40.
- [4] ASFINAG „*Leitkonzept Gestaltung Brücke*“. ASF-Dokument v. 14. 09. 2011.
- [5] BOS, B.; CASPER, H.-J.; VAN KESSEL, F.; SIMON, T.; WILTINK, R.: *Vergabe, Tragwerksplanung und Montage der Brücke über die Ijssel*. Stahlbau 81 (2012), H. 2, (in Vorbereitung).

## Autoren:

Dipl.-Ing. Christian Ommert  
SSF Ingenieure AG, NL Berlin, 10435 Berlin, Schönhauser Allee 149  
[www.ssf-ing.de](http://www.ssf-ing.de)

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx  
Leibniz Universität Hannover, Institut für Massivbau,  
Appelstraße 9a, 30167 Hannover  
[www.massivbau.uni-hannover.de](http://www.massivbau.uni-hannover.de)

SSF Ingenieure AG  
Beratende Ingenieure im Bauwesen

Schönhauser Allee 149  
D-10435 Berlin

T +49 (0)30 4 43 00 – 0  
F +49 (0)30 4 43 00 – 60 0

[berlin@ssf-ing.de](mailto:berlin@ssf-ing.de)  
[www.ssf-ing.de](http://www.ssf-ing.de)