



## Doctoral Thesis

### **Form logic and form dynamics exemplified by integral overpass bridges**

submitted in satisfaction of the requirements for the degree of  
Doctor of Science in Civil Engineering  
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

---

## Dissertation

### **Formlogik und Formdynamik am Beispiel von integralen Überführungsbrücken**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktors der technischen Wissenschaft  
eingereicht an der Technischen Universität Wien Fakultät für Bauingenieurwesen  
von

Dipl.-Ing. Michael Kleiser  
Matrikelnummer 08627594  
Lichtensteinpromenade 8/2  
2380 Perchtoldsdorf

Gutachter: O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. M.Eng. Johann Kollegger  
Institut für Tragkonstruktionen - Stahlbeton- und Massivbau  
Technische Universität Wien  
Karlsplatz 13/212-2, 1040 Wien, Österreich

Gutachter: Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Kühn  
Institut für Architektur und Entwerfen  
Technische Universität Wien  
Karlsplatz 13/212-2, 1040 Wien, Österreich

Gutachter: Prof. Dr. sc. techn. Mike Schlaich  
Institut für Bauingenieurwesen  
Fachgebiet Entwerfen und Konstruieren - Massivbau  
Technische Universität Berlin  
Gustav-Meyer-Allee 25, 13355 Berlin, Deutschland

Wien, November 2017

---



## Vorwort

Nicht zuletzt meine langjährige berufliche Zusammenarbeit mit Jörg Schlaich und Alfred Pauser inspirierten mich zu einer intensiven Auseinandersetzung mit Gestaltungsfragen im Ingenieurwesen und der Einbindung dieser in den Entwurfsprozess von Tragwerken.

Jörg Schlaich verstand es – der Tradition der Stuttgarter Schule von Frei Otto bis Fritz Leonhardt folgend – seine Mitarbeiter von der Wichtigkeit einer ganzheitlichen Sicht der Entwurfsarbeit zu begeistern und diese weiterzugeben. Kreativität, Erfindungsgeist und der Blick über den Tellerrand standen dabei immer im Mittelpunkt. Sein erfolgreiches Büro *Schlaich Bergermann und Partner*, viele neu gegründete Planungsbüros, sowie neue Universitätslehrgänge ehemaliger Mitarbeiter und Studierender zeugen von der flächenmäßigen Verbreitung seiner Entwurfsdenkschule.

Alfred Pauser, bei dem ich an der Technischen Universität Wien studierte, eröffnete mir in einem internen Mitarbeiterseminar im gleichnamigen Ingenieurbüro den Zugang zur geschichtlichen Aufarbeitung von formlogischen Zusammenhängen, indem er das Tragverhalten der klassischen Säule in dessen Formausdruck analysierte. Ich begriff einmal mehr, dass ingenieurtechnische Überlegungen einen wechselseitigen Einfluss auf die äußere Form haben, und Ingenieure durch Ihren Tragwerksentwurf die Bauwerksästhetik, sofern das Tragwerk sichtbar ist, mitbestimmen.

Ich beobachte in der derzeitigen Praxis des Brückenentwurfs oft Unbeholfenheit von Ingenieuren bei Gestaltungsaufgaben. Die immer wiederkehrenden Fragen der angemessenen, dem Beruf des Ingenieurs zugewiesenen und vertretbaren Gestaltungsfreiheit, sowie der Gestaltungsverantwortung eines Ingenieurs bewog mich zum Verfassen dieser Dissertation, um seine Gestaltungsgrenzen im konstruktionsdominanten Bereich des Brückenbaus zu definieren und abzustecken. Diese Arbeit stellt einen Versuch dar, Ingenieure auf ihr kreatives Potential aufmerksam zu machen, und das Bewusstsein für ihre gestalterische Verantwortung insbesondere im Brückenbau zu schärfen. Ich streife dabei auch architekturtheoretische Themenbereiche und bitte als Ingenieur trotz aller Sorgfalt um Nachsicht bei etwaigen unpräzisen Bezeichnungen, Interpretationen und Schlussfolgerungen.

Ich bedanke mich zu allererst bei Professor Johann Kollegger für die Bereitschaft diese interdisziplinäre, kumulativ verfasste Dissertation an seinem Institut mit viel Geduld sowie entgegengebrachtem Vertrauen zu betreuen und zu begutachten. Gleichfalls möchte ich mich bei Professor Mike Schlaich für die spontane Zusage zur Begutachtung der Arbeit bedanken.

Herrn Professor Christian Kühn gilt ebenfalls mein Dank als Dekan für Architekturwissenschaften, für die Begutachtung dieser Arbeit aus seinem beruflichen Blickwinkel.

Ich bedanke mich auch bei meinem derzeitigen Arbeitgeber ASFINAG für die Unterstützung und Freistellung in Form der Bildungskarenz zur Beendigung der Arbeit. Ich konnte viele Aspekte aus der Sichtweise meiner beruflichen Tätigkeit als Mitarbeiter in der Abteilung für Technik, Innovation und Umwelt bei der ASFINAG in die vorliegende Arbeit einbringen.

---

Abschließend gilt mein besonderer Dank meiner Familie, meiner Frau Ute, die mir die erforderliche Zeit geschenkt hat, und meinen drei Kindern Miriam, Naomi und Timon, die ihren Vater in manch wichtiger Stunde entbehren mussten.

Dipl.-Ing. Michael Kleiser, 2017

## Kurzfassung

Der Ingenieur gestaltet durch seine im Infrastrukturbau federführende Ermittlung der Bauteilformen zwangsläufig und kann sich daher der Verantwortung zur Einhaltung einer ästhetischen Grundqualität nicht vollends entziehen. Diese Mitverantwortung ist ihm in der Regel nicht bewusst, bzw. wird ihm diese auch nicht vermittelt, und so kommt er dieser auch nicht nach. Eine Gestaltungslücke entsteht, die oft mit additiven Gestaltungsmaßnahmen kaschiert wird und Unbehagen nicht nur bei Infrastrukturbetreibern, sondern auch in Ingenieur- und Architektenkreisen auslöst.

Diese Arbeit will das Gestaltungsrepertoire des Ingenieurs aufzeigen, damit er mit seinem erlernten Wissen und seinen Werkzeugen Bauformen ihre ihnen gebührende, der Funktion entsprechende Gestalt geben und Ausdruck verleihen kann. Es werden die Begriffe der Formlogik und der Formdynamik eingeführt und in einer Pyramide des Formausdrucks mit der Spitze der Formkunst zusammengefasst.

Die Grundsätze einer Formlogik werden einerseits über den Authentizitätsbezug zu natürlichen Formfindungsprozessen und andererseits aus einer historischen Betrachtung aus der Funktion abgeleitet sowie durch Einblicke in die Architekturtheorie für den zweckorientierten Infrastrukturbau begründet. In den ersten zwei wissenschaftlichen Aufsätzen werden im Besonderen Formüberlegungen an integralen Rahmentragwerken aus Beton durchgeführt. Über die Ableitung von Funktionseinheiten am Brückenobjekt werden dabei Vorschläge für mögliche Formansätze – wie z.B. die adäquate Verwendung einer Rundstütze – für die Entwurfspraxis angegeben.

In einem dritten Aufsatz wird gezeigt, dass Formlogik durch ingenieurtechnische Überlegungen einschließlich Nutzung des ureigenen Werkzeugs eines Ingenieurs, der Berechnung, willentlich entwickelt werden kann, die darüber hinaus eine entsprechende Ausdrucksqualität aufweist. Anhand von einfeldrigen Überführungsbrücken aus Stahl- und Spannbeton wird der Prozess durch Beispielberechnungen und praxisnahe Entwürfe durchexerziert.

Auf Grundlage einer angemessenen Formlogik werden in einem vierten Aufsatz ergänzende formdynamische Effekte zur Intensivierung des Formausdrucks einschließlich verblüffender Analogien zur Gestaltpsychologie untersucht und auf den heutigen Brückenbau übertragen. Diese Formverfeinerungen werden an den vorhin formlogisch entwickelten Überführungsbrücken aus Stahl- und Spannbeton angewendet und in unterschiedlichen Gestaltungsvarianten gegenübergestellt. Das Praxisbeispiel einer Schrägstielbrücke, die derzeit im Zuge einer neuen Autobahnstrecke der ASFINAG in Bau ist, wird vorgestellt.

Dem Autor ist es wichtig, dem Ingenieur die Reichweite seiner Gestaltungsentscheidungen durch die Formwahl bei Infrastrukturprojekten stärker ins Bewusstsein zu bringen. Es werden Argumente aus dem Kontext der Baugeschichte und der Gestaltpsychologie aufbereitet, auf derer Basis er seine Formentscheidungen mittels seiner typisch analytischen Vorgangsweise treffen kann. Dabei werden dem Ingenieur Hilfsmittel zur Verfügung gestellt, eigene Entwürfe

in ästhetischer Hinsicht fundiert argumentieren und verteidigen zu können, um seine Gestaltungsverantwortung zumindest im Infrastrukturbau angemessen wahrzunehmen. Darüber hinaus soll diese Arbeit Ingenieure ermutigen neues Potential ihres Wirkens zu erkennen: Die Gestaltungskraft des Konstruierens.

**Schlagwörter:** Formlogik, Formdynamik, Formkunst, Brücke, Ästhetik, Gestaltung, Gestaltpsychologie, Überführung, Stahl- und Spannbeton, Ingenieurbaukunst, Konstruktive Gestaltung

## Abstract

The engineer must, of necessity, base his designs within the infrastructure on the component forms that he is himself in charge of determining. Consequently, he cannot completely abdicate responsibility for observing a basic aesthetic quality. He is not usually aware of this joint responsibility, nor is this joint responsibility generally communicated to him, with the consequence that he fails to meet this responsibility. This results in a design gap, which is often concealed with additional design measures and causes inconvenience not only to infrastructure managers, but also in engineering and architectural circles.

The aim of this paper is to illustrate the design repertoire of the engineer so that he can use his tools and the knowledge he has acquired to give appropriate shape and expression to his designs according to their function. The terms ‘form logic’ and ‘form dynamics’ are introduced and summarised in a form expression pyramid with form art at the top.

The principles of form logic are derived, on the one hand, by means of the authenticity relationship with natural form-finding processes and, on the other hand, from a historical consideration of the function, and are justified through insights into the theory of architecture for purpose-built infrastructure. In particular, the first two scientific essays include form considerations of integral frame structures made of concrete. By means of the derivation of function units on the bridge object, proposals are indicated for possible form approaches – such as e.g. the appropriate use of a circular column – for design practice.

A third essay shows that form logic can be deliberately developed through structural considerations including the use of an engineer’s very own tool – calculations – which additionally have a similar quality of expression. Based on single-span overpass bridges of reinforced and pre-stressed concrete, the process is gone through by means of example calculations and practical designs.

On the basis of an appropriate form logic, complementary form dynamic effects for intensifying the form expression including striking analogies with gestalt psychology are examined and transferred to modern bridge construction in a fourth essay. These refinements of form are applied to the overpass bridges made of reinforced and pre-stressed concrete which were developed earlier with form logic, and compared in different design variants. The practical example of a frame bridge with inclined struts, which is currently under construction as part of a new stretch of motorway for ASFINAG is presented.

It is important to the author to make the engineer more aware of the scope of his design decisions through his selection of form in the case of infrastructure projects. Arguments will be provided from the context of building history and of gestalt psychology, on the basis of which he can make his form decisions using his typically analytical approach. The engineer is thereby provided with aids which allow him to soundly argue for and defend his own designs in aesthetic terms, in order to adequately exercise his design responsibility at least within the infrastructure. In addition, the aim of this paper is to encourage engineers to identify new potential for their work: the creative power of structurally designing.

**Keywords:** form logic, form dynamics, form art, bridge, aesthetics, visual design, gestalt psychology, overpass bridge, reinforced and pre-stressed concrete, structural art, structural shaping



*„Die Raumgestalt ist nicht aufgesetzte Dekoration,  
sondern wird durch die Konstruktion der raumumhüllenden Elemente bestimmt.  
Da die Konstruktion das Werk des Ingenieurs ist, wird der Ingenieur Gestalter des Raumes.“  
(Paulgerd Jesberg)*

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>12</b>
1.1	Struktur der Arbeit.....	12
1.2	Ingenieur und Gestaltung.....	12
1.3	Brücken.....	15
1.4	Entwurfsziele im Infrastrukturbau.....	16
<b>2</b>	<b>Motivation .....</b>	<b>20</b>
<b>3</b>	<b>Problemstellung: Eine vergessene Verantwortung .....</b>	<b>21</b>
3.1	Status Quo.....	21
3.2	Konstruktion und Form .....	22
3.3	Leitlinien zur Gestaltung von Brücken.....	26
<b>4</b>	<b>Ziel: Konstruktive Gestaltfindung.....</b>	<b>29</b>
4.1	Tragen und Lasten .....	29
4.2	Ingeniöse Denk- und Handlungsweise .....	30
4.3	Pyramide des Formausdrucks .....	32
4.4	Formlogik .....	33
4.4.1	Natur als Vorbild .....	33
4.4.2	Kern- und Kunstform.....	34
4.5	Formdynamik.....	37
4.6	Formkunst.....	41
<b>5</b>	<b>Methodologie.....</b>	<b>43</b>
5.1	Beton.....	43
5.2	Integrale Bauweise .....	45
5.3	Überführungsbrücken .....	46
<b>6</b>	<b>Zusammenfassungen der wissenschaftlichen Aufsätze.....</b>	<b>49</b>
6.1	Formlogik an Brücken – Teil 1.....	49
6.2	Formlogik an Brücken – Teil 2.....	51
6.3	Formentwicklung einfeldriger Rahmenüberführungen .....	53
6.4	Formdynamik an Überführungsbrücken.....	55
<b>7</b>	<b>Wissenschaftliche Aufsätze.....</b>	<b>57</b>
7.1	Formlogik an Brücken – Teil 1.....	57
7.2	Formlogik an Brücken – Teil 2.....	68
7.3	Formentwicklung einfeldriger Rahmenüberführungen .....	79

---

7.4	Formdynamik an Überführungsbrücken.....	90
<b>8</b>	<b>Resümee .....</b>	<b>101</b>
	<b>Anhang: Konstruktive Gestaltfindung - Beispiele .....</b>	<b>103</b>
A.1	Überführungsbrücken aus Beton .....	103
A.2	Sonstige Brücken aus Beton .....	113
	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>123</b>
	<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>126</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>127</b>
	<b>Begriffserklärung .....</b>	<b>133</b>
	<b>Erklärung.....</b>	<b>135</b>
	<b>Curriculum Vitae .....</b>	<b>136</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Struktur der Arbeit

Den Kern dieser kumulativen Dissertation bilden die vier in den Zeitschriften „Bautechnik“ und „Beton- und Stahlbetonbau“ begutachteten Aufsätze in Kapitel 7. Als Hinführung zu den Aufsätzen wird in Kapitel 1 zuerst auf den Ingenieur und sein Verhältnis zu Gestaltungsfragen insbesondere im Brückenbau eingegangen. Ergänzend werden aus der Literatur abgeleitete Entwurfsgrundsätze als Zielvereinbarung für den öffentlich finanzierten Infrastrukturbau definiert. Danach wird in Kapitel 3 das Problem einer derzeit beobachteten, unbefriedigenden Brückengestaltung aufgezeigt, die mehrheitlich aufgesetzte oder vorgehängte Gestaltungskonzepte vorsieht und konstruktionsbasierte Gestaltungsmöglichkeiten trotz hinweisgebender Literaturstellen und bestehender Leitlinien ignoriert.

In Kapitel 4 wird der Prozess einer konstruktiven Gestaltfindung vorgestellt, der durch die Pyramide des Formausdrucks beschrieben wird. Damit werden die in den Aufsätzen behandelten Grundsätze von Formlogik und Formdynamik in einem größeren Kontext zusammengefasst, an dessen Spitze die Formkunst steht. Für den Prozess der konstruktiven Gestaltfindung ist es notwendig, den unmittelbaren Zusammenhang von ingenieurtechnischen Handeln auf die Wahrnehmung des Menschen durch die Vorgänge von Tragen und Lasten und einer daraus folgenden ingeniosen Denk- und Herangehensweise bewusst zu machen. Obwohl auch in den Aufsätzen auf diese Aspekte hingewiesen wird, ist eine umfassendere Erläuterung in Kapitel 4 für das Verständnis des Lesers wichtig. Dasselbe gilt auch für formlogische und formdynamische Betrachtungen, die über die Aufsätze hinaus noch näher und mit weiteren Beispielen ausgeführt werden.

Nachdem in Kapitel 5 auf die Methodologie der wissenschaftlichen Aufsätze mit dem Schwerpunkt auf integrale Überführungsbrücken und den Werkstoff Beton als Beispiele der Formlogik und Formdynamik eingegangen wird, werden Zusammenfassungen aller Aufsätze in Kapitel 6 präsentiert.

## 1.2 Ingenieur und Gestaltung

Seit der Verwissenschaftlichung des Ingenieurbaus und der daraus folgenden Eigenständigkeit der Ingenieurausbildung [Jesberg 1996, S. 103] im 18. Jahrhundert, ist der Selbstfindungsprozess des Ingenieurs in Bezug auf seine Gestaltungslegitimation immer noch im Gange. Die Selbstsicherheit der Avantgardisten, mit der die Ingenieure im 19. Jahrhundert die Architektentreue durch die neuen zweckökonomischen Eisenkonstruktionen und Maschinenentwicklungen vor sich hertrieben, ist längst vorbei. Ungeahnte Möglichkeiten boten sich dem neuen Berufsstand, der sich anschickte durch die Maschinenteknik im Automobilbau, Eisenbahnwesen und der Schiffs- und Flugzeugtechnik die Mobilität der Menschen zu verändern und zum gesellschaftlichen Zugpferd zu avancieren (siehe Abbildung 1, links). Im Hallen- und Brückenbau wurden immer größere Spannweiten mit ausgeklügelteren Eisenbinder-, Fachwerk-, Ketten-

und Kabelkonstruktionen realisiert (siehe Abbildung 1, rechts). Perplex von der kulturellen Umwälzung des neuen rationalen Ingenieurstils flüchtete die Architektur in eine immer aufbürdendere Wiederbelebung alter Baustile und deren Auswüchse bis hin zur Kapitulation und Neuausrichtung mit Beginn des Jugendstils und der Moderne. Le Corbusier erhob 1922 die Maschinenästhetik in den Rang der Baukunst, die im „Telefonapparat wie im Parthenon“ existiert [Le Corbusier 1969, S. 31]. Davor hatte schon 1910 der österreichische Kunsthistoriker und Schriftsteller Joseph August Lux die Ingenieurästhetik als die neue Grundlage hervorgehoben, aus der die künstlerische Form „erfunden“ werden muss [Lux 1910, S. 4]. Der belgische Architekt und Designer Henry van de Velde ging sogar soweit, die Ingenieure als Künstler zu bezeichnen: „Es gibt eine Klasse von Menschen, denen wir den Künstlertitel nicht länger werden vorenthalten können. Diese `Künstler`, die Schöpfer der neuen Architektur, sind - die Ingenieure“ (zitiert in [Ammann 1998, S. 18]).

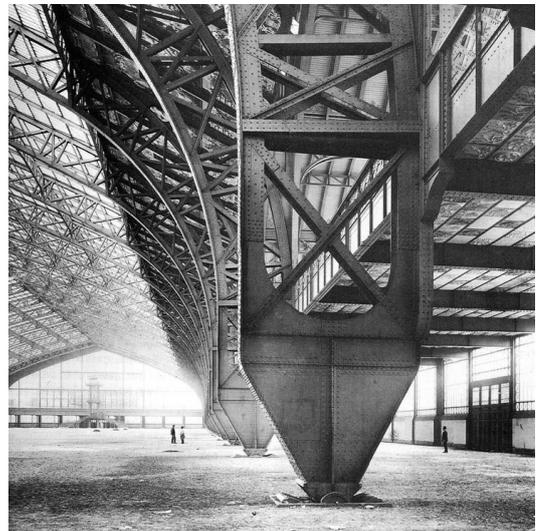


Abbildung 1: Automobil um 1920 (links | © goldpix, fotolia) und das Palais des machines in Paris, 1889 (rechts)

Die Architektur erkannte erstmals die neue Formensprache der Ingenieure an, die mit Einfachheit, Logik und Stringenz überzeugte. Die Huldigung des Ingenieurs als neuen Künstler war jedoch übertrieben. Für Ingenieure standen das statisch Erforderliche und das wirtschaftlich Vorteilhafteste im Vordergrund, nie das Künstlerische [Ammann 1998, S. 18], obwohl es in der Literatur Hinweise gibt, dass einige Ingenieure auch die Gestaltung als begleitende Aufgabe empfanden [Emperger 1911, S. 65; Lux 1910, S. 14]. Leider verleiteten die Aussagen Le Corbusiers und van de Veldes zur teilweise bis heute andauernden Missdeutung, dass eine zweck-, konstruktions- und kostenoptimierte Form automatisch das Bedürfnis nach Schönheit befriedigt, womit nicht unbedingt der Gestaltungswille des Ingenieurs gefördert wurde. Nicht zuletzt deshalb waren eine zunehmende Monotonie und Ausdruckslosigkeit im Hoch-, aber auch im Infrastrukturbau die Folge. Le Corbusier und van de Velde meinten hingegen nach Jormakka gleichermaßen, dass die Funktionalität „eine notwendige, aber keine hinreichende Bedingung zur Schönheit“ sei [Jormakka 2007, S. 29].

Die Verpflichtung zur Zweckerfüllung und zur Ökonomie, gefördert durch die spezifische Ausbildung zum wissenschaftlich-analytischen Denken, wurde im Ingenieurstand bis heute zum

eingrenzenden und einengenden Korsett, das nur vereinzelt Ingenieure in Eigeninitiative ablegen konnten. Der Wieder- und Neuaufbau der Infrastruktur nach dem zweiten Weltkrieg im Lichte der Nachkriegsmoderne trug das seine dazu bei. Die Grundfähigkeit des Ingenieurs für eine zügige, praxisbezogene und kostenbewusste Umsetzung von Zweckvorgaben war gefragt wie selten zuvor. Eine gestalterische Kompetenz wurde von ihm in der Regel nicht eingefordert. Dies hat sich bis heute aufgrund der einseitig ingenieurspezifischen Ausbildung und der daraus folgenden, fehlenden Legitimation durch die Gesellschaft nicht geändert. Viele Ingenieure haben ein ambivalentes Verhältnis zu Gestaltungsaufgaben vom einerseits Mitgestaltenwollen, andererseits nicht Mitgestaltendürfen, über die Resignation bis hin zur vollkommenen Ablehnung. Aufrufe zur Bewusstmachung des Ansehens eines Bauingenieurs und seiner baukulturellen Verantwortung z.B. durch die Bauingenieure Klaus Stiglat, Jörg Schlaich, Alfred Pauser und René Walther und andere [Eibl et al. 2006] sind leider selten anzutreffen.

Ingenieure verkennen jedoch das Gestaltungspotential des Ingenieurwissens und dadurch ihre mögliche umfassende Wirksamkeit, strahlt doch alleine die Leistungsfähigkeit von sichtbaren Tragstrukturen an sich eine Faszination aus und vermittelt die Fähigkeit zu einer konstruktionsimmanenten Ästhetik [Frank et al. 2008, S. 151], wie auch Lux, Le Corbusier und van de Velde in Ihren Ausführungen zur Ingenieurästhetik andeuteten. Insbesondere im Infrastrukturbau haben es Ingenieure in ihrer federführenden Aufgabe der Tragwerkswahl und des Bemessens selbst in der Hand, die aus der Konstruktion aufkeimende Ästhetik willentlich zur Vollen- dung zu führen.



Abbildung 2: Jörg Schlaich, Christian Menn und Alfred Pauser in Innsbruck 2008 | © Menn

Es ist Einzelleistungen von Ingenieuren wie Robert Maillart, Eduardo Torroja, Felix Candela, Heinz Isler, Christian Menn, Jörg Schlaich sowie Alfred Pauser (siehe Abbildung 2) – und diese Aufzählung darf nicht als vollständig gesehen werden – zu verdanken, dass das bewusste Gestalten aus der Disziplin des Ingenieurwesens heraus nicht verloren ging. Hervorzuheben ist dabei auch der amerikanische Professor David B. Billington, der in seinem Buch „Der Turm

und die Brücke“ sogar so weit ging, die Ingenieurbaukunst („Structural Art“) mit der technischen Idee als Grundlage kreativen Handelns neben der Architektur als neue und unabhängige Kunstform zu deklarieren [Billington 2014, S. XIII].

### 1.3 Brücken

Die Brücke ist der Inbegriff eines infrastrukturellen Zweckbaus, aber auch Repräsentationsobjekt und Zeitzeichen unserer Baukultur [Steiner et al. 2014, S. 8]. Sie gilt seit jeher als technische Königsdisziplin, die durch ihre funktionsdominierte Form besonderen gestalterischen Herausforderungen unterliegt. Seit den divergent verlaufenden Entwicklungen der Berufsstände des Architekten und des Ingenieurs wird über die letztendliche Gestaltungsverantwortung stets diskutiert. Schon 1929 verwies Charles J. Whitney auf den Umstand, dass der Ingenieur in der Regel nicht künstlerisch und der Architekt nicht im Brückenentwurf ausgebildet ist [Whitney 1929, S. 24].

Öffentliche Bauherrn erachteten schon sehr früh, dass der Ingenieur durch seine rein rational gefundene Zweckform die Sehnsucht nach Sinnlichkeit und Harmonie<sup>1</sup> meistens nicht stillen konnte und beorderten einen Architekten oder Kunstschaffenden, der sich der künstlerischen Ausgestaltung widmen sollte. Der Wiener Hochschullehrer Friedrich Hartmann beklagte allerdings die Zwangsgemeinschaft als Bevormundung durch den Architekten [Hartmann 1929, S. 12], jedoch auch beim Beginn der Planung der deutschen Reichsautobahn war klar, dass ein Gespann aus Ingenieur und Architekt gefordert wurde [May 2011, S. 110]. Im Fall der Brückenplanungen der Reichsautobahn entpuppte sich die Planungsgemeinschaft als selten anzutreffende Ausnahme einer zusammengespielten, sich gegenseitig befruchtende Arbeitsteilung durch die Ingenieure Schaechterle und Leonhardt bzw. dem Architekten Paul Bonatz. Trotz manch guter Zusammenarbeit und gegenseitigem Verständnis, die so wie es scheint im Besonderen in der Schweiz anzutreffen ist (z.B. [Flury et al. 2010]), werden nach der Erfahrung des Autors heute Ergebnisse in der Regel als kleinster gemeinsamer Nenner erzielt oder letztendlich getrennte Konzeptionen, wie im Kapitel 3.1 näher ausgeführt, übereinander geworfen. Der Zugang zum konzeptionellen Brückenentwurf ist im 19. Jahrhundert genauso wie heute immer noch einerseits durch die analytische Vorgehensweise des Ingenieurs mittels der Konstruktion zur Technikform und andererseits durch die intuitive Vorgehensweise des Architekten mittels der Komposition zur Kunstform [Meissner 2015] zu unterschiedlich, wie es auch Alfred Pauser ausdrückt:

„Es wird jeder, der sich näher mit den Problemen des Brückenbaus befaßt, zu der Erkenntnis kommen, daß sich der Entwurf einer Brücke von dem ureigensten Gebiet der Architektur in vielen Punkten unterscheidet. Die Brücke ist nicht das stati-

---

<sup>1</sup> Paul v. Naredi-Rainer drückte den Zwiespalt in der Architektur und die Notwendigkeit nach Harmonie wie folgt aus: „Der in der Freiheit eingeschlossenen Gefahr des Chaos vermochte die Architektur oft nur zu entgehen, indem sie sich unter dem Vorwand zweckbestimmter Ökonomie in eine monotone Uniformität flüchtete. Die Sehnsucht nach Harmonie aber ist geblieben“ [Naredi-Rainer 1999, S. 32].

sche Gerippe eines auf die mannigfaltigen Bedürfnisse des Menschen ausgerichteten Objektes, nicht der Raum, der frei gestaltet werden muß, sondern dient ausschließlich einer Funktionserfüllung. Die Maßnahmen, die zu einer Wertsteigerung für den Benutzer führen können, sind durchwegs technikbezogen. An die Stelle des Denkens im Zusammenhang mit dem Menschen im Mittelpunkt, wie dies im Hochbau die Regel ist, tritt das Denken in Konstruktionselementen; es würde sogar jede Art von angeblicher Beschönigung, die nicht im Funktionellen, Statischen, Konstruktiven oder im Baulablauf begründet ist, ihren negativen Ausdruck finden“ [Beschorner et al. 1990].

Es lässt sich eine Verantwortungslücke speziell im Brückenbau erkennen, die es zu füllen gilt. Neuerdings gibt es Anzeichen, dass Kunstschaffende weniger aus einem Selbsthineindrängen, sondern mehr als Folge des Nichtbesetzens durch den Ingenieur diese Lücke wieder mit eigenen Gesamtkonzepten einzunehmen beginnen [Kunsmann 2015]. Dies geschieht nicht unbedingt zum Vorteil für den öffentlichen Bauherrn in den Bestrebungen eine attraktive, zweckorientierte und sparsame Infrastruktur zur Verfügung zu stellen. Dazu ist es erforderlich, die angemessenen, anzustrebenden Entwurfsziele für den öffentlich finanzierten Infrastrukturerrichter zu definieren, bevor auf die Problematik der derzeitigen vorherrschenden Entwurfspraxis im Brückenbau eingegangen und ein Lösungsweg vorgeschlagen wird.

## 1.4 Entwurfsziele im Infrastrukturbau

In Tabelle 1 sind die wichtigsten Qualitätsmerkmale im Bauwesen bzw. im Brücken- und Ingenieurbau aus Veröffentlichungen vieler namhafter Protagonisten aus der Architektur und des Ingenieurbaus, aber auch der Philosophie und Literatur beschrieben. Die unterschiedlich verwendeten Begrifflichkeiten, die jedoch zu vergleichbaren Aussagen führen, können zu drei grundsätzlichen Entwurfszielen im öffentlich finanzierten Infrastrukturbau zusammengefasst werden:

1. Nutzen/Zweck/Funktion
2. Wirtschaftlichkeit
3. Ästhetik

Schon der römische Architekt und Ingenieur Marcus Vitruvius Pollio (Vitruv) definierte in seinen „Zehn Bücher über Architektur“ [Vitruv 1991], die als älteste noch existierende Abhandlungen über die Baukunst gelten, mit seinen bekannten, fast inflationär verwendeten Begriffen von *firmitas*, *utilitas* und *venustas* für Festigkeit, Zweckmäßigkeit und Anmut die prinzipiellen Anforderungen insbesondere an öffentliche Anlagen [ebd., S. 45]. Selbstverständlich schloss Vitruv auch wirtschaftliche Aspekte in seine Überlegungen ein, indem er betonte, dass der Baumeister die Kosten genau überschlagen sollte [ebd., S. 43].

Umso mehr treffen die o.g. Entwurfsziele für den in der Regel öffentlich finanzierten Infrastrukturbau auch heute zu und stellen die Grundlage für alle Infrastrukturerrichter und -betreiber dar. Das Ziel eines größtmöglichen Nutzens für die Allgemeinheit unter Einhaltung des

Gebots eines gewissenhaften und verantwortungsvollen Einsatzes von öffentlichen Geldmitteln ist unabdingbar und Grundverpflichtung gegenüber der Gesellschaft. Im gleichen Atemzug ist jedoch durch die unvermeidlichen infrastrukturellen Eingriffe in unseren Kulturraum ebenfalls eine Verpflichtung zu ökologisch nachhaltigen auch ästhetisch qualitätsvollen Maßnahmen zur allgemeinen Akzeptanz in der Bevölkerung erforderlich. Heute unterliegen öffentliche Auftraggeber in der Regel strengen gesetzlichen und behördlichen Vorgaben bei der Errichtung eines sicheren und zweckdienlichen Infrastrukturwesens. Für die österreichische Autobahn- und Schnellstraßengesellschaft ASFINAG gelten z.B. die Planungsprinzipien der Wirtschaftlichkeit, Zweckmäßigkeit, Sparsamkeit, Sicherheit und Umweltverträglichkeit des österreichischen Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie [BMVIT 2011]. Diese sind in den o.a. ersten zwei Entwurfszielen abgebildet.

Der Begriff der Ästhetik (altgriechisch: Wahrnehmung, Empfindung) wird hier im Sinne der Schönheit und Gefälligkeit verwendet. Da die Planung von Infrastrukturprojekten in der Regel eine Nutzungsdauer von 100 Jahren und mehr voraussetzt, sollen dabei unveränderliche, fundamental ästhetische Werte nach Peter F. Smith im Gegensatz zu schnelllebigen Stil- und Modeerscheinungen angestrebt werden [Smith 1981, S. 208]. Darunter fallen Attribute wie z.B. Harmonie, Proportion, Spannung, Rhythmus [Grütter 2015, S. 253], die auch im Wesentlichen in den Kriterienkatalogen für Brückenästhetik in Tabelle 2 ihren Ausdruck finden und über die Jahrhunderte als Grundwerte für schönes Bauen gelten. Unter anderem zählt die Regel des Goldenen Schnitts dazu, die übergreifend sowohl in der Harmonielehre als auch in der Gestaltpsychologie Akzeptanz genießt [Naredi-Rainer 1999; Arnheim 1980] und sich überdies in natürlichen, organischen Wachstumsmustern wiederfindet [Doczi 1984, S. 15].

Es wird nun kurz auf den Begriff der „Eleganz“ eingegangen, der oft als ästhetischer Wert im Ingenieurbau verwendet und von Billington favorisiert wird. Mike Schlaich führte in Zusammenhang mit der Eleganz den zur Schönheit ergänzenden Ausdruck der Anstrengungslosigkeit u.a. durch Materialeffizienz ein, die in einer Struktur vermittelt werden soll [Schlaich 2015]. Bemerkenswerterweise hatte schon der Psychologe Theodor Lipps diesen Begriff Ende des 19. Jahrhunderts in seinen Abhandlungen von anstrengungslosen, mühelosen Linienführungen verwendet ([Lipps 1966, S. 34], Näheres dazu in Kapitel 7.4). Der amerikanische Ingenieur Richard R. Bradshaw beschreibt den Begriff der konstruktiven Eleganz als eine Verknüpfung von zweckbestimmten, ökonomischen und ästhetischen Aspekten und deutet somit auch eine bevorzugte Herangehensfolge an die drei gleichrangigen Entwurfsziele an [Bradshaw 2007]. Entsprechend argumentiert auch Pier Luigi Nervi, dass der Weg zur Ästhetik über die Einhaltung einer funktionellen, technischen und wirtschaftlichen Wahrhaftigkeit führt [Nervi 1956, S. 26]. Der Begriff „Eleganz“ drückt somit im Gegensatz zur Ästhetik eine zwingende Relevanz zu den anderen Entwurfszielen aus, wie auch Billington die Eleganz als „das Maximum an persönlicher Ausdruckskraft des Konstrukteurs, das mit der Effizienz und der Ökonomie vereinbar ist“, beschreibt [Billington 1990, S. 117]. Es ist damit ein Weg vorgezeichnet, der in Kapitel 4 vertieft wird.

Die o.a. Entwurfsziele müssen gegenseitig sorgfältig abgewogen werden, um ein Optimum zu erreichen. Der schweizer Brückenbauer Christian Menn empfiehlt, dass zwischen den Zielrichtungen der Wirtschaftlichkeit und Ästhetik abhängig von der projektspezifischen Gestaltungsrelevanz und deren gesellschaftlichen Mehrwert gegenüber wirtschaftlichen Zwängen eine Balance gefunden werden sollte [Menn 2008].

Auch ein Versuch ganzheitliche Qualität für Bauwerke durch [Eisert et al. 2005] als Überbegriff der Effizienz, aufgegliedert in Nutzen und Aufwand, zu definieren, beschreibt die drei o.g. Kategorien. Dabei wird der Nutzen in Tragen, Gebrauchen und Erleben sowie der Aufwand in Ökonomie und Ökologie unterteilt.

Tabelle 1: Übersicht über Aussagen zu den Entwurfszielen im Bauwesen bzw. im Brücken- und Ingenieurbau

Quelle	Jahr	Nutzen, Zweck, Funktion	Wirtschaftlichkeit	Ästhetik <sup>2</sup>
Vitruv <sup>3</sup>	ca. 33-22 v. Chr.	utilitas, firmitas		venustas
Goethe <sup>4</sup>	1795	Zweck, Materialeigenschaften		Entzücken
Durand <sup>5</sup>	Beginn 18. JH	Funktion	Ökonomie	Schönheit
Bötticher <sup>6</sup>	1852	Kernform		Kunstform
Baumeister <sup>7</sup>	1866	Zweck	Oekonomie	Schönheit
Lux <sup>8</sup>	1910	Nützlichkeit	Ökonomie	Schönheit
Hartmann <sup>9</sup>	1928	Zweck	Wirtschaftlichkeit	Ästhetik
Schaechterle, Leonhardt <sup>10</sup>	1937	Zweckerfüllung	Wirtschaftlichkeit	Ästhetik
Faber <sup>11</sup>	1944	strength, permanence, function	economy	beauty
Nervi <sup>12</sup>	1955	function	economy	aesthetics
Torroja <sup>13</sup>	1961	nutzender Zweck, statische Funktion	Wirtschaftlichkeit	Ästhetik
Billington <sup>14</sup>	1983	efficiency	economy	elegance
Menn <sup>15</sup>	1986	Tragsicherheit, Gebrauchsfähigkeit	Wirtschaftlichkeit	Ästhetik
Pauser <sup>16</sup>	2002	Zweck, Technik, Umwelt	Wirtschaftlichkeit	Ästhetik
Eisert, Ruth <sup>17</sup>	2005	Nutzen (Tragen, Gebrauchen)	Aufwand	Nutzen (Erleben)

<sup>2</sup> Definition lt. Duden: Wissenschaft vom Schönen, Lehre von der Gesetzmäßigkeit und Harmonie in Natur und Kunst [Duden 2001].

<sup>3</sup> [Vitruv 1991, S. 45]

<sup>4</sup> [Jesberg 1996, S. 122]: Goethe urteilte über die Baukunst an sich.

<sup>5</sup> [Jormakka 2007, S. 166]: Jormakka beschreibt Durands Anliegen eines Architekturverständnisses, die von einer Fokussierung auf Ökonomie und Funktionalität ausgeht. Aus der Folge der Funktionserfüllung entsteht Schönheit.

<sup>6</sup> [Bötticher 1852]

<sup>7</sup> [Baumeister 1866]: Baumeister bezog sich auf Bötticher und seinen Lehren von Kern- und Kunstform und verwendete im Hinblick auf die Kostenrelevanz den Ausdruck „ästhetische Oekonomie“.

<sup>8</sup> [Lux 1910, S. 29]

<sup>9</sup> [Hartmann 1928, S. 5 ff.]

<sup>10</sup> [Schaechterle et al. 1937, S. 9 f.]: Die Auslegung ist sinngemäß.

<sup>11</sup> [Faber et al. 1945]

<sup>12</sup> [Nervi 1956, S. 2]

<sup>13</sup> [Torroja 1961, S. 15]

<sup>14</sup> [Billington 2014, S. 2]

<sup>15</sup> [Menn 1986, S. 74]

<sup>16</sup> [Pauser 2002, S. 13]: Pauser teilte die zu beachtenden Gesichtspunkte für den Massivbrückenbau in „Technische und wirtschaftliche Aspekte“, „Zweckerfüllung und Umweltbezug“ und „ästhetische Aspekte“ ein.

<sup>17</sup> [Eisert et al. 2005]

## 2 Motivation

Dem Ingenieurwesen wohnt ein gestalterisches Potential inne. Diese Gestaltungskraft und ihre Bedeutsamkeit für den Ingenieur speziell im Infrastrukturwesen soll mit dieser Arbeit wieder ins Bewusstsein gebracht werden. Der Ingenieur gestaltet unvermeidlich die Umwelt mit seinen Tragwerksentwürfen – ob er will oder nicht – mit und hat somit eine Mitverantwortung für unser derzeitiges und künftiges Landschaftsbild. Besonderes Augenmerk wird in dieser Arbeit auf Brücken kleiner und mittlerer Spannweite gelegt, die oft durch ihre Größe im gestalterischen Prozess übersehen werden, jedoch das Umfeld durch ihre Vielzahl entscheidend prägen.

Es wird beabsichtigt, dem Ingenieur einerseits seinen angemessenen Gestaltungsspielraum zuzuweisen und andererseits Gestaltungsgrenzen aus seinem erlernten Wissen zu setzen, um daraus einen definierten Aufgaben- und Verantwortungsbereich abzuleiten. Aus der Erfahrung des Autors werden im Infrastrukturwesen Ingenieure mit Gestaltungswillen – auch in Zusammenwirken mit Architekten – dringend gebraucht, um die in erster Linie zweckbestimmte Aufgabe eines Brückenentwurfs unter den zur Verfügung stehenden finanziellen Mitteln mit einer allgemein befriedigenden Ästhetik zu lösen.

Als Hilfestellung für die Formwahl werden dem Ingenieur dazu neben formlogischen Betrachtungen auch Parallelen zur Gestaltpsychologie aufgezeigt, um bei der Umsetzung als Federführender im Infrastrukturbau zielgerichtet gestaltend tätig werden zu können.

Durch diese Arbeit soll weder Spannung zwischen Architekt und Ingenieur erzeugt, noch eine Arbeitsaufteilung aufoktroyiert, sondern beiden das Verständnis für die Wichtigkeit der Abhängigkeit von Konstruktion und Form näher gebracht werden. Auf den Infrastrukturbau bezogen, sieht der Autor den Ingenieur in der Pflicht eine Vorleistung zu erbringen.

### 3 Problemstellung: Eine vergessene Verantwortung

#### 3.1 Status Quo

Die Gestaltung von öffentlich finanzierten Infrastrukturbauwerken, insbesondere von Brücken wird national und international begrüßt und praktiziert. Unter anderem leitete der österreichische Autobahnbetreiber ASFINAG im Jahr 2009 eine Gestaltungsinitiative ein, um seinen Beitrag zur Verbesserung des Erscheinungsbildes der Autobahnen und Schnellstraßen im Hinblick auf die architektonische Qualität und Eingliederung in das Landschaftsbild zu leisten [Eberl et al. 2013]. Nicht zuletzt durch die Historie der Gestaltungsbemühungen insbesondere im Brückenbau [Hartmann 1928; Hoshino 1972; Diciceli 2010] stellt sich heute nicht mehr die Frage „Ob oder warum Gestaltung?“. Die Frage „Wie oder durch wen ist Gestaltung durchzuführen?“ ist angesichts der vorhandenen, bisher erreichten Ergebnisse jedoch weiter diskussionswürdig.

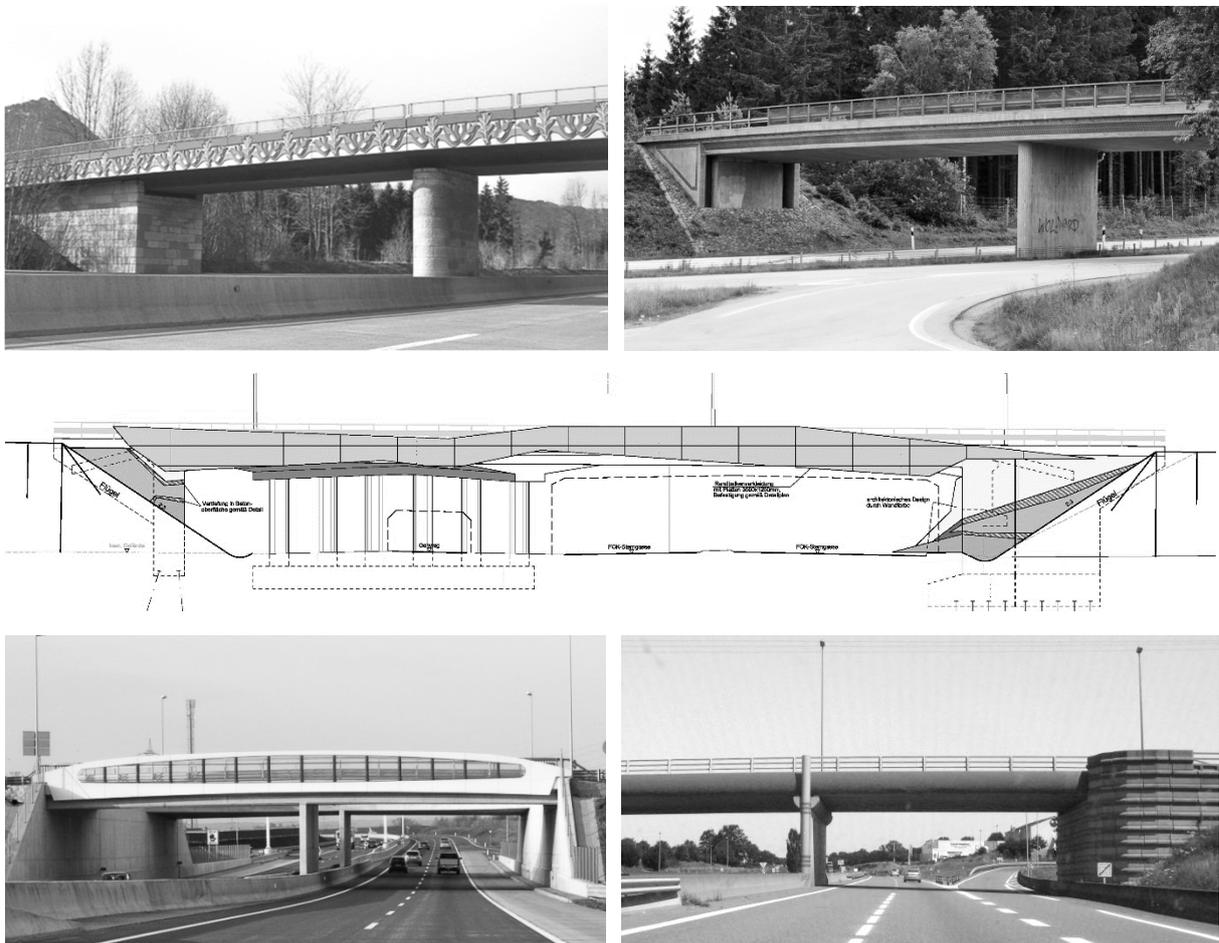


Abbildung 3: Von der Struktur abgesetzte, unabhängige Gestaltung durch Dekoration

Neben vielen erfolgreichen Einzelprojekten im Brückenbau, die in der Regel aus Einzelleistungen gestaltungsbefähigter Ingenieure bzw. aus erfolgreicher Zusammenarbeit von Ingenieuren mit konstruktionsbewussten Architekten resultieren, ist in der Projektbreite ein Prozess der Entwicklung von Gestaltungskonzepten zu beobachten, die sich möglichst losgelöst vom Tragwerk

auf Oberflächenbetrachtungen wie Textur, Haptik, Farb- und Lichtspiel beschränken. Der Architekturtheoretiker und Universitätsprofessor an der Technischen Universität Wien Kari Jormakka merkte die allgemeine Tendenz zu einer neominimalistischen Architektur an, die zu einer „malerischen Konzeption zur Wiederbelebung des Ornaments ... auf Kosten von Aspekten wie Konstruktion, Funktion oder sozialen Fragestellungen“ führt [Jormakka 2007, S. 244]. Die architektonischen und konstruktiven Entwurfsbereiche werden tunlichst getrennt, gegenseitige Schnittstellen vermieden bzw. auf ein Minimum reduziert. Diese oft dekorativen Konzepte erfüllen nur selten einen technischen Zweck und ziehen in der Erhaltung einen erhöhten Aufwand nach sich (siehe Abbildung 3).

Meistens betrifft es Farbakzente und auffällige Geländer- und Verkleidungskonstruktionen, die der Brücke aufgesetzt bzw. vorgehängt werden und in einer Aussage eines vom Autor nicht genannten Architekten als verzweifelter Ausdruck seiner Tätigkeit gipfelte: "Jede Struktur braucht eine Verkleidung, wie jeder Motor einen Karosserie erfordert". Abgesehen davon, dass im Automobilbau die Karosserie die Funktion einer erhöhten Aerodynamik erfüllt, hingegen der Zweck einer Brückenhülle stark hinterfragt werden kann, wird zu seiner Rechtfertigung angemerkt, dass der Gestaltungsspielraum für Architekten durch eine in der Regel aufeinanderfolgende Beauftragungssituation – meist sind die Tragwerkkonzepte schon vorgegeben und nur mehr marginal veränderbar – beschränkt ist.

Es ist in der Breite des Infrastrukturbaus eine Pattstellung zwischen der Unbeholfenheit des Ingenieurs in Gestaltungsfragen und der Ratlosigkeit des Architekten in Bearbeitung der umfassenden Gestaltungsaufgabe zu beobachten. Letzterer zieht sich deswegen oft in den Bereich des symbolhaften Beschmückens zurück. Eine Lücke der Gestaltungsverantwortung ist dabei offensichtlich.

Das derzeitige wieder verstärkte Vorgehen der Aufgabentrennung erinnert an die Auseinandersetzung der funktionalen, seriengefertigten Eisenbaukunst während der industriellen Revolution im 19. Jahrhundert mit der damals in Ohnmacht erstarrten Stilarchitektur des Historismus. Das technische und das gestalterische Konzept werden getrennt bearbeitet und übereinander gestülpt.

### 3.2 Konstruktion und Form

Die Diskussion in der Architektur über die Wechselwirkung der Konstruktion mit der visuellen Form reicht bis in die Antike zurück und wiederholte sich in der Folge bis heute in oftmaligen Wellenbewegungen zwischen Kohärenz und Kontrast. Nachdem die dorische Säulenordnung als Vorbild in ihrer gestaltbildenden Einheit von Form und Konstruktion gegolten hatte und noch immer gilt (z.B. [Le Corbusier 1969]<sup>18</sup>), trat mit der Einführung der Gewölbetechnik durch die Römer zur Überbrückung großer Öffnungen die erste Trennung von konstruktions- und

---

<sup>18</sup> Le Corbusier verwendet auf S. 110 f. den Parthenon-Tempel in Athen als Sinnbild für höchste Präzision und Ausdruckskraft in seiner Form und Konstruktion.

formbestimmenden Elementen auf. Die massigen Bögen wurden in der Regel bei Repräsentationsbauten mit hellenistischen Pilaster als Formelemente verziert [Straub 1992, S. 36]. Im Zuge der unterschiedlichen Stilepochen danach ist besonders die Gotik hervorzuheben, die Struktur und Form zu einem massereduzierten Skelettbau „als sichtbares System von Kraftlinien“ [Ammann 2001, S. 52] vereinigte. Nach Entstehen der polytechnischen Schulen im 19. Jahrhundert trat eine Trennung in zwei Denkschulen ein. Der französische Architekt und Architekturtheoretiker Jean-Nicolas-Louis Durand postulierte, dass Schönheit der Erfüllung von Nutzen und Funktion gleichkommt [Jormakka 2007, S. 166]. Durch das neue Baumaterial Eisen, den neuen Möglichkeiten der Vorfertigung und der Massenproduktion entwickelte sich der Ingenieurbau als eigene Disziplin. Im Gegensatz dazu argumentierte der britische Kunsthistoriker John Ruskin, dass das Künstlerische in der Architektur nur durch die zwecklosen und unnötigen Elemente ausgedrückt werden kann [ebd., S. 189] und unterstützte damit die vollkommene Loslösung der äußeren Form von der Konstruktion.

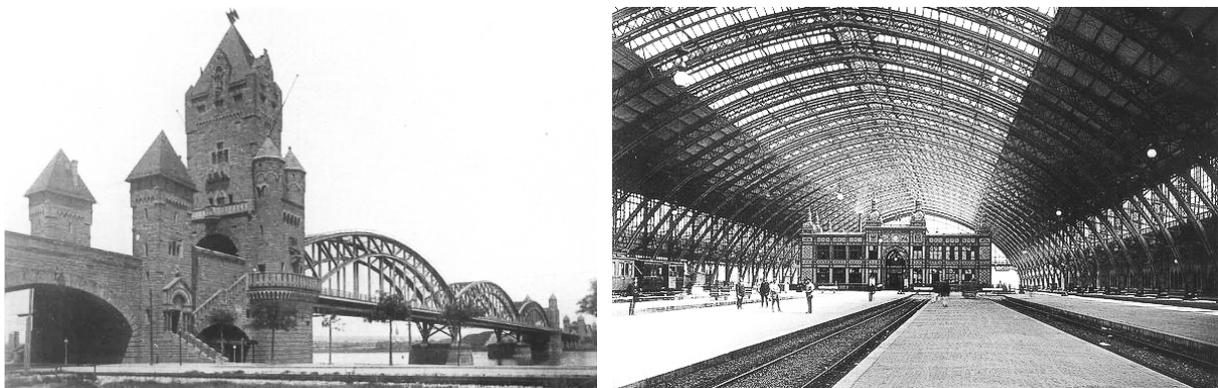


Abbildung 4: Kaiserbrücke in Mainz (links) und das Bahnhofsgebäude in Köln (rechts) (aus [Jesberg 1996])

Dem neuen Selbstverständnis unabhängig agierender Ingenieure durch immer ausgereiztere Eisenkonstruktionen, begegneten Architekten mit einer Kontrastierung durch vergangene Baustile aus traditionellem Naturstein. Architekten und Ingenieure gingen einander speziell im Bahnhofs-, Hallen- und Brückenbau aus dem Weg. Ganzheitliche Konzepte waren rar bis nicht vorhanden. Damalige Hightech-Strukturen wie die Kaiserbrücke in Mainz wurden mit mittelalterlichen Türmen als Brückenköpfe verziert (siehe Abbildung 4, links). Massige Bahnhofsgebäude wurden vor riesige Leichtkonstruktionen aus Eisen gebaut oder wie in Köln konstruktiv völlig getrennt konzipiert (siehe Abbildung 4, rechts), um jeglichen Anschein gegenseitiger Abhängigkeit zu vermeiden. Im Jahr 1928 schrieb Hartmann, frappant an den derzeitigen Status Quo erinnernd:

„Es ist noch nicht so lange her, daß man dem Architekten im Eisenbrückenbaue, da er von diesem selbst nichts verstand, schließlich nur den fertigen Entwurf vorlegte, damit er ihn künstlerisch ausschmücke. Der Architekt versah dann die Brücke ein wenig mit Ornamenten, baute in irgend einer Stilart End- und Zwischenpfeiler in die Höhe und nicht selten an den Brückenenden burgenartige Anlagen und die Sache war erledigt“ [Hartmann 1928, S. 12].

Rational und ökonomisch gestaltete Eisen- bzw. Eisenbetonstrukturen, wie die in der Bauweise fortschrittliche Kaiserbrücke in Sarajewo in Bild 6 aus Kapitel 7.1 wurden mit Steinfassaden verkleidet, um die damals „lästigen“ Notwendigkeiten zu verbergen.

Durch die Moderne kam ein Umdenken, bei dem der Brückenbau allerdings hinterherhinkte. Als Beispiel für die letztendlich allgemeine Akzeptanz von unverkleideter Brückenkonstruktionen gilt die von Othmar Amann erbaute George-Washington Brücke in New York, die mehr aus Versehen als aus Absicht zu einem neuen Verständnis des Zeigens der Konstruktion in der äußeren Form führte (siehe Abbildung 5). Die durch ihr einzigartig visuelles Erscheinungsbild – Le Corbusier nannte sie 1937 „die schönste Brücke der Welt ... sie lächelt wie ein junger Athlet“ [Le Corbusier 1964, S. 75 ff.] – wurde sie von den Menschen weithin angenommen, ohne zu wissen, dass auf die ursprünglich vorgesehene Steinfassade aus Geldmangel während der damaligen wirtschaftlichen Depression verzichtet worden war [Billington 2014, S. 122].



Abbildung 5: George-Washington Brücke jetzt (links | © rabbit75, fotolia) und ihre ursprüngliche Intention (rechts – aus [Whitney 1929])

Nach der Modernen und deren Gegenbewegung, der Postmodernen und anderer Strömungen wird das Entwerfen bis jetzt von den extremen Positionen beginnend mit den zwei FFF-Doktrinen „form follows function“ und „form follows fiction“ [Pahl 1999, S. 193] bis zur vollkommenen Loslösung der Form von funktionalen und zweckbestimmten Anforderungen des Free Form Design (FFD) beeinflusst.

Obwohl der Brückenbau über die Baugeschichte aufgrund der Zweckbestimmung immer eine Sonderstellung innehatte und von den Stilepochen nicht im vollem Umfang erfasst worden ist [May 2011, S. 28], sind derzeit in der Regel die o.a. Positionen in einem einerseits funktions- und preisdominierten Bauwirtschaftsfunktionalismus [Pahl 1999, S. 105] und andererseits in einem vereinzelt überbündenden Formalismus kostspieliger Landmarks erkennbar. Noch als Folge des Wirtschaftswunders der Nachkriegszeit dominiert beim Großteil der Brücken eine Formbildung, die primär durch ausführungstechnische Aspekte von einem immensen Kosten- und Zeitdruck ohne ästhetischen Anspruch getrieben wird, und lt. Jörg Schlaich zu anonymen

Brücken ohne Charakter führen [Bögle et al. 2004]. Ausdrucksformen von einfallsloser Monotonie und Banalität überwiegen, und die Überschreitung des schmalen Grates von der ursprünglichen Intention „less is more“ zu „less ist a bore“ [Venturi 1993, S. 17] sind im Brückenbau augenscheinlich. Der ästhetische Aufputz wird durch eine additive Aufgabe, wie schon in Kapitel 3.1 beschrieben, gemäß dem Architekturprofessor Jürgen Pahl durchgeführt: „Dafür wird wieder dekoriert, wo es denn das Renommee zu verlangen scheint ...“ [Pahl 1999, S. 105]. Auf der anderen Seite entdecken Kunstschaaffende den für sie namenlos und „in die Schublade der Ingenieurkunst wandernden“ Brückenbau, wie eine Ausgabe eines digitalen Architekturmagazins berichtet [Kunsmann 2015], als neues Betätigungsfeld der monumentalen Selbstdarstellung durch Entwürfe aus freier Inspirationen ohne technischem Hintergrundwissen, die zu willkürlichen und kostspieligen Formexperimenten führen. Das Entwurfsverständnis von der Einheit von Konstruktion und Form und letztlich auch die Erreichung der Entwurfsziele aus Kapitel 1.4 ist im Brückenbau derzeit nur in Ausnahmefällen ersichtlich. Ist aus dem Dilemma zwischen den zwei Extremen in Abbildung 6 und der von Architekten- und Ingenieurkreisen unbefriedigenden derzeitigen Lösungen aus Abbildung 3 eine Lösung in Sicht?



Abbildung 6: Reine Zwecklösung (links) versus Architekturmonument (rechts | © Mohannad Khatib/flickr)

Um bessere Ergebnisse im Brückenbau gemäß den Entwurfszielen in Kapitel 1.4 in der Praxis zu erreichen, muss die Form wieder über den Weg der Konstruktion als Einheit von Funktion und Form gefunden werden. Hartmann forderte schon 1928, dass der Ingenieur mit seiner Kompetenz in die Gestaltungspflicht genommen werden muss, um die ästhetische Qualität von Brücken zu heben: „Ein künstlerisches Schaffen ohne Kenntnis der heute ungeheuer umfangreichen Theorie des Brückenbaues ist unmöglich“ [Hartmann 1928, S. 13]. Diese Forderung zur Gestaltungsverantwortung der Ingenieure wird in gleicher Weise auch aus Architekturkreisen unterstützt, wie der Architekt, Journalist und Lehrbeauftragte für Architekturtheorie Paulgerd Jesberg ausführte:

„Der Ingenieur – von der Wortdeutung her im Besitz des *ingenium*, der geistigen und schöpferischen Kräfte – ist in seinem Werk an die Gesetze des Materials und der Konstruktion gebunden; denn Konstruieren, Bemessen und Errichten, der Prozeß der Formfindung und Gestaltbildung ist, wie alles Bauen, im Grunde ein ingenieuser Vorgang. Erst die Beherrschung aller damit verbundenen Bedingungen und Gesetzmäßigkeiten schafft die Voraussetzung der Freiheit ästhetischer Gestaltung“ [Jesberg 1987, S. 9].

Nach Jesberg ist das Bauen von den Kräften her bestimmt, „die der Form Sprache geben und der Gestalt Ausdruck verschaffen“ [ebd., S. 7]. Wie in späteren Kapiteln erläutert, findet dieser gestaltbildende Ansatz in der Natur, der Gestaltpsychologie und letztlich in der Interpretation von Kern- und Kunstform auf Grundlage der klassischen Architektur seine Bestätigung. Somit liegt die Lösung in einer ingeniosen Denk- und Herangehensweise, wie es Jesberg in [Jesberg 1996] propagierte, die auch eine Freiheit des kreativen Handelns und Wirkens bedeutet und in den letzten Jahrzehnten oder noch länger in Vergessenheit geraten ist.

Neben Jesberg und dem Architekt Dietmar Feichtinger, der bei der Erstellung des Leitkonzepts Gestaltung Brücke der ASFINAG mitgewirkt hat, forderten bzw. fordern bezeichnenderweise weitere Kunstexperten und Architekten in eigenen Schriften und Veröffentlichungen eine erneuerte ingenieurgesteuerte Herangehensweise ein, um die entstandene Gestaltungslücke zu füllen. Schon 1910 prangerte Joseph August Lux die Architekturpraxis der übergeworfenen Stilformen an und hob die ästhetischen Leistungen der Ingenieure – diese in ihrer Gestaltungskraft tlw. noch unwissend – hervor, indem er von der „Schönheit der neuen Konstruktion aus ihrem eigenen Wesen“ schreibt [Lux 1910, S. 6]. In seinem sehr aktuell veröffentlichten Buch ortet der Architekt Helmut C. Schulitz jede Bauform als Produkt der Technik und des Bauprozesses und ermutigt damit auch indirekt den Ingenieur in seinem Wirken zu mehr Gestaltungsverantwortung [Schulitz 2014, S. 9].

### 3.3 Leitlinien zur Gestaltung von Brücken

Auch von Ingenieurseite wurde schon vielfach versucht das gestalterische Repertoire des Ingenieurs speziell im Brückenbau mit Hilfe von Regelhandbüchern bzw. Leitfäden als Aufgabe zu formulieren. Reinhard Baumeister schrieb 1866 sein bemerkenswertes Buch „Architektonische Formenlehre für Ingenieure“ noch in der Zeit der Natursteinbrücken und der aufkommenden Eisen- und Eisenbetonbrücken als Abhilfe für den Ingenieur seine „künstlerische Seite ... zu kultivieren“ [Baumeister 1866, Vorwort]. Von den Grundannahmen einer Formgebung auf Basis der Funktion, lag er schon damals richtig. Brückenästhetische Betrachtungen wurden in der Zwischenkriegszeit durch Friedrich Hartmann und Hermann Rukwied erstellt [Hartmann 1928; Rukwied 1933]. Karl Schaechterle veröffentlichte gemeinsam mit Fritz Leonhardt 1937 Hinweise für die Gestaltung der Brücken der Reichsautobahn [Schaechterle et al. 1937], bis Fritz Leonhardt selbst sein über die deutschsprachigen Grenzen hinaus bekanntes Standardwerk „Brücken – Bridges“ verfasste [Leonhardt 1982]. Anhand von vielen Brückenbeispielen leitete er aus langjähriger Entwurfserfahrung und seiner Gabe der Beobachtung Regeln für gute Gestaltung ab, die bis heute Anwendung und Akzeptanz finden. Aus dem anglikanischen Raum ist das mit einem umfangreichen Bildmaterial weltweit gebaute Brücken ausgestattete Werk von Charles S. Whitney aus 1929 als architektonische Anleitung für den Ingenieur zu erwähnen [Whitney 1929].

Christian Menn und Alfred Pauser stellten zunächst in ihren Büchern zu Stahlbetonbrücken treffende, jedoch eher allgemein gehaltene Grundsätze auf [Menn 1986; Pauser 2002], die zu

einem ästhetischen Mehrwert führen. Weiter ins Detail ging Alfred Pauser, indem er 42 Kriterien für den Brückenentwurf in seiner Gesamtheit sowie 25 Kriterien für die Detailausbildung vorschlug, die auch teilweise im österreichischen Merkblatt RVS 15.01.11 „Qualitätskriterien für die Planung von Brücken [FSV 2003] Verwendung finden. Inspiriert von den o.g. Werken durch Leonhardt, Menn und Pauser wurden die Gestaltungsziele für das Leitkonzept „Gestaltung Brücke“ der ASFINAG zur verpflichtenden Anwendung erstellt [Steiner et al. 2014]. Erwähnenswert sind auch die Werke von Hoshino, der interessante Gedanken zur Ortseinbindung von Brücken mit den Begriffen Verwischen, Harmonisieren und Akzentuieren einbrachte [Hoshino 1972] sowie der 2008 durch die Deutschen Bahn erschienene „Leitfaden Gestaltung von Eisenbahnbrücken“ [Schlaich et al. 2008].

Tabelle 2 zeigt eine Gegenüberstellung von Kriterien aus der Literatur, die sich auf Aspekte der Brückenästhetik beziehen und grob in die vier Hauptgruppen der Formharmonie, der Formauthentizität, des Orts- und des Oberflächenbezugs zusammengefasst werden können. Zu unterscheiden sind einerseits Aspekte wie die objektübergreifende Gestaltung, Farb-, Material- und Oberflächenbezug, die nicht direkt aus dem ingenieurtechnischen Kontext heraus abgeleitet werden können und ausschließlich eine intuitive, künstlerisch-feinfühliges bzw. sinngebende Befähigung erfordern. Deswegen werden diese Gestaltungsaspekte in der weiteren Arbeit nicht behandelt. Andererseits stehen Aspekte der Formauthentizität, wie z.B. die Visualisierung der Kraftwege und Klarstellung des Tragsystems als Darstellung der primären Funktion in dieser Arbeit im Vordergrund, da diese in einem direkten, logisch ableitbaren, ingenieurtechnischen Zusammenhang stehen und bisher in der Literatur nur peripher behandelt wurden. Daraus ergeben sich weitere zur Formauthentizität gehörige Gesichtspunkte, wie die Verfeinerung der Form, Prägnanz, Einfachheit und Komplexität bis hin zur (ingenieur-)künstlerischen Ausformung, die Gespür aus einer ingeniosen Herangehensweise erfordern.

Selbstverständlich gelten auch die Kriterien der Formharmonie wie Proportion, Ordnung und Transparenz als wesentliche Formverfeinerungen und können teilweise durch die Gestaltpsychologie erklärt werden. Auf diese wird in dieser Arbeit nur vereinzelt in Kapitel 7.4 eingegangen.

Aus der o.a. Abhandlung wird die Frage der Bildung der äußeren Form im Sinne der Authentizität und Wahrhaftigkeit mit der Funktion im Brückenbau einer eingehenden Betrachtung aus dem historischen und wahrnehmungspsychologischen Kontext unterzogen und als Ziel für das nächste Kapitel und für die wissenschaftlichen Aufsätze definiert. Was steckt hinter den Forderungen Schlaichs und Menns nach der „Ablesbarkeit des Kraftflusses“ [Schlaich 2000, S. 37]<sup>19</sup> bzw. nach einer Tragwerksgestaltung durch Visualisierung der technischen Effizienz, Ganzheitlichkeit und des Kraftflusses [Menn 2008, S. 16]. Diese Argumente reichen augen-

---

<sup>19</sup> Jörg Schlaich forderte im Wissen um die Zustimmung jedes Ingenieurs bei der Formbildung einer Brücke „..., dass ihre Form sich aus ihrem Tragverhalten entwickeln und dieses widerspiegeln muss; ist ihr Kraftfluß nicht ablesbar, ist sie nicht wahrhaftig, wird gar ein falscher Kraftfluß vorgegaukelt ist sie unehrlich, verlogen.“

scheinlich derzeit noch nicht aus, Ingenieure von ihrer ingeniosen Verantwortung zu überzeugen und Bauherrn sowie die Öffentlichkeit zur Zuerkennung von gesamtheitlichen Aufgabstellungen für den Ingenieurstand zumindest im Infrastrukturbau zu bewegen.

Tabelle 2: Gegenüberstellung einiger Kriterienkataloge aus der Literatur, die sich auf Brückenästhetik beziehen

Bezug	Leonhardt <sup>20</sup>	Menn <sup>21</sup>	Pauser <sup>22</sup>	Svensson <sup>23</sup>	ASFINAG <sup>24</sup>	
	1982	1986	2002	2009	2012	
Ort	Einpassung in die Umwelt	Einpassung in das Landschaftsbild		Einpassung in die Umgebung	Objektübergreifende Gestaltung	
	Einbeziehen der Natur					
Formharmonie	Proportionen			Raum über der Brücke		Proportionen
		Transparenz	Transparenz			Transparenz
		Schlankheit			Visuelle Schlankheit	
	Ordnung	Ordnung, Ausgewogenheit und Regelmäßigkeit	Ordnung, Maßstab, Harmonie	Ordnung	Ordnung	
Formauthentizität				Einfachheit	konstruktive Ästhetik	
				Klarheit des Tragsystems erkennbarer Kraftfluss		Visualisierung der Kraftwege
	Verfeinerung der Form	Künstlerische Gestaltung	Charakter			
	Komplexität – Reize durch Verschiedenartigkeit		Prägnanz			
Oberfläche					Detailausbildung	
	Oberflächentextur				Farb-, Material- und Oberflächenbezug	
	Farben			Farbgebung		
				Baustoffe		
			Beleuchtung			

<sup>20</sup> [Leonhardt 1982, S. 26 ff.]

<sup>21</sup> [Menn 1986, S. 83 ff.]

<sup>22</sup> [Pauser 2002]: Die Kriterien wurden nach Meinung des Autors sinngemäß zusammengefasst.

<sup>23</sup> [Svensson 2009]

<sup>24</sup> [Steiner et al. 2014]

## 4 Ziel: Konstruktive Gestaltfindung

Es wird mit einem Exkurs in die Gestaltpsychologie begonnen, um auf die Tatsache hinzuweisen, dass die Formbildung im Zusammenhang mit der Kraftweiterleitung elementaren Einfluss auf den Menschen in Form der Wahrnehmungsvorgänge von Tragen und Lasten ausübt. Die Entscheidungen der Tragwerkswahl, Bauteildimensionen und Detailausformungen im Zuge der Berechnung, Bemessung und Konstruktion haben somit weitreichende ästhetische Auswirkungen, denen sich ein Ingenieur nicht entziehen kann.

### 4.1 Tragen und Lasten

Der im späten 19. Jahrhundert wirkende deutsche Philosoph und Psychologe Theodor Lipps verband die innerstrukturellen statischen Verhältnisse mit der ästhetische Wirkung, indem er 1897 vom „optischen und ästhetischen Eindruck, den wir von geometrischen Formen gewinnen, nur zwei Seiten einer und derselben Sache seien, und ihre gemeinsame Wurzel haben in Vorstellungen von mechanischen ‚Thätigkeiten‘ “ schrieb [Lipps 1966, Vorwort]. Lipps führte weiter aus, dass jeder Mensch ein „unbewusstes mechanisches Wissen“ besitzt [ebd., S. 35]. Auch Arnheim verwies in Fortleitung der Aussagen von Lipps auf die elementare und umfassende psychologische Wirkung von Umrandungen, Kanten und Flächen auf den Menschen – für den Künstler greifbar und in seinen Künsten verwendbar, für den „Mann auf der Straße“ eher im geringeren Ausmaß, jedoch im Unterbewusstsein wahrnehmbar [Arnheim 1980, S. 78].

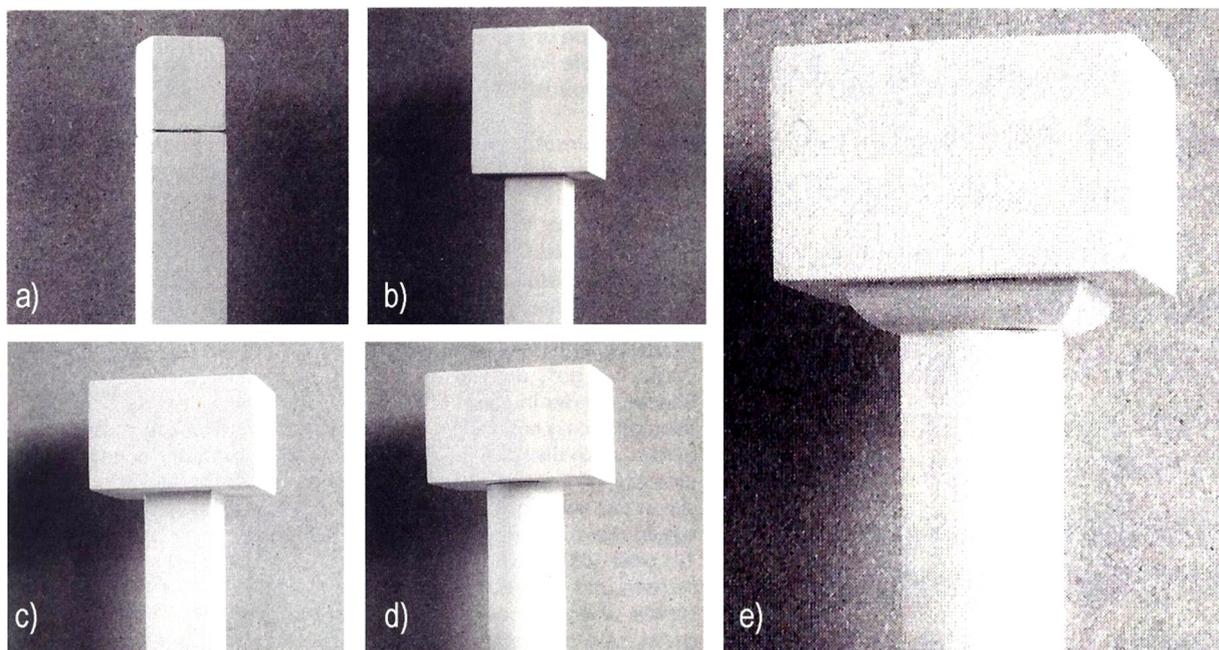


Abbildung 7: Unterschiedliche Bauteilkonfigurationen als Experiment zur Beurteilung des Empfindens von Tragen und Lasten [aus Seyler 2003]

Der mit Arnheim befreundete Bildhauer, Kunstwissenschaftler und Kunstpädagoge Axel Seyler beschreibt die Abhängigkeit von Bauteilkonfigurationen und deren unmittelbare wahrnehmungspsychologische Wirkung auf den Menschen mit der Aussage „... es liegt im Menschen beim Wahrnehmen bestimmter Formen die Neigung zum Ablesen des Vorgangs Tragen und

Lasten“ [Seyler 2003, S. 108]. Seyler wies dieses Phänomen auch mit Experimenten nach, indem er Versuchspersonen die Ausdrucksstärke von Tragen und Lasten an unterschiedlichen Bauteilkonfigurationen testen und auswerten ließ (siehe Abbildung 7). Dabei zeigte es sich, dass dieses wahrgenommene Empfinden in Abbildung 7a) am Schwächsten und über die weiteren Abbildungen ansteigend in Abbildung 7e) am Stärksten ausgeprägt ist. Abbildung 7e) erinnert sofort an die dorische Säulenordnung in der antiken Baukunst, was vermuten lässt, dass die wahrnehmungspsychologische Wirkung auf den Menschen schon den Baumeistern in der Antike bewusst war, „physische Vorgänge anschaulich zu machen“ [Seyler 2003, S. 111]. Nicht zuletzt deshalb zieht auch der Architekt und Kunsthistoriker Karl Bötticher im 19. Jahrhundert die „hellenische Tektonik“ als Vorbild ästhetischen Bauens heran und formulierte daraufhin sein Gestaltungsprinzip von „Kernform und Kunstform“ [Bötticher 1852], auf das noch in Kapitel 4.4.2 näher eingegangen wird.

Schon Ingenieure aus dem 19. Jahrhundert begriffen den Umstand, dass Form- und Gestaltbildung etwas mit ihren eigens zugewiesenen konstruktiven Aufgaben zu tun hat. Von Karl Bötticher inspiriert, schreibt Reinhard Baumeister von der Schwere und Festigkeit, die zu einer entsprechenden ästhetischen Wirkung führt: „Die wahre Aufgabe ist vielmehr der freie ästhetische Schein einer Überwindung der Schwere und der Zerbrechlichkeit des Materials in sich selbst. In allen Baukonstruktionen bekämpfen einander die beiden Grundeigenschaften der festen Körper: Schwere und Cohäsion“ [Baumeister 1966, S. 30]. Auch im Bereich der Philosophie deutete Arthur Schopenhauer auf den unmittelbaren Zusammenhang zwischen dem darzustellenden Tragmechanismus und der daraus folgenden ästhetischen Wirkung mit der Anmerkung hin: Der „alleinige ästhetische Stoff der schönen Architektur ist der Kampf zwischen Schwere und Starrheit“ [Schopenhauer 1986].

Die o.a. Begriffs dualismen wie „Tragen und Lasten“, „Schwere und Festigkeit“ bzw. „Schwere und Starrheit“ können eindeutig in die heute geläufigen Bezeichnungen von „Einwirkungen und Widerstände“ übertragen werden, deren Berechnung und Gegenüberstellung der Grundaufgabe eines Ingenieurs entsprechen. Ingenieure treffen in der Regel auf Basis ihrer Ausbildung die erforderlichen Material-, Dimensionierungs- und Proportionsentscheidungen, z.B. bei Brücken, deren Bauteilformen Einfluss auf den Betrachter ausüben. Daraus wird abgeleitet, dass die Beschäftigung mit der Form und ihrem visuellen Ausdruck elementar in den Wirkungs- und letztlich in den Verantwortungsbereich eines Ingenieurs fällt. Die Voraussetzung liegt in einer ingeniosen Denk- und Handlungsweise, um dieses Gestaltungspotential zu ergreifen und die damit verbundene Verantwortung auch wahrnehmen zu können.

## 4.2 Ingeniöse Denk- und Handlungsweise

Paulgerd Jesberg beschreibt den Begriff „ingeniöse Tätigkeit“ als „schöpferisches und gestaltendes Handeln“, eine Tätigkeit verbunden mit „Scharfsinnigkeit und Beweglichkeit des Geistes, Witz und Einfallsreichtum, um den Phänomenen zu begegnen, sie zu durchschauen und die gestellten Probleme ganzheitlich zu lösen“ [Jesberg 1996, S. 7]. Diese Aufgabe inkludiert neben

der Lösung statisch-konstruktiver und funktionaler Problemstellungen im Rahmen einer angemessenen Wirtschaftlichkeit auch die kreativen, erfinderischen und gestaltgebenden Tätigkeiten, ein Bauwerk nicht nur zur Zweck-, sondern auch zur Sinnerfüllung aus konstruktiven Denkansätzen heraus zu entwickeln. Neben der Verantwortung, mit seinen Ingenieurleistungen Umwelt unvermeidlich mitzugestalten, setzt dort der kreative Gestaltungsspielraum für den entwerfenden Ingenieur ein.

Dazu ist eine ingenioöse Herangehensweise erforderlich, die das ingenieurtechnische Denkkorsett stets als Grundlage hat, jedoch um die spielerische, erfinderische und gestaltgebende Komponente erweitert wird. Diese geht wiederum aus ingenieurtechnischen Ansätzen hervor. Das Ziel einer ingenioösen Tätigkeit ist die Umsetzung einer technischen Idee zur realen Konstruktion, die eine Ausdrucksstärke und dadurch auch einen ästhetischen Wert innehat. Der ingenioöse Denker benützt sein Erlerntes und Erfahrenes aus den Ingenieurwissenschaften als Basis zur kreativen Umsetzung. Im Zuge dessen kann der Ingenieur sein angestammtes Werkzeug, die Berechnung, in Form leistungsstarker Statikprogramme auch als kreatives „Spielzeug“ anwenden. In Kapitel 7.3 wird darauf näher eingegangen und mit einer sequentiellen Formentwicklung untermauert.

Als Beispiel eines ingenioösen Vorgehens gilt der schweizer Ingenieur Robert Maillart, der als einer der frühen Pioniere die neuen formalen Möglichkeiten des Eisenbetonbaus erkannte. Aufgrund von Rissen in den hohen Seitenwänden der Innbrücke bei Zuoz entschied Maillart bei seinem nächsten Entwurf, der Brücke über den Rhein bei Tavanasa, nicht das Konzept von Zuoz mittels Verstärkungen zu wiederholen, sondern ließ die „Problemzonen“ durch einen erfinderischen Kunstgriff einfach weg (siehe Abbildung 8).

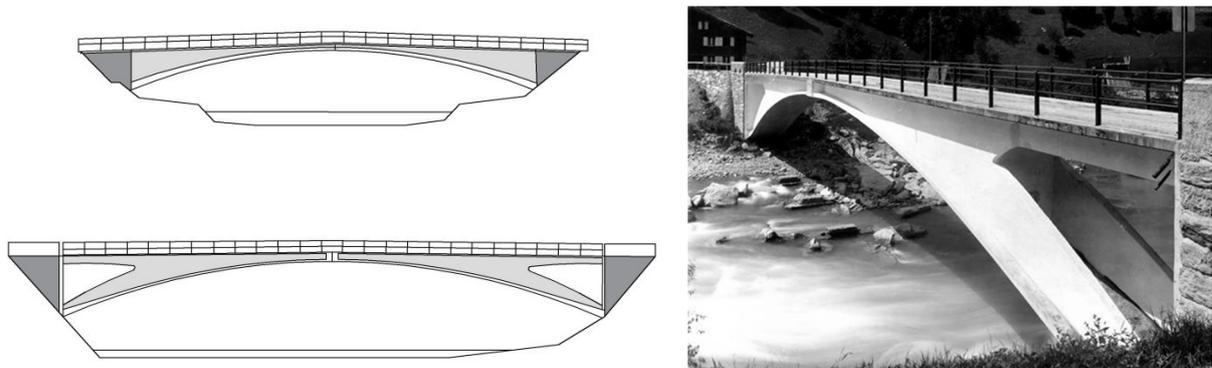


Abbildung 8: Innbrücke bei Zuoz (links oben) und Brücke über den Rhein bei Tavanasa (links unten und rechts) (aus [Billington 1990]) | rechts: © ETH Bibliothek Zürich

Eine, für das Jahr 1905 vollkommen neue Form, die auf das Wesentliche reduziert worden war, entstand aus statisch-konstruktiven Überlegungen und einer Portion Erfindungsgeist. Darüber hinaus strahlte der Entwurf eine unmissverständliche, dem statischen System zugrundeliegende Formauthentizität mit außerordentlicher Eleganz aus. Die markante Form des Dreigelenkbogens wurde von Maillart bei vielen seiner Brückenentwürfen wiederholt und weiter verfeinert.

Der Künstler und Architekt Max Bill beschreibt treffsicher die ingenioöse Qualität und Ausdrucksstärke von Maillart's Brücken wie folgt: „... vor allem seinen Brückenkonstruktionen

haftet etwas an, das sie über das rein Technische gerade durch die Intensivierung des Technischen hinaushebt. ... Seine Formkraft ist die eines Künstlers, der mit zeitgemäßen Mitteln unter Ausnützung aller seiner Möglichkeiten immer wieder Neues hervorbringt, ...“ [Bill 1949, S. 27].

### 4.3 Pyramide des Formausdrucks

Der Prozess die Form bzw. die Gestalt aus einer ingenieösen Denk- und Herangehensweise zu entwickeln wird hierin als „Konstruktive Gestaltfindung“ oder in der englischen Übersetzung mit dem globaleren Begriff „Structural Shaping“, beschrieben. Dieser Prozess gibt die Leitlinie der Entscheidungsfindungen vor, auf deren Basis Formbildung in einer schöpferisch-kreativen Weise zur Gestaltfindung durch den Formausdruck geschieht. Ziel ist es, dass die Anforderungen an die fundamentalen ästhetischen Grundwerte nach Smith lt. Kapitel 1.4 aus diesem Prozess heraus erfüllt werden. Der Prozess der konstruktiven Gestaltfindung besteht grundsätzlich aus drei Stufen, die pyramidenartig entsprechend der Intensität ihres Formausdrucks aufeinander aufbauen (siehe Abbildung 9).

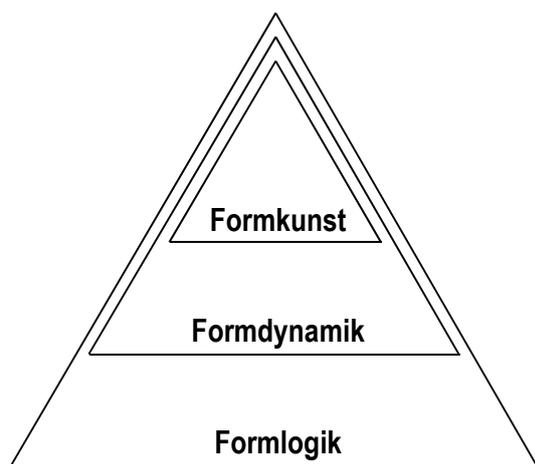


Abbildung 9: Pyramide des Formausdrucks

Auf Basis einer entsprechenden Formlogik, die in sich schon einen ästhetischen Grundanspruch authentischer Formbildung aufweist, können formdynamische Effekte den Formausdruck steigern und die Ausdrucksstärke zur Spitze treibend, in seltenen Fällen auch zur Formkunst werden. Für die Vorgehensweise in Abbildung 9 kann die treffende Aussage der Ingenieure Schaechterle und Leonhardt, die im Brückenbau gemeinsam mit dem Architekten Paul Bonatz arbeiteten, herangezogen werden: „Die sichtbare Zweckmäßigkeit ist eine Vorstufe der künstlerischen Gestaltung, bei der zur reinen Zweckform noch etwas hinzukommt, was höherer Ordnung ist und außerhalb des Rationalen liegt und dem Werk Kunstwert verleiht.“ (Schaechterle et al. 1937, S. 9). Bonatz ergänzte die Wichtigkeit des Formausdrucks wie folgt: „Unter Schönheit verstehen wir die Reinheit, die Verständlichkeit der Form, das Sinnfällige des Kräftespiels, das Unterscheiden von schwer und leicht, von Lastendem und Schwebendem, kurz die Ausdrucksstärke“ (zitiert aus [Tiedje 1966, S. 5]).

Die einzelnen Begriffe der Formlogik, Formdynamik und Formkunst werden in der Folge näher erläutert. In dieser Arbeit wird insbesondere Augenmerk auf die Formlogik und die Formdynamik für Ingenieure als erreichbaren Anspruch gelegt. Das Potential zur Formkunst ist nur wenigen, künstlerisch begabten Akteuren aus dem Bauwesen vorbehalten. Aus diesem Grund wird die Formkunst in den wissenschaftlichen Aufsätzen in Kapitel 7 nicht näher beleuchtet.

## 4.4 Formlogik

### 4.4.1 Natur als Vorbild

Natürliche Strukturen sind in sich stimmige Beispiele für absolute Formauthentizität. Unter der Vorgabe voller Funktionserfüllung durch organische und geologische Formfindungs- und Optimierungsprozesse entwickeln sie ihre äußere Form (siehe Abbildung 10). Sie erfüllen nach Rudolf Finsterwalder quasi die Entwurfsziele aus Kapitel 1.4 durch ihre Funktionalität, Effizienz aus sparsamen Gebrauch von Baustoff und Energie und der unbestreitbaren Schönheit der Muster und Formen der Natur, die auf mathematischen Regeln, dem Gleichmäßigen und Regelmäßigen, der Symmetrie aufbaut, und dem „was der Mensch als harmonisch empfindet“ [Fensterwalder 2011, S. 16].

Umgesetzt auf die Baukonstruktion wirkt diese grundsätzlich authentisch, wenn ihre innere funktionale Absicht schlüssig und folgerichtig – logisch – in der Außenform veranschaulicht wird. Diese Wahrhaftigkeit und Authentizität in der Form führt zu Harmonie und letztlich zu Gefälligkeit und Schönheit. Karl Bötticher verglich das Bildungsprinzip der hellenistischen Baukunst, die als allgemein akzeptiertes Symbol ästhetischen Bauens gilt<sup>25</sup>, als identisch mit der „lebendigen Natur“ [Bötticher 1852, S. 6]. Böttichers früher Zeitgenosse und inhaltlicher Wegbereiter Karl Friedrich Schinkel wird oft mit folgendem Satz zitiert: „Die Architektur ist Fortsetzung der Natur in ihrer konstruktiven Tätigkeit“ [Poerschke 2014, S. 91]. Der Gestaltpsychologe Rudolf Arnheim interpretierte Adolf Loos in der Weise, dass das Hervorbringen von Objekten als Erweiterung der Natur zu sehen ist und daraus folgend auch deren Anschauungsmerkmale aus den physikalischen Funktionen zu entwickeln sind [Arnheim 1980, S. 220]. Loos bezog sich gemäß Arnheim auch auf die Formbildung von Baumstrukturen, auf deren harmonischen Linienführungen einschließlich einer möglichen bautechnischen Umsetzung in Kapitel 7.4 eingegangen wird (siehe auch [Mattheck 1998]). Für Arnheim selbst vermittelt die Natur, in Vorwegnahme auf Kapitel 4.5, eine starke Anschauungsdynamik in einem stimmigen und nicht beliebigen<sup>26</sup> Zusammenspiel mit den mechanischen Erfordernissen, „da ihre Formen die Spuren physischer Kräfte zeigen, die die Objekte schufen“ [Arnheim 2000, S. 418].

---

<sup>25</sup> Le Corbusier bezeichnet den Parthenon als den höchsten Gipfel der griechischen Baukunst, die aus Konstruktion entsteht. „Jeder Teil ist entscheidend und zeigt ein Maximum an Präzision und Ausdruckskraft [Le Corbusier 1969, S. 110 f.]. In der Formbildung zieht er dabei einen Vergleich mit der Maschinenästhetik.

<sup>26</sup> Frank et al. bezeichnet die Natur als stimmige, organische Geschlossenheit, in der keine Beliebigkeit vorhanden ist [Frank et al. 2008, S. 137]

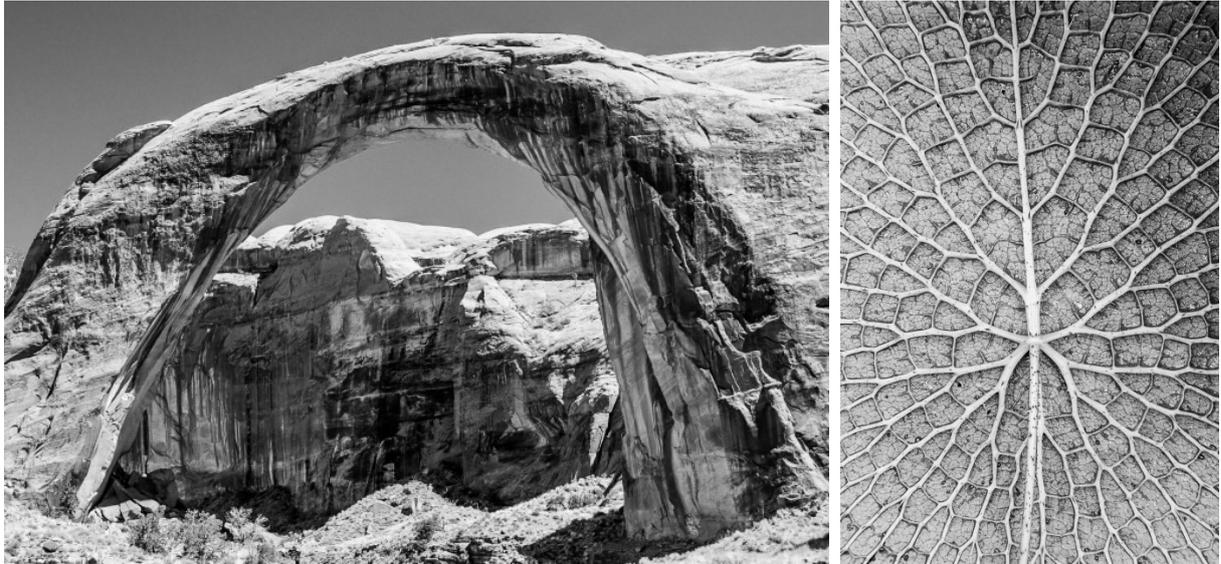


Abbildung 10: Natürlich entwickelte Strukturen als Vorbilder für Formauthentizität | links © StarfredCreation, fotolia; rechts © creativix, fotolia

#### 4.4.2 Kern- und Kunstform

Für das Verständnis von Formlogik ist Karl Böttichers Werk „Tektonik der Hellenen“ ein Schlüsselwerk, in dem er die vollkommene It. Oechslin „innere Kohärenz von Materie und Form ... im Sinne von Notwendigkeit und Wahrheit“ [Oechslin 1994, S. 61] am Beispiel der griechischen Säulenordnungen veranschaulicht (siehe Abbildung 11). Bötticher beschreibt die Vorgangsweise der Formbildung als: „Begriff, Wesenheit und Funktion jedes Körpers durch folgerechte Form zu erledigen, und dabei diese Form in den Äußerlichkeiten so zu entwickeln, dass sie die Funktion ganz offenkundig verräth“ [Bötticher 1852, S. 6].



Abbildung 11: Die klassische Säulenordnung als vollkommene Einheit von Funktion und Form | © zenzaetr, fotolia

Das Ergebnis des hellenistischen Bildungsprinzips ist „die Verkörperung oder plastische Darstellung seines inneren Begriffes im Raume. Die Form erst verleiht dem baulichen Materiale die Eigenschaft seine Funktion erfüllen zu können; umgekehrt kann aus der Form jedes Mal die Funktion erkannt werden“ [ebd.]. Um diese enge Verbindung von Form und Funktion zu erklären, verwendete Bötticher die Begriffe der Kern- und der Kunstform. Als Kernform wird die Form bezeichnet, die auf Basis statisch-konstruktiver Anforderungen gefunden wird. Die Kunstform ist die gemäß Bötticher nach außen visuell abgebildete „funktionserklärende Charakteristik“ [Bötticher 1852, S. XIV]. Es wird daraus die Verschmelzung beider Formbegriffe in ein und dasselbe Gebilde und nicht eine Trennung zwischen „darstellender Hülle und verkleidetem Kern“ [Kühn 1998, S. 47] als Grundlage zur Formlogik interpretiert. Als Beispiel dafür wird die Visualisierung der Krafteinleitung in eine klassische Säule in Kapitel 7.2 gebracht.

Böttichers Aussagen ziehen sich wie ein roter Faden durch einige Schriften zur Gestaltung im Ingenieurbau bis hin zur Gestaltpsychologie. Baumeister bezieht sich auf die Grundsätze Böttichers der Kern- und Kunstform und formuliert sie als Grundlage für ingenieurtechnisches Gestalten, insbesondere auch für den Brückenbau [Baumeister 1866, S. 14]. Karl Schaechterle und Fritz Leonhardt erwähnen in ihren Ausführungen zur Gestaltung von Brücken den Ästhetiker Friedrich Theodor Vischer, der von der wahren Schönheit durch das Zusammenspiel von Technik und Form nicht nur anhand einer äußeren Schale, sondern eines kraftvollen Kerns spricht [Schaechterle et al. 1937, S. 9]. Vischer seinerseits verweist in seinem Werk über die „Ästhetik oder Wissenschaft des Schönen“ auf Böttichers Theorie der Kern- und Kunstform [Vischer 1852, S. 190].

Analog der Bezeichnungen von Kern- und Kunstform durch Bötticher argumentiert auch Arnheim mit seinen formdynamischen Überlegungen [Arnheim, 1980]. Er verwendet dafür den Begriff des Wahrnehmungsausdrucks. Arnheim erklärt die Ausdrucksqualität mit dem Beispiel eines antiken Gefäßes, das in seiner Form drei Grundfunktionen des Aufnehmens, Enthaltens und Ausschenkens verdeutlicht. So wie z.B. durch die bauchige Außenwölbung eines griechischen Keramikgefäßes in Abbildung 12 die Funktion des „Enthaltens“ bewusst äußerlich in der Form dargestellt und vermittelt wird [ebd., S. 261 ff.], kann im weiteren Sinn auch bei Tragsstrukturen die innewohnende Funktion des „Tragens“ oder „Überspannens“ formbildend durch Visualisierung des Tragverhaltes als dynamischer Wahrnehmungsausdruck verfolgt werden. „Man kann die Form einer Tür oder einer Brücke nicht verstehen, wenn man sie nicht im Zusammenhang mit ihrer Funktion sieht. Und außerdem wäre es geradezu widersinnig, in einem Gebäude (oder einer Brücke – Anm. Autor) etwas anderes zu sehen als ein Mittel zum Zweck“ [ebd., S. 10]. Die entscheidende Aufgabe ist nach Arnheim demnach „zu untersuchen, wie dieser Zweck aussieht und wie er sich am besten (durch die äußere Form – Anm. Autor) erreichen lässt“ [ebd.].



Abbildung 12: Griechisches Gefäß, 6. Jh. v. Chr.  
| © Kunsthistorisches Museum Wien

Nicht unerwähnt darf Torrojas Werk „Logik der Form“ bleiben, aus dessen deutschen Übersetzung auch die Wortschöpfung der „Formlogik“ abgeleitet wird [Torroja 1961]. Der geniale spanische Ingenieur Eduardo Torroja setzt den Zweck eines Bauwerks an erste Stelle und leitet davon die Struktur und Form im Sinne der Optimierung der Entwurfsziele aus Kapitel 1.4 von Zweck/Funktion, Wirtschaftlichkeit und Ästhetik ab. Er beschreibt den Entwurfsprozess eines Tragwerks auf Basis des Baustoffs und der Konstruktion, aus deren Wirkungsweise sich in einer konsequenten Abfolge und einer Brise Feingefühl die Form ergibt.

Formlogik kann aus den Ausführungen Böttichers und Torrojas als Verkörpern der inneren Strukturabsicht, die bei Ingenieurbauwerken wie Brücken mit dem Tragverhalten gleichzusetzen ist, im entsprechenden äußeren Formausdruck abgeleitet werden. Die Deckungsgleichheit der technisch gefundenen Form und der ausdrucksvermittelnden Form ist dabei das Ziel. Die Einhaltung einer Logik in der Formbildung ist im zweckgesteuerten Infrastrukturbau in gleicher Weise wie die ingenieurtechnischen Aufgaben des Entwerfens, Planens, Berechnens, Bemessens und der Konstruktion von Tragwerken nach Auffassung des Autors Pflichtaufgabe des Ingenieurs. Ingeniöses Handeln, wie schon in Kapitel 4.2 erwähnt, erwächst aus den Wurzeln des Ingenieurwissens. Dem Ingenieur kann definitiv zugetraut werden, korrekte Formbildung aufgrund seiner Kenntnisse und seiner anerzogenen und erlernten analytischen Herangehensweise zu verantworten. Sie unterstützt die logische, schrittweise Denkweise, die sich von der intuitiven Herangehensweise eines Kunstschaffenden unterscheidet. Pier Luigi Nervi widmete ein eigenes Kapitel in seinem Buch „Structures“ dem korrekten Bauen, das die in Kapitel 1.4 vorgestellten Entwurfsziele umschließt [Nervi 1956, S. 2]. Wenn willentlich formlogisch konstruiert wird, wird nebenher Schönheit [ebd., S. vi] mit ingenieurtechnischen Mitteln erreicht. Für den Ingenieur werden Formansätze, Beispiele und die Möglichkeiten seine Werkzeuge einzusetzen deshalb in den Kapiteln 7.1 bis 7.3 gezeigt.

## 4.5 Formdynamik

Auf Basis der Formlogik kann nun mit formdynamischen Effekten die Ausdrucksintensität gesteigert werden. Wie schon in Kapitel 4.1 über den Einfluss der physikalischen Vorgänge auf die Wahrnehmung des Menschen ausgeführt wurde, finden sich einige verblüffende Analogien in der Gestaltpsychologie zum Ingenieurwesen. Das Wort „Dynamik“ wurde in der Gestaltpsychologie federführend von Rudolf Arnheim geprägt [Arnheim 2000], findet jedoch auch in der Architektur als Terminus selbst und in der sprachlich „bewegten“ Ausdrucksweise von fließenden, schwingenden, sich ausbreitenden, ausufernden, oder einengenden Formen breite Anwendung und Widerhall (z.B. [Kultermann 1959]). Genauso wie die Technische Mechanik von der Dynamik als Lehre der bewegten Körper unter Einfluss von Kräften im Sinne der Kinetik [Ziegler 1985] spricht, werden in der Gestaltpsychologie unter diesem Begriff ähnliche – für den Ingenieur nicht unbekannt – Formulierungen wie Ausdehnungstendenzen, Wahrnehmungskräfte oder Spannungen verwendet. Arnheim selbst zeigte sich erfreut, als er ähnliche Muster der visuellen Wahrnehmungen in realen Konstruktionen des italienischen Bauingenieurs Pier Luigi Nervi fand [Arnheim 1996, S. 237].

Durch die Anwendung von formdynamischen Effekten ergibt sich für den Ingenieur ein Gestaltungsspielraum<sup>27</sup>, der gemäß Billington das freie „Spiel“ mit Formen und Ausdruck mitunter in einer künstlerischen Art und Weise ermöglicht [Billington 1990, S. 120]. Nach dem Pflichtprogramm einer einzuhaltenden Formlogik ist das Anwenden einer Formdynamik als optionales Kürprogramm zu verstehen.

Die Grenzen des Gestaltungsspielraums sind für den Ingenieur zwar durch die Gesetze der Mechanik und die umfassenden Normen und Richtlinien als „Disziplin“ eng gesteckt, trotzdem ist ein Rest von Freiheit vorhanden, der größer ist als viele Ingenieure vermuten [Nervi 1965]. Für das „Spiel“ selbst ist Feingefühl im Umgang mit Formen, Proportionen und ihren dynamischen Ausdrucksfähigkeiten Voraussetzung. Lux sah die Formen der Maschinenästhetik der industriellen Revolution nicht nur durch die Mechanik, sondern auch durch ästhetische Entscheidungen einer intuitiven Formmahnung des Ingenieurs begründet [Lux 1910, S. 14]. Der Gestaltungsspielraum kann sogar so weit gehen, statische Vorgänge symbolhaft zu unterstreichen, wie Abbildung 13 in der Anordnung der Lagersteifen zur Torsionseinspannung des Bogens auch in Analogie zur festhaltenden Hand verdeutlicht. Ein weiteres Beispiel sind Maillarts Stützeinankerungen bei seiner Brücke über die Arve bei Vessy, die die Quereinspannung in den Überbau überzeichnen (siehe Bild 13 aus Kapitel 7.4). Allerdings wird angemerkt, dass ein Ingenieur um seine eigenen Fähigkeitsgrenzen in seinem Wirken um Formverfeinerungen und symbolhafte Andeutungen Bescheid wissen muss, wenn es um formdynamische Entscheidungen und speziell um Formkunst geht (siehe Kapitel 4.6).

---

<sup>27</sup> Jesberg widmete dem Ingenieur ein eigenes Buch vom Bauen zwischen Gesetz und Freiheit, wobei er das Gesetz auf den Grundsätzen von Zahl, Maß und Proportion aufbaut und daraus die Geometrie in ihrer räumlichen Entfaltung und schließlich Konstruktion und Bemessung abhängig vom Nutzen und Zweck ableitet [Jesberg 1987]. „Nur im Gebrauch des Gesetzes läßt sich der Raum ausloten, der die Weite der Freiheit öffnet.“, merkt Jesberg an [ebd., S. 8]. Damit ist der Ingenieur prädestiniert, den eigentlichen Zweckbau auch gestalterisch mit zu behandeln.

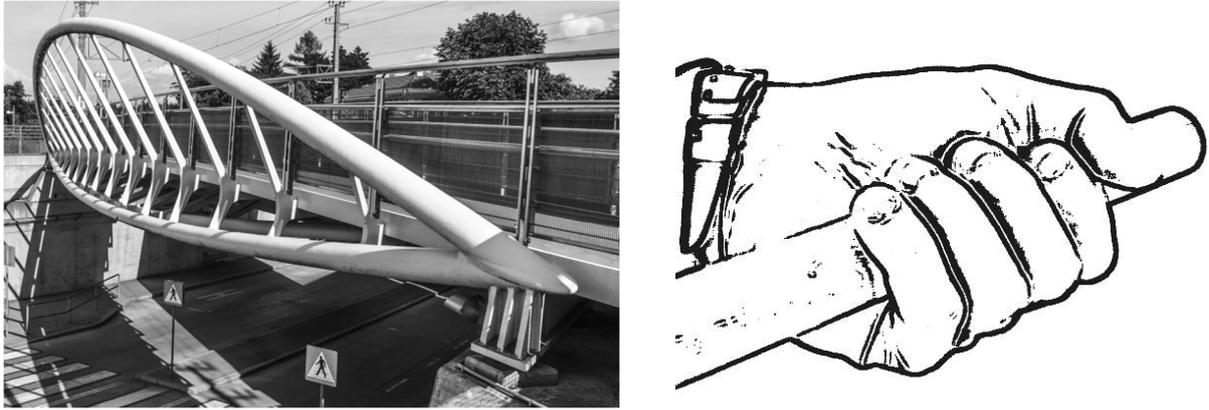


Abbildung 13: Verdeutlichung der Torsionseinspannung des Bogens durch die richtige Steifenanordnung [Kleiser et al. 2006]

Es stellt sich die Frage, ob sich zwischen Formlogik und Formdynamik eine strikt definierte Grenze ziehen lässt. Rudolf Arnheim zeigt in [Arnheim 1980] auch Beispiele auf, die durch Einhalten eines bloßen Gleichgewichts Dynamik schaffen, womit diese auch unter die Definition von Formlogik gemäß Kapitel 4.4 fällt. Formdynamik wird deshalb hierin als der Bereich definiert, wo Ingenieure in ihrem täglichen Tun Formverfeinerungen mit Gespür vornehmen können, um den Ausdruck über die Formlogik hinaus bewusst zu steigern.

Um Formdynamik an einem ersten Beispiel zu demonstrieren, werden die Ausdrucksmöglichkeiten von unterschiedlich proportionierten Rechteckformen in Bild 6 aus Kapitel 7.2 herangezogen, die lt. dem Architekten und Designer Wolfgang v. Wersin „Träger von Kräfteimpulsen oder bestimmte Bewegungstendenzen“ aufweisen und dadurch in der Wahrnehmung einen entsprechend der Proportion steigenden, lagernden oder neutralen Eindruck beim Betrachter hinterlassen [Wersin 1956]. Wie die Ergebnisse aus den Experimenten in Kapitel 4.1 zeigen, legt wiederum die dorische Säulenordnung durch die horizontalen, lagernden Bauteile des Architravs bzw. des Kapitells und des nach oben strebenden Säulenschafts eindeutig das Tragverhalten der Lastverteilung, Lasteinleitung und Lastableitung in einer höchst dynamischen Wirkungsweise dar (siehe Abbildung 14).

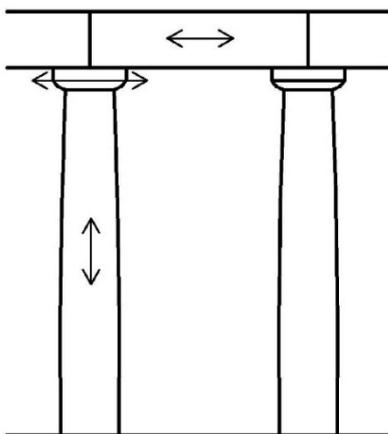


Abbildung 14: Dynamische Wirkungsweisen der dorischen Säulenordnung

Der Eiffelturm zeigt als zweites Beispiel, wie der Formausdruck aus der formlogischen zur formdynamischen Form durch Anwendung einfacher wahrnehmungsdynamischer Prinzipien der Zuspitzung [Grütter 2015, S. 286] gesteigert wird (siehe Abbildung 15 und Abbildung 16).

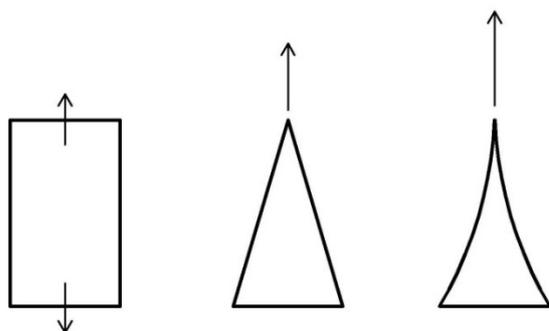


Abbildung 15: Zusätzliche dynamische Richtungsverstärkung durch die schräge und gekrümmte Zuspitzung

Der Eiffelturm profitiert außerdem von der Wirkung des Gleichgewichts der entgegengesetzten Kräfte durch Krümmung und Gegenkrümmung in Abbildung 16, 2.v. rechts, wie auch Arnheim in seinem Beispiel der Arkaden beim Findelhaus in Florenz beschreibt [Arnheim 1980, S. 196]. Die Turmbeine werden an den Füßen mit dem eingelegten Bogen zusammengespannt, sodass die untere Krümmungsvergrößerung der Außenkontur analog der Biegelinien zweier nach außen verbogenen Blattfedern erklärbar ist. Durch die Wahrnehmungskraft des Eigengewichts (siehe Kapitel 7.4) und die zwei Aussichtsplataeus, die wie horizontale Zangen den Turm zusammenhalten, ist eine ungemein ausdrucksvolle Wechselwirkung von Spannungen vorhanden,

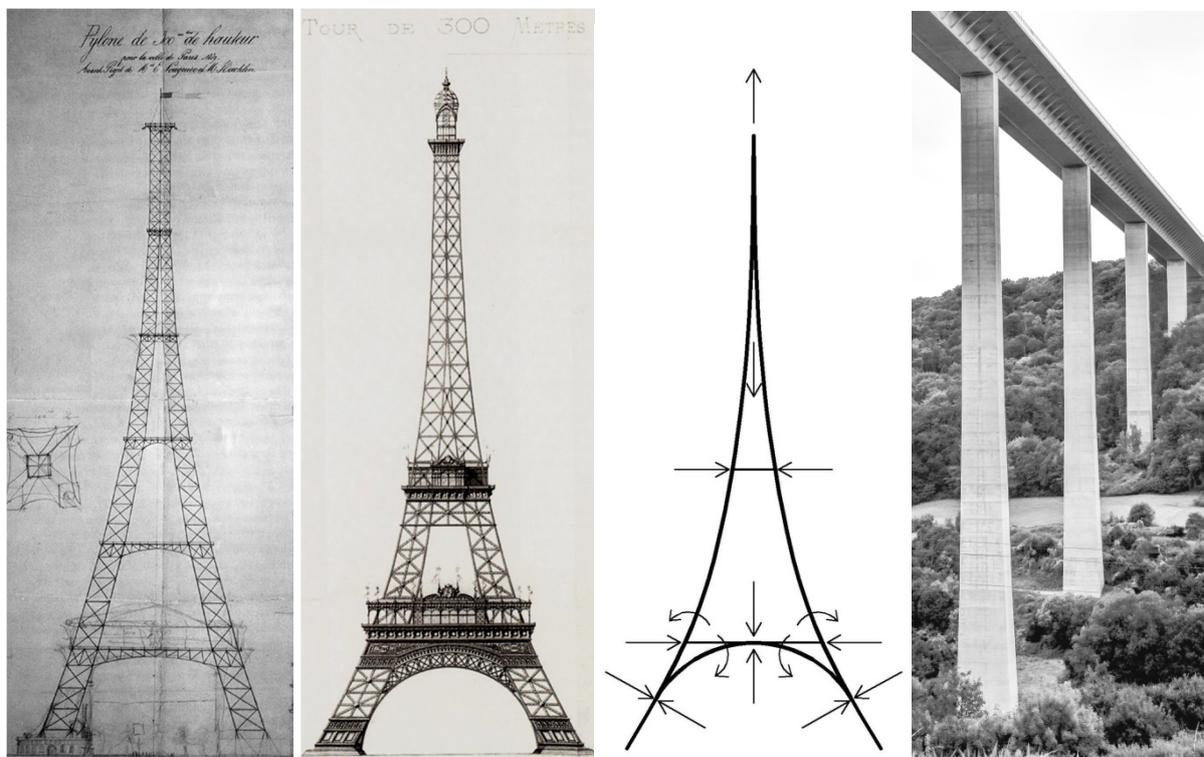


Abbildung 16: Entwurf des Eiffelturms in der formlogischen (links) und formdynamischen Form (2.v. links), dynamische Kräfte beim Eiffelturm (2.v. rechts), Kochertalbrücke (rechts | © Fritz Zühlke, pixelio)

die einerseits dem realen Kraftspiel ähnlich und andererseits mit der dynamischen Streckung aus Abbildung 15 im Gleichgewicht ist.

Die Anwendung einer Pfeilerverjüngung bei sehr hohen Brücken wie z.B. der Kochertalbrücke (siehe Abbildung 16, rechts) erzeugt einen analogen dynamischen Effekt, der die Pfeiler streckt und schlanker wirken lässt. Schon die Griechen kannten den optischen Kniff nach oben zusammenlaufender Linien [Grütter 2015, S. 289].

Als drittes Beispiel werden Möglichkeiten des Spiels mit der Ausdrucksform, abhängig von der beabsichtigten Vorstellung anhand von Schrägseilbrücken vorgestellt. Mit Änderung der Pyloneneigung wird entweder ein neutraler, erhabener (siehe Abbildung 17a), expressiver, spannungsgeladener (siehe Abbildung 17b) oder ein devoter, zurückhaltender Charakter (siehe Abbildung 17c) vermittelt, der bewusst im Zusammenspiel mit der Umgebung genützt werden kann.

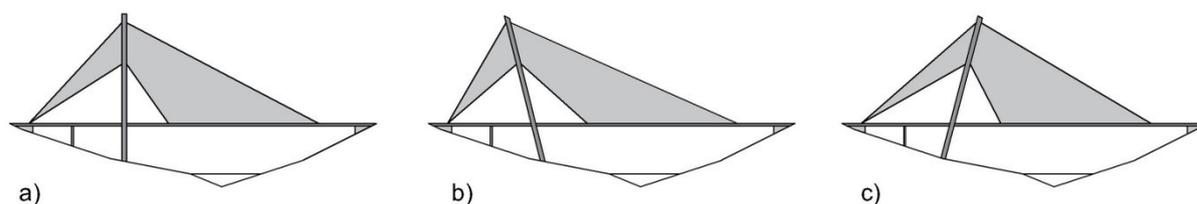


Abbildung 17: Unterschiedliche Ausdrucksmöglichkeiten einer Schrägseilbrücke

Die Ausdrucksintensität und damit die vermittelte Spannung hängen von der Komplexität der Form ab. Je einfacher die Form, desto geringer die Spannung, je komplexer die Ordnung, desto größer die Spannung [Grütter 2015, S. 226]. Einfachheit, Symmetrie, Normalität verringern Spannung, Unregelmäßigkeit, Asymmetrie, ungewöhnliche und vielschichtige Strukturen erhöhen Spannung [Arnheim 2000, S. 69]. Am Beispiel einer einfeldrigen Überführungsbrücke in Abbildung 18 wird eine von a) bis d) steigende Ausdrucksintensität vermittelt, obwohl alle gemeinsam die Funktion des „Überspannens“ formlogisch darstellen.

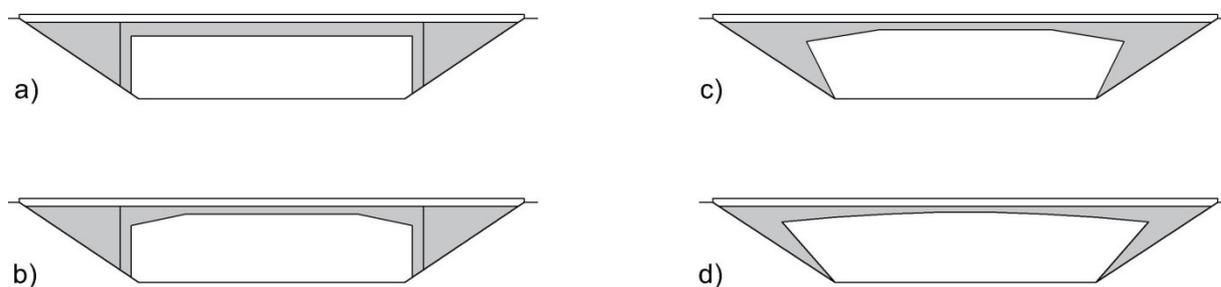


Abbildung 18: Unterschiedliche Ausdrucksmöglichkeiten einer Überführungsbrücke

Tiefgehend wird das Thema der Formdynamik einschließlich Umsetzungsmöglichkeiten im Brückenbau in Kapitel 7.4 behandelt.

## 4.6 Formkunst

Die höchste Stufe des Formausdrucks einer konstruktiven Gestaltfindung bildet die Formkunst. Hierin ist der Begriff mit der Verwirklichung einer technischen Idee zu einer Form definiert, die eine außergewöhnliche individuelle Ausdrucksstärke aufweist. Das Objekt wird zum Kunstwerk. Rudolf Arnheim definiert ein Kunstwerk als ein vom Menschen geschaffenes Gebilde, das die dynamischen Wahrnehmungseffekte in einer „geordneten, ausgewogenen, konzentrierten Form darstellt“ [Arnheim 1996, S. 246]. Formkunst kann nicht selbst erzeugt werden, es entsteht letztlich durch das Urteil anderer.

Künstlerisches geht aus der „puren Kreation des Geistes“ [Le Corbusier 1986, S. 1] hervor, das auch Billington in seiner Definition der Ingenieurbaukunst einschließt [Billington 1990, S. 120]. Es muss nochmals erwähnt werden, dass Formdynamik und im Speziellen Formkunst nicht bloß aus rationalem Handeln analog der durch Lux und Le Corbusier definierten Ingenieurästhetik entsteht, sondern erfordert in der Regel auch ein willentliches gestalterisches Wirken bis hin zur Überzeichnung oder Abstraktion der technischen Vorstellung. Einschränkend sind jedoch immer die technische Idee und die Anforderungen an die ingenieösen Grundsätze aus Kapitel 1.4, die einem zu der künstlerischen Ausführung bewegen soll. Die Grenzen des kreativen Betätigungsfelds sind dadurch im Gegensatz zur freien Kunst wie der Malerei, die nur die Grenze der Zweidimensionalität kennt, eng gesteckt.

Nur wenige Ingenieurbau-Künstler, wie u.a. Maillart und Nervi bezeichnet wurden [Billington 2014, S. XIII], hatten die Gabe in die Spitze der Formkunst vorzudringen. Für den „einfachen“ Ingenieur birgt ein Überschreiten der o.a. Grenzen und der eigenen Fähigkeiten die Gefahr einer nicht authentischen, unbeholfenen Ornamentik in sich. Dieser Bereich jenseits dieser Grenzen soll getrost künstlerisch vertrauten Berufsgruppen überlassen oder gar nicht betreten werden. Gleiches gilt beim Umgang mit ästhetischen Feinabstimmungen in Form und Farbe. Darum ist es in vielen Fällen sinnvoll Kooperationen zwischen Ingenieuren und Architekten bzw. künstlerisch Befähigten einzugehen. Zugegebenermaßen geht selbst der Autor ein Wagnis mit den bewusst „experimentell“ bezeichneten Formentwürfen in Bild 14 aus Kapitel 7.4 ein.

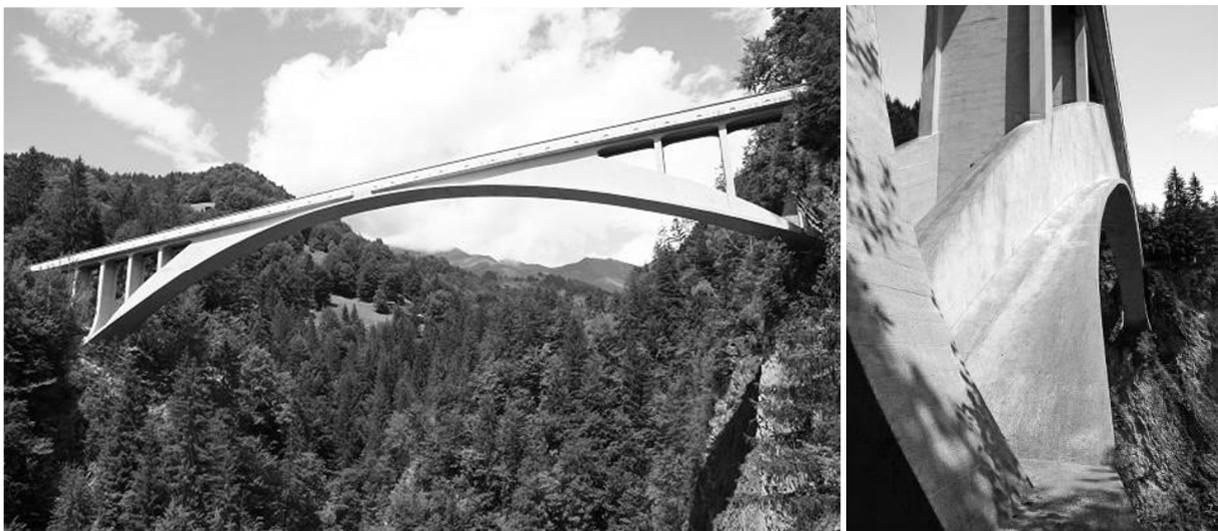


Abbildung 19: Salginatobelbrücke | © Nicolas Janberg, structurae

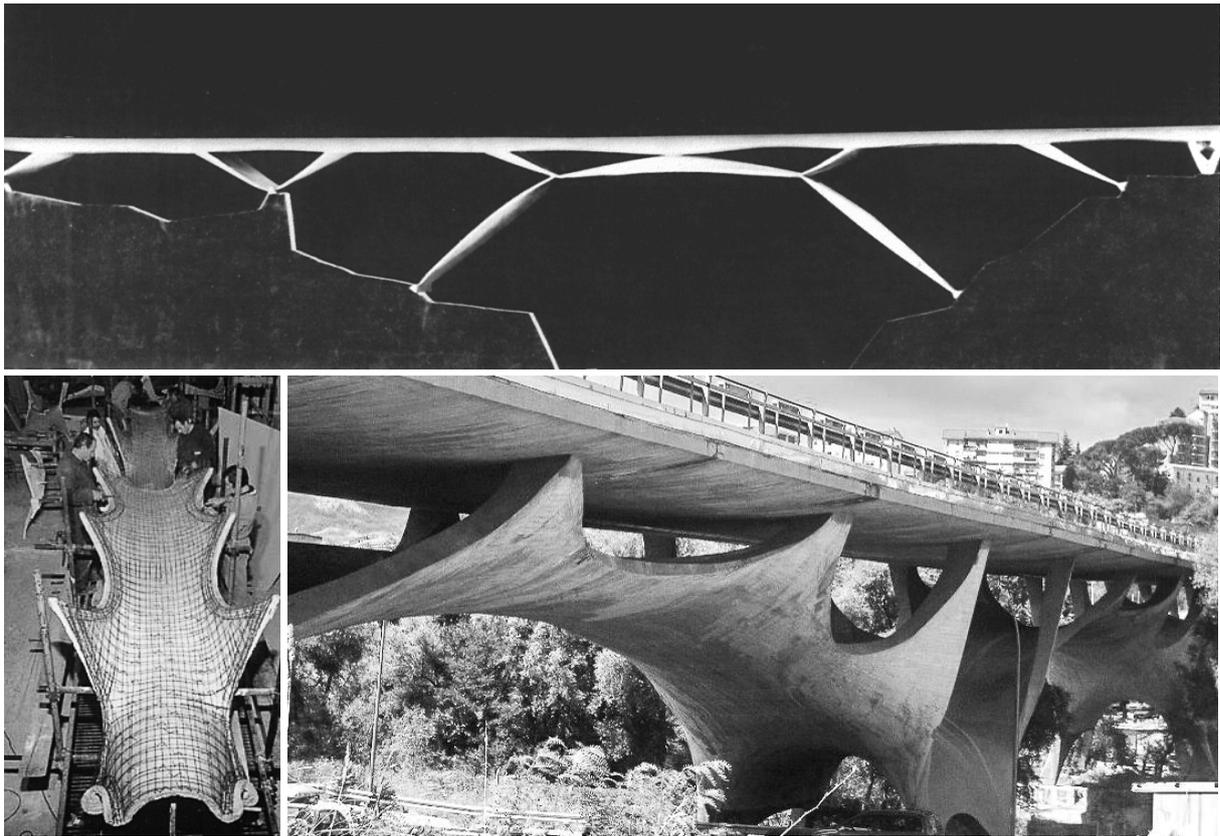


Abbildung 20: Entwurf einer Brücke über den Fluss Astico durch Sergio Musmeci (aus [Giovannardi 2012]) (oben), die Brücke über den Fluss Basento einschließlich Modell (unten) | © Giovannardi

Formkunst kann mittels der Großform erfolgen, wie die in der Fachwelt allgemein zur Ingenieurkunst erhobene Salginatobelbrücke Robert Maillarts in Abbildung 19 zeigt [Billington 1990]. Die Brücke überzeugt nicht nur durch ihre Einbindung der expressiv gespreizten Konstruktion in die Landschaft, sondern auch durch die Detailausbildung z.B. der horizontal ausschwingenden Bogenform in Zusammenspiel mit den Bogenscheiben und der unten auseinanderlaufenden Endstütze (siehe Abbildung 19, rechts). Die Entwürfe von Sergio Musmeci als eindrucksvoller Vorschlag über den Fluss Astico und sein Masterpiece der Brücke über den Basento in Abbildung 20 bieten Konstruktionen höchster ingenieurer Logik und Anschauungsdynamik. Allerdings kann von einer Wirtschaftlichkeit durch die aufwendige Schalform heute nicht mehr ausgegangen werden. Formkunst kann auch im Kleinen, in der einzelnen Bauteilform geschehen, bei denen vernachlässigbare wirtschaftliche Auswirkungen zu erwarten sind. Bestes Beispiel sind wiederum die expressiven Stützensauskerbungen Maillarts bei der Brücke über die Arve bei Vessy in Bild 13 aus Kapitel 7.4.

Ein ähnliches Konzept einer Brücke über den Tiber in Rom entwickelte der sehr konstruktiv denkende Architekt Myron Goldsmith in seiner Zeit bei Per Luigi Nervi in Rom. Dieser Entwurf inspirierte Jörg Schlaich, der von seiner Traumbrücke sprach [Holgate 1997, S. 178], auch für seinen endgültigen Entwurf der Überführung bei Kirchheim/Teck in Bild 12 aus Kapitel 7.4.

## 5 Methodologie

Als wissenschaftliche Vorgehensweise der Aufsätze in Kapitel 7 werden nach einer eingehenden Literaturrecherche und Konzentration auf einzelne Kernwerke zuerst die Grundzüge einer insbesondere für den Brückenbau erforderlichen Formlogik aus einem historischen Kontext herausgearbeitet, um den heutigen infrastrukturellen Anforderungen der Zweckmäßigkeit, Wirtschaftlichkeit und Sparsamkeit kombiniert mit ästhetischen Qualitäten gemäß den Entwurfszielen aus Kapitel 1.4 zu genügen. Es werden Querverbindungen einer funktionsgerechten Formwahl zu natürlichen Formprozessen, Grundsätzen der klassischen Architektur und der Gestaltpsychologie hergestellt, um Argumente einer ingenieurmäßigen, gesamtheitlichen Formbildung als ästhetisches Qualitätsmerkmal für den Ingenieur aufzubereiten. Damit werden die Grenzen für den Gestaltungsspielraum für den Ingenieur abgesteckt.

Um die Arbeit zu fokussieren, werden materialeseitig der im Brückenbau meist verwendete, „formsensible“ Baustoff Stahl- und Spannbeton und konstruktionsseitig die Rahmenbrücke als derzeit häufigste Anwendung bei Brücken mit kurzen und mittleren Längen in den Infrastrukturnetzen herangezogen, um formabhängige Aspekte aufzuzeigen.

Aufbauend darauf wird exemplarisch die Überführungsbrücke einer Autobahn als wiederkehrender Blickfang als Anwendungsobjekt für statische Vergleichsberechnungen ausgewählt, mit dem Nachweis, dass Formentwicklung auf Grundlagen analytischer, statisch-konstruktiver Überlegungen gelingen kann. Auf Basis einer entsprechenden Formlogik werden Analogien zur Gestaltpsychologie untersucht, um zusätzliche formdynamische Effekte im Brückenbau zu erzielen.

### 5.1 Beton

Material ist grundsätzlich formprägend. Im Gegensatz zu Naturstein oder Eisen bzw. Stahl verfügt der Baustoff Beton durch die Formbarkeit als Gusswerkstoff ein enormes Ausdruckspotential, das leider auch zu Formverfehlungen verführen kann, wie auch schon Whitney 1929 darlegte [Whitney 1929, S. 217]. Aus diesem Grund ist es dringend erforderlich und angebracht, sich dem Werkstoff Beton und dessen materialspezifische Formbildung im Besonderen zu widmen.

Beton hat sich durch seine hohe Druckfestigkeit und Dauerhaftigkeit als Baustoff weltweit durchgesetzt. In Verbindung mit einer Stahlbewehrung oder Spannbewehrung zum Stahl- bzw. Spannbeton wurde dieser nicht nur für überwiegend druckbeanspruchte Bauteile, sondern universell einsetzbar. Als *opus caementitium* durch die Römern noch nicht formerzeugend verwendet [Jormakka 2007, S. 68], bietet Beton letztlich ästhetisch eine ungeahnte - selbstverständlich vom Schalungsaufwand abhängige - Formenvielfalt, die es zu nutzen gilt. Nervi spricht von der Freiheit der Form, die der Baustoff ermöglicht und nur durch die Schalung limitiert wird [Nervi 1956, S. 94]. Auch Rudolf Arnheim lobt den Baustoff speziell für seine starken biomorphen Möglichkeiten zur Verkörperung untrennbarer Gesamtstrukturen mit hoher dynamischer Wirkung [Arnheim 1980, S. 198].

Allerdings gab es Anfang des 20. Jahrhunderts trotz der hervorragenden Eigenschaften erhebliche Widerstände Eisenbeton in seiner Wirkung nach außen speziell im Brückenbau als ästhetisch anzuerkennen. Neben dem Unvermögen den neuen Werkstoff stilistisch in die damaligen Bauformen einzuordnen [Lux 1910, S. 46], wurde die Formauthentizität des Baustoffs durch die „Verkleidung der eingelegten Eisen“ angezweifelt [Hartmann 1928, S. 31]. Es erforderte daher einen Gewöhnungsprozess ähnlich wie auch beim Sicherheitsempfinden der frühen Eisenkonstruktionen [ebd.], einen Biegebalken mit seiner versteckten Zugwirkung instinktiv zu begreifen.

Nicht zuletzt durch die Betonpioniere Hennebique, Freyssinet, Maillart, Nervi, Torroja, Candela, Isler, Menn u.a. konnten endgültig angemessene Formen für den Baustoff Eisen-, Stahl- und Spannbeton gefunden werden. Insbesondere Pier Luigi Nervi, der von Alfred Pauser als „Altmeister des subtilen Konstruktivismus“ bezeichnet wurde, entwickelte eine eigene Formensprache bis hin zur Formkunst durch Ausreizen der Grenzen der freien Formbarkeit des Materials [Pauser 2007, S. 46]. Nicht unerwähnt bleiben darf dabei die restliche italienische Ingenieursriege der Nachkriegszeit um Riccardo Morandi, Silvano Zorzi und Sergio Musmeci (siehe Kapitel 4.6), die den innovativen Betonbau vorantrieben [Iori et al. 2009; Boaga et al. 1965].

Im profanen Infrastrukturbau stellen Betonbrücken den größten Anteil an Brückenobjekten in den jeweiligen Netzen dar. In Abbildung 21 sind jeweils die Brückenanzahl bzw. die Brückenflächen abhängig vom Baustoff und in Abbildung 22 die Brückenanzahl der Stahlbeton- und Spannbetonbrücken abhängig von der Länge exemplarisch im Netz der ASFINAG qualitativ dargestellt.

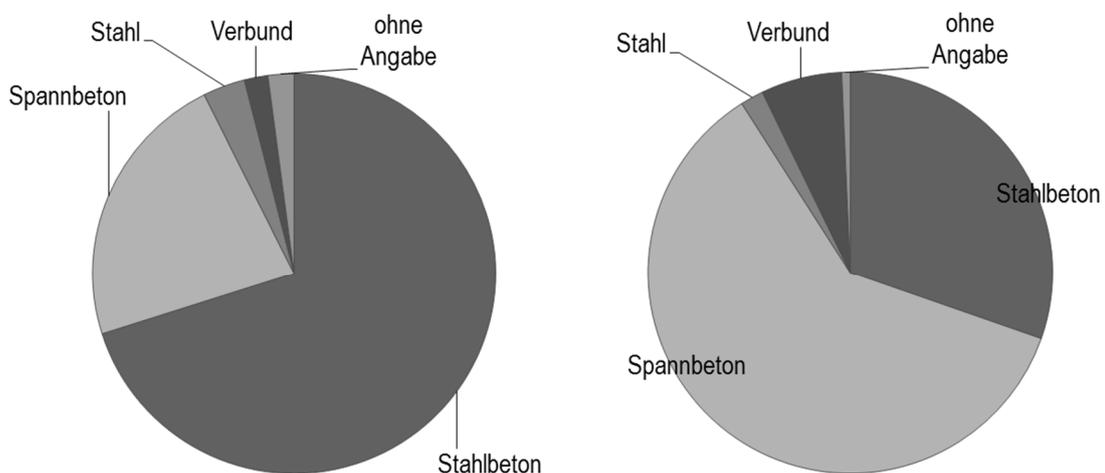


Abbildung 21: Brückenanzahl (links) und Brückenflächen (rechts) abhängig vom Baustoff im Netz der ASFINAG

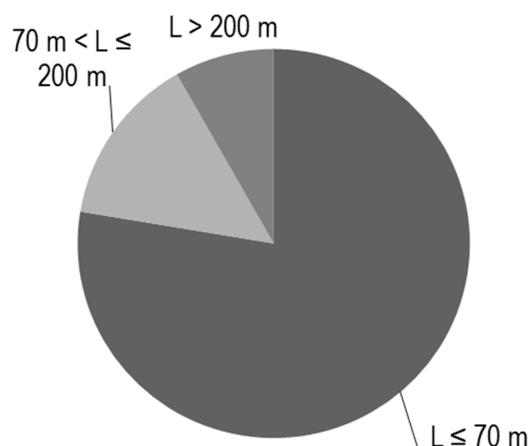


Abbildung 22: Brückenanzahl von Stahlbeton- und Spannbetonbrücken abhängig von der Länge im Netz der ASFINAG

Abbildung 22 zeigt deutlich den quantitativen Überhang von Brücken mit Längen bis 70 m, die ein mitteleuropäisches höherrangiges Straßennetz beinhaltet. Es ist anzunehmen, dass die niederrangigen Straßennetze eine noch extremere Verteilung aufweisen. Diese Brücken werden in der Regel als Rahmensysteme ausgebildet.

Aufgrund der nicht äußerlich sichtbaren Biegebewehrung stellt die visuelle Verdeutlichung der Tragwirkung von Balken- und speziell Rahmenbrücken aus Stahl- und Spannbeton im Infrastrukturbau eine größere Herausforderung, als die von Stahlbrücken dar. Die Formsprache von Stahlbrücken ist mit ihren ausgeprägten Stabanordnungen und unterschiedlichen Querschnittsgestaltungen für Zug und Druck in der Regel selbsterklärend. Axel SEYLER merkte dazu in einem persönlichen Brief an: „Arnheim zitierend: Als ausdrucksvoll sieht man die Form nur, wenn man sie dynamisch sieht. Dynamisch erscheint einem eine Brücke nur, wenn man auch ihren (statischen) Aufbau unbewusst wahrnehmen kann. Also können nur Bogenbrücken oder Zugbrücken, aber keine Balkenbrücken zu einem starken Ausdruck kommen“ [Seyler 2016].

Um trotzdem eine höchstmögliche Ausdrucksstärke bei der Vielzahl an Balken- und Rahmenbrücken zu erreichen, ist deshalb die Formbildung bei Betonbrücken mit hoher Sorgfalt durchzuführen. Da besonders bei der in den letzten Jahren etablierten integralen Bauweise, viele missglückte Praxisanwendungen in der Formbildung, wie z.B. in Bild 1 aus Kapitel 7.1, aufgetreten sind, wird auf diese Bauweise in dieser Arbeit näher eingegangen.

## 5.2 Integrale Bauweise

Die integrale Bauweise bei Brücken setzte sich in den letzten 10 – 15 Jahren bei Stahlbetonbrücken bis ca. 70 m als Regelbauweise aufgrund des Wegfalls von wartungsaufwendigen Lager- und Fahrbahnübergangskonstruktionen mit reduzierten Lebenszykluskosten durch [Resch 2010]. Das allgemein verwendete Wort „integral“ verdeutlicht eine fugenlose, monolithische Bauweise, die auf die statische Rahmenbauweise zurückgeht. Alle Zwangsschnittgrößen im Tragwerk durch Temperatur, Schwinden und Kriechen u.s.w. werden im statischen System

rechnerisch berücksichtigt. Das System selbst wird in der Regel entsprechend weich und flexibel ausgebildet, um die zusätzlichen Zwangsschnittgrößen zu beherrschen (siehe dazu u.a. [Pötzl et al. 1996]). Ab 70 m Brückenlänge ist die Problematik des verformbaren, wartungsfreien Fahrbahnübergangs trotz einiger Forschungsansätze (z.B. [Eichwalder 2017]) noch nicht restlos gelöst, sodass derzeit bei längeren Brücken Lager- und Fahrbahnübergangskonstruktionen oft nur bei den Widerlagern zur Anwendung kommen. Der dabei verwendete Begriff der Semi-Integralität wird länderspezifisch unterschiedlich ausgelegt [ebd., S. 5 ff.].

Im Zuge dieser Arbeit werden zwei Detailbereiche, das Brückenende in Kapitel 7.1 und der fugenlose Stützenanschluss in Kapitel 7.2 näher untersucht (siehe Abbildung 23), da diese Bereiche die signifikanten Stellen der integralen Bauweise darstellen und dort auch die größten Fehler in der Formbildung mit Beton auftreten. Auf Formentwicklungen entlang des Überbaus wird näher in Kapitel 7.3 eingegangen.

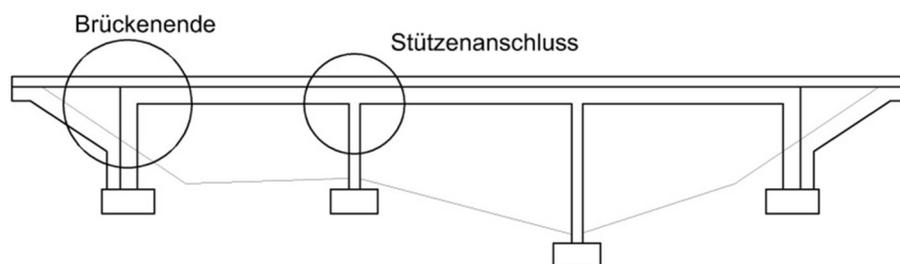


Abbildung 23: Zu untersuchenden Detailbereiche der integralen Bauweise

Da einerseits in Kapitel 7.2 auch auf hybride Stützenverbindungen eingegangen wird, und andererseits die Betrachtungen auch auf Großbrücken zutreffen, wird somit ein großes Anwendungsspektrum von Balkenbrücken abgedeckt. Seltener anzutreffende Konstruktionen wie Bogentragwerke, unter- und abgespannte Tragwerke sowie klassische Stahl- und Verbundbrücken werden nicht angesprochen, da diese aus dem Tragsystem heraus nach den o.a. Ausführungen Seylers wahrnehmungspsychologisch durch das klarere System bessere Voraussetzungen und in der Regel nicht dieselbe Fehleranfälligkeit wie Balkenbrücken aus Stahl- und Spannbeton aufweisen.

### 5.3 Überführungsbrücken

Überführungen als niveaufreie Kreuzungsbauwerke über Autobahnen und Schnellstraßen sind in regelmäßigen Abständen *die* Aushängeschilder einer Autobahn. Vor allem bei geraden Teilstücken werden diese Brücken schon von weitem vom Autofahrer visuell erfasst und befinden sich während des Näherkommens über einen längeren Zeitraum in dessen direktem Blickfeld. Sie sind somit stets wiederkehrende Signaturen bzw. markante Landmarken einer Autobahn und müssen daher mit großer – sogar den trassengebundenen Tragwerken übergeordneter – Sorgfalt konzipiert und gestaltet werden. Im Leitkonzept „Gestaltung Brücke“ der ASFINAG wird diesem Umstand Rechnung getragen und Überführungsbrücken einer höherwertigeren Gestaltungsrelevanz zugeordnet [Steiner et al. 2014].

Da nur beschränkte Divergenzen zwischen den über die Strecke verteilten Überführungen zu erwarten sind, werden oft über einen Bauabschnitt typisierte, durch die meist höhere Anzahl sparsam entworfene Brücken angetroffen. Die Gestaltung bezieht sich vorrangig auf die Strecke, deren Begebenheiten, Landschaftseingliederung und den Straßenbenutzer und weniger auf den unmittelbaren Ort des Bauwerks und deren Anwohner.

Gesamtheitliche Überlegungen für mögliche Typisierung gleichartiger Kreuzungsbauwerken wurden bereits in den Anfängen des Autobahnbaus durchgeführt. In Europa ist Italien mit den *Autostrade*-Projekten speziell mit typisierten 3-feldrigen Rahmenbauwerken Vorbild (May 2011, S. 258), in den USA wurden die Parkway-Projekte mit einer Vielzahl an Überführungen realisiert [ebd., S. 317]. In Deutschland wurden mehrere Untersuchungen von typisierten Überführungen im Zuge der Planung der deutschen Reichsautobahn im Wesentlichen durch die Ingenieure Karl Schaechterle, dem jungen Fritz Leonhardt und dem für Gestaltungsfragen beauftragten Architekten Paul Bonatz durchgeführt (siehe Abbildung 24).

Im Gegensatz zu einigen Parkway-Projekten in den Vereinigten Staaten Mitte der 1930er-Jahre, deren Konstruktion am Beispiel des Merrit-Parkways durch klassische, damals modische Art-déco-Elemente verkleidet wurden [ebd., S. 318], verfolgte in Deutschland das Entwurfsteam um Paul Bonatz eine konstruktionsorientierte Ausdrucksweise. Der Zugang von Bonatz, die Ingenieure das Grundkonzept entwickeln zu lassen und dann beratend gestalterisch einzugreifen, kam anscheinend Leonhardt sehr entgegen [May 2011, S. 273].

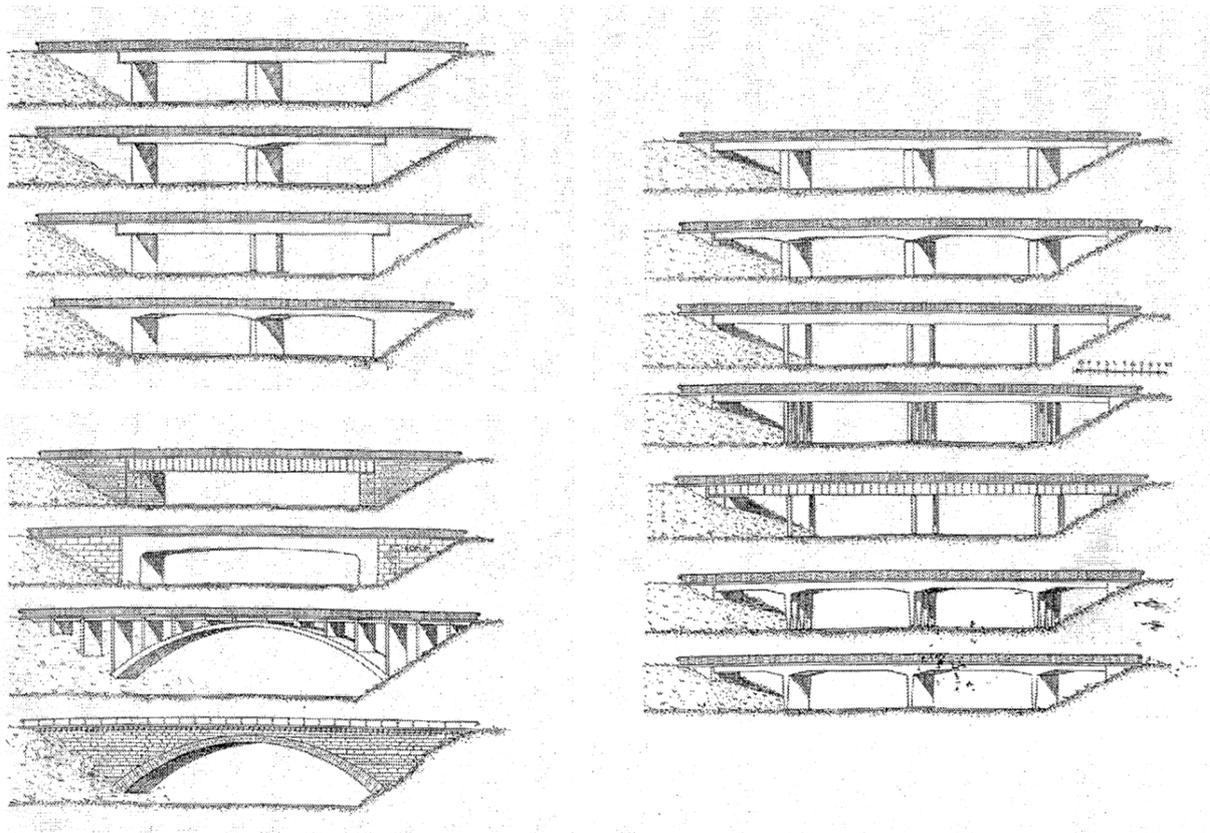


Abbildung 24: Musterbrücken von Überführungen im Zuge der Planung der Reichsautobahn (aus [May 2011, S. 547])

Einen interessanten Beitrag lieferte auch der Architekt Wilhelm Tiedje, der die unterschiedlichen Ausdrucksweisen von Überführungen in der Landschaft veranschaulichte und Argumente für die bis heute oft geführte Diskussion der Grad der Öffnung einer Überführungsbrücke beisteuerte (siehe Abbildung 25). Dabei präferierte er den freien Durchblick gegenüber massiven Widerlagern, da Überführungen im flachen Gelände schon per se eine „harte Unterbrechung der Landschaft“ sind. Zu den bevorzugtesten Brücken Tiedjes zählen die Schrägstielbrücken, die, durch die Gestaltpsychologie bestätigt (siehe Kapitel 7.4), einen verstärkten dynamischen Ausdruck in der Form aufweisen und keine Blockadewirkung der Vorwärtsbewegung erzeugen (Arnheim 1980, S. 231).

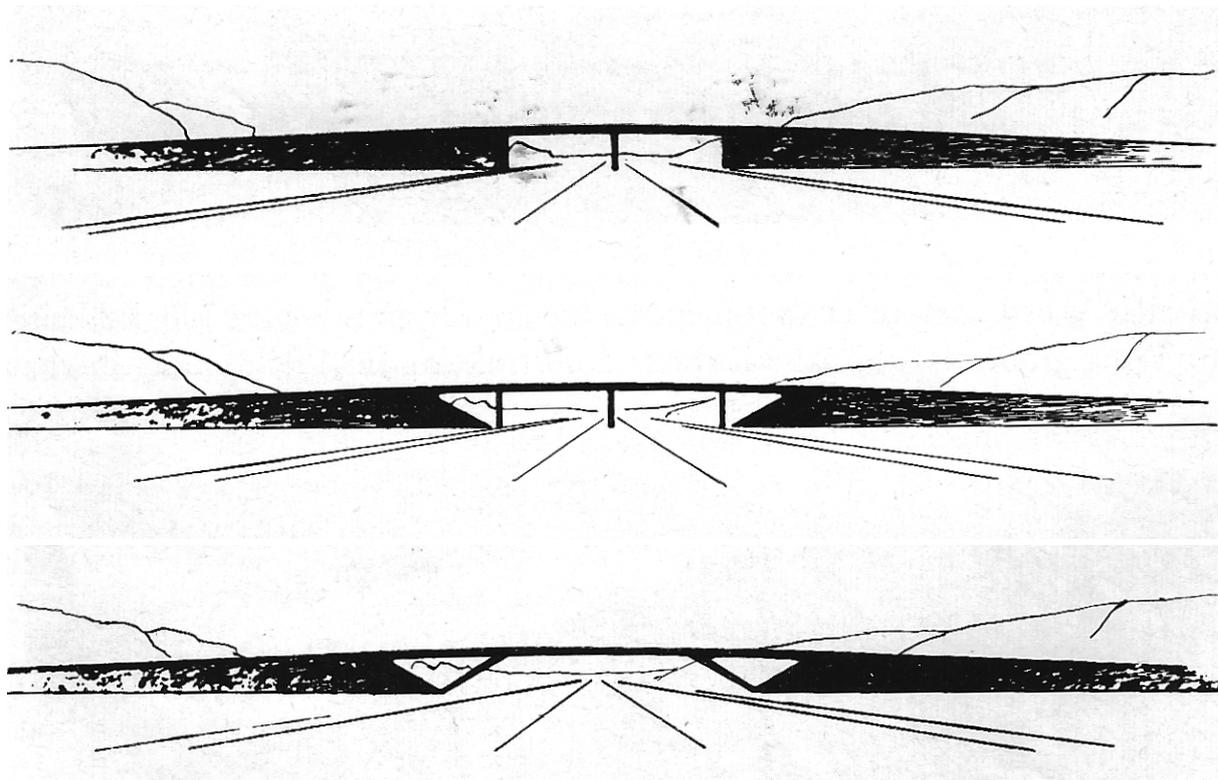


Abbildung 25: Gegenüberstellung von Überführungsvarianten und deren Wirkung (aus [Tiedje 1966])

In Zusammenhang mit der Beobachtung Tiedjes sind die schweizer Typenbrücken als Schrägstiellösungen, die lt. [Vogel et al. 2006] mit einer Anzahl von über 190 Stück in Ortbeton, aber auch als Fertigteilkonstruktionen gebaut wurden, erwähnenswert.

## 6 Zusammenfassungen der wissenschaftlichen Aufsätze

### 6.1 Formlogik an Brücken – Teil 1

Titel: 6.1 Formlogik an Brücken – Teil 1: Überlegungen zur authentischen Formbildung von integralen Brückenenden [Kleiser 2016]

In den letzten Jahren erfährt die integrale Betonbauweise ohne Fugen und Lager bei Infrastrukturbetreibern aus wirtschaftlichen und erhaltungstechnischen Gründen immer größeren Zuspruch. Dies betrifft insbesondere Brücken mit kurzer und mittlerer Spannweite, die in ihrer Gesamtheit statisch-konstruktiv als beherrschbar gelten [Pötzl 1996; Engelsmann 1999; UK Highways Agency 2003; ASTRA 2011]. Dem statischen System des Rahmens, das der integralen Bauweise zugrunde liegt, wird jedoch in der Formkonzeption zu wenig Augenmerk geschenkt. Nach Beobachtung des Autors werden viele Brücken im Infrastrukturbau statisch integral berechnet und entsprechend konstruktiv ausgebildet, vermitteln jedoch nicht das dem Tragwerk innewohnende statische System konsequent nach außen. Vielen Ingenieuren ist der unmittelbare Zusammenhang zwischen der rational statisch-konstruktiven Lösung und dem formalen Ausdruck leider oft nicht bewusst. Das Wissen um die Kohärenz von Form und der dem Tragwerk zugrundeliegenden statischen Funktion ist jedoch erforderlich, um einen Grundanspruch an die Ästhetik nach den Erfordernissen in Kapitel 1.4 zu erfüllen.

Aufbauend auf in der Natur herrschende Formfindungsprozesse, die durch die unmittelbare Wechselwirkung von Form und funktionaler Erfordernis eine eindeutige Formauthentizität vermitteln, wird auf eine zentrale Feststellung des bekannten Architekten und Kunsthistorikers Karl Böttichers zurückgegriffen. Er unterscheidet zwischen der funktions- und kunstbasierten Form (Kern- und Kunstform) [Bötticher 1852], die in ihrer vollkommensten Ausprägung eins sein müssen und verweist dabei auf die Schönheit der hellenistischen Tektonik, die identisch mit der Natur ist. Der Zusammenhang von Form und Funktion ist ein grundlegendes Prinzip, auf das eine entsprechende Formlogik gründet. Der Begriff der Formlogik ist auch in Anlehnung an Eduardo Torrojas Ausführungen in seinem Werk „Logik der Form“ [Torroja 1961] gewählt.

Die formale Betrachtung einer Brücke erfordert die Beschreibung von Funktionseinheiten, die Bauteile rangleicher Funktion – nach Bötticher „wesensgleiche“ Elemente – in Gruppen zusammenfasst. Es wird danach die historische Entwicklung der Funktionseinheit des Rahmens aus dem Bogen beschrieben und in Beispielen dargelegt. Aufbauend darauf werden Anregungen zur Formbildung der signifikanten Endbereichen von integralen Tragsystemen des Widerlagers- bzw. Rahmenecks in Beton anhand der derzeit üblichen Querschnittsformen gezeigt. Dabei werden einfache und komplexe Formansätze, abhängig vom akzeptierten Schalungsaufwand grafisch dargestellt, die eine ästhetische Vielfalt bieten. Ingenieure sollen dadurch aus ihrer erlernten ingenieurtechnischen heraus zu einer erweiterten ingeniosen Denk- und Herangehensweise ermutigt werden, ihren Tragwerken Ausdruck zu verleihen und gestaltend tätig zu werden. Alle gezeigten Formansätze entsprechen einer logischen Ableitung der statischen Erfordernisse, die in der äußeren Form erkenntlich gemacht werden.

Es ergeben sich dadurch ganzheitliche und authentische Entwürfe, die in Ihrer Gesamtheit zu ästhetisch befriedigenden Ergebnissen führen sollen.

## 6.2 Formlogik an Brücken – Teil 2

Titel: Formlogik an Brücken – Teil 2: Überlegungen zur authentischen Formbildung von fugenlosen Stützenanschlüssen [Kleiser 2017a]

Im Anschluss an die Ausführungen von [Kleiser 2016] über Formlogik an integralen Brückendenen, wird in diesem Aufsatz die Formbildung fugenloser Stützenanschlüsse behandelt, die aus – gemäß Bötticher – „wesensgleichen“ Funktionseinheiten [Bötticher 1852] abgeleitet werden, und welche die innere konstruktive Absicht der Struktur unmissverständlich nach außen in der Form ausdrücken sollen. Damit bildet dieser Aufsatz den Abschluss für eine umfassende Abhandlung der Bestandteile der integralen Betonbauweise für Brücken kurzer und mittlerer Spannweite. Weitere Anregungen für hybride Stützenanschlüsse und biegesteife Stützenanschlüsse von Großbrücken werden ergänzend gebracht, sodass ein breites Spektrum von Brücken erfasst ist.

In Erweiterung zu [Kleiser 2016] wird auf den Funktionsbegriff näher eingegangen, der lt. Andrea Memmo die Wirkungsweise der materialentsprechenden Kräfte im Bauteil als „immanentes Gesetz“ darstellt und auch in der Form dargestellt werden muss [Poerschke 2014]. Diese funktions- und nutzerorientierte Gestaltung ist für den öffentlichen Infrastrukturbetreiber unabdingbar, um die behördlichen Erfordernisse der Sparsamkeit und Zweckmäßigkeit für den Brückenbau im Einklang mit ästhetischen Aspekten gerecht zu werden. Dies wird auch durch Aussagen von Jean-Nicolas-Louis Durand [Jormakka 2007, S. 166] und Per Luigi Nervi [Dooley 2004, S. 190] belegt.

Aufgrund der fugenlosen Verbindung einer Stütze können zwei Wirkungsabsichten abgeleitet werden, die entsprechend durchzukonstruieren und daraus folgend auch formal durchzubilden sind. Einerseits kann eine Verschmelzung der Stütze mit dem Überbau durch eine beabsichtigende Einspannwirkung zu einer kontinuierlich wirkenden Funktionseinheit erfolgen. Andererseits ist es möglich, der Stütze auch nur eine vorwiegende laststützende Funktion mit untergeordneter Einspannwirkung zuzuweisen, die zu getrennten Funktionseinheiten führt und auch in der Form ihre Entsprechung finden soll. Historisch wird die Entwicklung der zusammenhängenden Funktionseinheit aus der Wand bzw. die getrennte Funktionseinheit aus dem Gewölbe in heute materialgerechter, reduzierter Form erklärt. Anschließend werden Formansätze für formlogische Stützenanschlüsse im Rahmen von zusammenhängenden und getrennten Funktionseinheiten auf Basis derzeitig verwendeter Querschnittsausbildungen gezeigt. Trennende Funktionseinheiten können auch durch eine unterschiedliche Materialwahl deutlich hervorgehoben werden. Aus diesem Grund wird auch auf unterschiedliche Möglichkeiten von Verbindungen von Stahlstützen an massiven Überbauten als Hybridkonstruktionen eingegangen. Ebenfalls werden Anschlussformen gezeigt, die begründet abzulehnen sind. Dazu werden Argumente der Gestaltpsychologie herangezogen, die sich mit den Grundsätzen der Formlogik decken. Es folgt daraus, dass Vouten als Entwicklung aus dem Bogen zwingend nach einer kontinuierlichen Weiterleitung in die Stütze bzw. in den Pfeiler verlangen. Horizontale Versätze zwischen Stütze und Überbau oder der Voute an den Überbau beeinträchtigen die Einheit

von Überbau, Voute und Stütze, und sind nicht zuletzt durch die Schattenwirkung zu vermeiden. Rundstützen unter Vouten sollten generell keine Anwendung finden.

Die mit Skizzen dargestellten Formbeispiele und -empfehlungen sollen wiederum Ingenieuren als Anregung und Unterstützung für Ihre Formwahl im konzeptionellen Brückenentwurf als ingenieure Vorgangsweise dienen.

Ein eigenes Kapitel widmet sich der formlogischen Verwendung der heute oft missverständlich eingesetzten Rundstütze. Im historischen Kontext der klassischen Säule und deren Verbindung mit dem Kapitell als lastverteilendes Element wird deutlich, dass eine Rundstütze unter einem Linienbauteil keine Anwendung finden kann. Im Gegensatz dazu sind Rundstützen unter Plattentragwerken authentisch, da die Einleitung der Kräfte radial, der Stützenform entsprechend erfolgt.

### 6.3 Formentwicklung einfeldriger Rahmenüberführungen

Titel: Formentwicklung einfeldriger Rahmenüberführungen anhand statisch-konstruktiver Überlegungen [Kleiser 2017b]

Durch die Wechselwirkung von Tragverhalten und ästhetischer Qualität wird der Ingenieur unvermeidbar durch seine Bemessung der Bauteildimensionen und Wahl der Tragwerkskonstrukturen auch gestaltend tätig. Es soll in diesem Aufsatz demonstriert werden, dass ein Ingenieur in Anlehnung an die sinngemäße Aussage des Kunsthistorikers Gotthold Meyer die „Rechnung als stilbildende Kraft“ einsetzen kann [Hartmann 1928]. Dabei wird der Fokus auf integrale Überführungsbrücken über Autobahnen und Schnellstraßen aus Beton gelegt, deren Form mit dem klassischen ingenieurtechnischen Werkzeug der Berechnung und der Bemessung sequentiell entwickelt werden. Insbesondere der Gusswerkstoff Beton verfügt durch dessen Formbarkeit immense Gestaltungsmöglichkeiten. Mit den heute zur Verfügung stehenden automatisierten Berechnungsprogrammen mit einfachen 3D-Visualisierungstools [Sofistik 2017] ist es für den Ingenieur ein Leichtes formerzeugend wirksam zu werden. Diese Chance sollte er auch ergreifen.

Zuerst wird die Lage und Ausbildung von Widerlagern als Teil eines Rahmensystems einschließlich der Vor- und Nachteile eines möglichen Mittelpfeilers aus statisch-konstruktiver und gestalterischer Sicht diskutiert. Als Ergebnis wird eine einfeldrige Lösung weiterverfolgt. Aufbauend darauf wird eine Schrägstellung des Widerlagers mit positiver und negativer Spreizung und deren Auswirkung auf die Biegemomentenverteilung im Gesamtsystem untersucht. Es zeigt sich, dass durch eine positive Spreizung, die eine Neigung des Widerlagers zur Böschung vorsieht, vorteilhafte Einspanneffekte für die Rahmenwirkung erzielt werden können. Die Abhängigkeit des Systems zu stark streuenden, horizontalen Bettungseigenschaften des Bodens, insbesondere bei weichen Böden wird erheblich reduziert.

Mit diesem Ergebnis wird anhand eines Beispielrahmens mit einer Überbaulänge von 30 m sequentiell die optimale Querschnittsform entlang des Überbau entwickelt. Auf Basis gleicher Belastungs- und Modellannahmen und des aktuell anzuwendenden Eurocodes [Eurocode] werden als Optimierungsdeterminanten die Randdruckspannungen im Zustand II infolge der charakteristischen Einwirkungskombination herangezogen, um einen möglichst völligen, d.h. über die Überbaulänge gleichmäßigen Spannungsverlauf zu erreichen [Pötzl et al. 1996, S. 46]. Dadurch wird die Beanspruchung bzw. die Formänderungsarbeit effizient über das Tragwerk verteilt. Die Bewehrungsmengen sollten sich dabei in vernünftigen, zweilagig verlegbaren Größenordnungen bewegen.

Aus dieser stufenweisen Querschnittsentwicklung resultieren schließlich Tragsysteme, deren Form angenähert dem Biegemomentenverlauf folgen. Somit wird Formlogik und damit ästhetische Qualität durch die authentische Abbildung der inneren, materialgerechten Strukturabsicht alleine mittels statisch-konstruktiver Prozesse erzeugt. Durch geschickte Masse- und Steifigkeitsverteilung werden darüber hinaus wirtschaftliche und dauerhafte Systeme mit akzeptablem Schalungsaufwand erzielt.

Als letzter Schritt werden konzeptionelle Entwürfe auf Basis einer Machbarkeitsstudie einer schlaff bewehrten und einer vorgespannten massiven Überführungsbrücke über eine 4-spurige Autobahn berechnet und visuell dargestellt. Aus den o.a. Erkenntnissen der Querschnittsentwicklung wird durch Vorsehen eines T-Querschnitts Masse in Brückenmitte bei gleichzeitiger Erhöhung der Steifigkeit reduziert, in den Momentennullpunkten generell Masse minimiert und bei den Rahmenecken über die gesamte Breite Masse konzentriert. Im Vergleich mit einer schlaff bewehrten Überführungsbrücke im Netz der ASFINAG, die eine Spannweite von ca. 39 m aufweist, kann eine Massenreduktion von ca. 36% lukriert werden. Eine weitere Verminderung von 6% wird durch die Spannbetonvariante erzielt, die mit einer vergrößerten Spannweite von 46 m und einer Querschnittshöhe von 1,10 m in Tragwerksmitte ein äußerst schlankes und elegantes Erscheinungsbild vermittelt.

## 6.4 Formdynamik an Überführungsbrücken

Titel: Formdynamik an Überführungsbrücken [Kleiser 2017c]

Wie schon in Kapitel 4.1 dargelegt und durch die Gestaltpsychologie belegt, verschafft der Ingenieur im Brückenbau den Tragwerksformen Ausdruck durch deren Ermittlung sowie Konfiguration und gestaltet somit die Umgebung unausweichlich mit. Aus diesem Grund ist es wichtig, bei Brückenobjekten eine Formlogik einzuhalten, um eine ästhetische Grundqualität zu gewährleisten. Nachdem in [Kleiser 2017b] eine formlogische Herangehensweise durch ingenieurtechnische Betrachtungen und sein tägliches Werkzeug, der Berechnung am Beispiel von einfeldrigen Überführungsbauwerken gezeigt worden ist, wird nun in diesem Aufsatz eine Erweiterung durch formdynamische Überlegungen und deren Umsetzung an den o.a. Brücken vorgestellt. Es wird gezeigt, dass es der Ingenieur in der Hand hat, den formlogischen Ausdruck des Tragwerks und dessen primäre Funktion des Überspannens gezielt zu beeinflussen. Dies kann durch Formen einfacher bis hin zu komplexer Ordnung erreicht werden.

Die prinzipiellen Thesen dieser Anschauungsdynamik führen auf den bekannten Psychologen und Kunstwissenschaftler Rudolf Arnheim zurück [Arnheim 1980; Arnheim 2000], der sich wiederum oft auf den deutschen Psychologen Theodor Lipps bezieht [Lipps 1966]. Beide verwenden neben der Dynamik weitere Begriffe wie Wahrnehmungskräfte bzw. –Wahrnehmungsspannungen, Bewegungstendenzen, Verformungen, Gewicht und Gleichgewicht, die auch im Ingenieurwesen sehr gebräuchlich sind. Es werden dadurch überraschende Analogien zwischen der Gestaltpsychologie und der Tätigkeit eines Ingenieurs deutlich.

Formdynamische Effekte können z.B. durch die Schrägstellung von Bauteilen oder Kanten ausgelöst werden, die für den Beschauer einen spannenden Eindruck hinterlassen. Wichtigste Übertragung dieses Phänomens auf den Brückenbau können Vouten oder ein Anschrägen von Stützen, wie z.B. bei einer Schrägstielüberführung darstellen. Um Willkür und Unordnung zu vermeiden, gilt das Streben nach Gesamtgleichgewicht nicht nur in der Statik, sondern auch in der Wahrnehmung. Dadurch werden Proportionsregeln bestätigt, die schon von den bekannten Brückeningenieuren Leonhardt und Menn aus langjähriger Erfahrung heraus aufgestellt wurden [Leonhardt 1982; Menn 1986].

Des Weiteren werden auch Krümmungen als ausdruckssteigernd wahrgenommen, worauf speziell auf die Krümmungsart und die Aneinanderreihung von Linien eingegangen wird. Kurven mit stetigen Krümmungsänderungen wie Parabeln, Hyperbeln, Klothoiden oder Sinuskurven ergeben einen harmonischeren Verlauf als Linien mit abrupten Übergängen wie z.B. zusammengesetzte Kreisbögen oder die Verbindung einer Gerade mit einem Kreis. Dies führt auch mittels einer Vergleichsberechnung zu statischen Vorteilen, da dadurch Spannungen reduziert werden können. Ähnliche Formentwicklungen sind auch aus der Natur bekannt (siehe dazu auch Kapitel 4.4.1).

Eine weitere Möglichkeit einer dynamischen Ausdrucksweise ist die Interpretation des Tragverhaltens in der Form. Im Umkehrschluss des Prägnanzgesetzes in der Gestaltpsychologie [Grütter 2015, S. 21] führen die visuelle Darstellung der Schnittkräfte oder der Spannungen bis

hin zu formkünstlerischen Effekten der Überzeichnung zu verstärkten Wahrnehmungsergebnissen. Als Beispiele wird einerseits die Wölbung und die Kannelierung der antiken Säule aber auch bekannte Brücken von Schlaich und Maillart herangezogen.

Abschließend werden die in [Kleiser 2017b] formlogisch entwickelten Studien von einfeldrigen Überführungsbrücken mit formdynamischen Überlegungen einerseits mittels Krümmungen und andererseits mit räumlich verschnittenen Kanten in Ableitung von Stabwerkmodellen erweitert. Diese werden als experimentelle Versuche bewertet, Möglichkeiten künstlerischen Wirkens auf Basis einer ingenösen Herangehensweise mit formlogischen und formdynamischen Mitteln von der Kern- zur Kunstform auszuloten. Als Praxisbeispiel wird der Entwurf einer Überführung als dynamisch geformter Schrägstielrahmen auf der neuen Verlängerung der Weinviertler Autobahn A5 vorgestellt.

## 7 Wissenschaftliche Aufsätze

### 7.1 Formlogik an Brücken – Teil 1

- Titel: Formlogik an Brücken – Teil 1: Überlegungen zur authentischen Formbildung von integralen Brückenenden
- Autor: Michael Kleiser
- Veröffentlichungstyp: Aufsatz in Fachzeitschrift
- Titel des Mediums: Bautechnik
- ISSN: 0932-8351 (print), 1437-0999 (online)
- DOI: 10.1002/bate.201500036
- Ausgabe: Ausgabe 93, Jahrgang 2016, Heft 2
- Seiten: 10 (49-58)
- Chefredakteur: Dirk Jesse
- Redaktion: Dirk Jesse
- Verlag: Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin
- Erscheinungsjahr: 2016
- Peer Reviewed: Ja, impact factor 0,266 (Stand Juli 2017)
- Status: Publiziert

# Formlogik an Brücken – Teil 1

## Überlegungen zur authentischen Formbildung von integralen Brückendenen

Brücken mit kurzen und mittleren Spannweiten werden in den letzten Jahren durchwegs als integrale Bauwerke ohne Fugen und Lager konzipiert. Das zugrunde liegende statische System des Rahmens erfordert ein differenziertes konzeptionelles Vorgehen nicht nur in statisch-konstruktiven, sondern auch in ästhetischen Belangen. Es werden Anregungen zur Formbildung aufgezeigt, die der innewohnenden Absicht der Bauweise in der entsprechenden Ausformung Geltung verschaffen. Viele Beispiele im Infrastrukturbau zeigen jedoch noch immer Brückentypen, die statisch konstruktiv integral berechnet und konstruktiv ausgebildet sind, jedoch das äußere Erscheinungsbild einer gelagerten bzw. gefügten Brücke vermitteln. Auch vielen Ingenieuren ist der essenzielle Zusammenhang zwischen der rationalen statisch-konstruktiven Lösung und dem formalen Ausdruck vielfach zu wenig bewusst. Um zu ganzheitlichen und authentischen Entwürfen zu gelangen, muss eine Kohärenz zwischen der Form der Brücke und dem ihr zugrunde liegenden statischen System erkennbar sein. Ziel ist es, Ingenieure von einer ingenieurtechnischen zu einer erweiterten ingeniosen Herangehensweise zu ermutigen, die auch die aus dem statischen System heraus entwickelten formgebenden Aspekte berücksichtigt und letztendlich in der Gesamtheit zu ästhetisch befriedigenden Ergebnissen führen soll. In diesem ersten Aufsatz werden konzeptionelle Überlegungen zur Formbildung im Bereich der Brückendenen erläutert, die die integrale Bauweise auf Basis hergeleiteter Funktionseinheiten reflektieren.

**Keywords** Brücke, integrale; Form; Formbildung, konstruktionsbasierte; Ästhetik; Widerlager; Rahmen

### 1 Einleitung

Fugenloses Bauen im Brückenbau im Sinne der Vermeidung von Bewegungsfugen findet immer mehr Zuspruch bei Infrastrukturbetreibern. Wartungsaufwändige Verschleißteile wie Dehnfugenkonstruktionen und Bewegungslager, die ursprünglich den Zweck hatten, einfache statische Tragsysteme zur Minimierung von Zwangsbeanspruchungen auszubilden, entfallen. Durch EDV-unterstützte Berechnungen kann heute der Einfluss von stark streuenden Zwängungskräften in der Entwurfsplanung von Brücken durch Variation der Eingangsparameter, wie

### Form logic on bridges (Part 1) – Considerations on authentic shaping of integral bridge ends

In recent years bridges with short and medium spans have been designed as integral structures without expansion joints and bearings. The structural system is based on the frame system and requires a differentiated conceptual approach not only in structural but also in aesthetic concerns. In this paper form suggestions are introduced, which provide the inherent intention of the integral structure to the viewer. However, many bridges within the infrastructure are calculated and structurally designed as monolithic structures but have a visual appearance of conventional supported and assembled bridges. Moreover, many engineers are not sufficiently aware of the essential correlation between the rational structural design and its formal expression. In order to achieve holistic and authentic designs, a coherence between the form of the bridge and its underlying structural system must be perceptible. The aim is to encourage engineers from the pure engineer-technical to an extended ingenious approach that considers form aspects which are developed based on the structural system and ultimately leads to aesthetically satisfactory results. In this first paper, conceptual form considerations for integral bridge ends are discussed, which are based on derived functional units and reflect the integral structural system.

**Keywords** integral bridge; form; structural shaping; aesthetics; abutment; frame system

z. B. durch Grenzbetrachtungen der Bodenparameter, berücksichtigt werden, womit eine ausreichende Basis für integrale und somit redundante sowie dauerhafte Bauwerke vorhanden ist. Insbesondere das monolithische Bauen mit Beton, der als Gusswerkstoff für homogene Formenvielfalt prädestiniert ist, erfordert jedoch neben der statisch-konstruktiven Konzeption auch eine formbildende Betrachtung, die mit der statischen Intention sinnvoll einhergeht bzw. in Anlehnung an EDUARDO TORROJAS Ausführungen in [1] einer konstruktiven Logik folgt. Entsprechende Grundüberlegungen und Vorschläge für Bauteil- und Knotenformen, die sich aus der fugenlosen Bauweise entwickeln, sind u. a. an der Technischen Universität Stuttgart in den 1990er-Jahren erarbeitet worden [2 und 3].

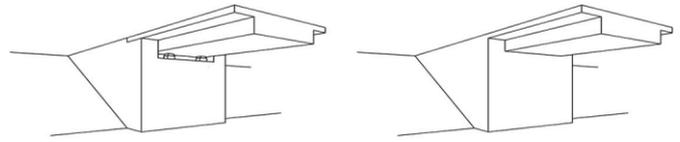
Leider wird derzeit die ganzheitliche Betrachtung in der Planung von integralen Brücken weniger bis gar nicht be-

\*) Corresponding author: michael.kleiser@asfinag.at  
Submitted for review: 08 April 2015  
Revised: 26 August 2015  
Accepted for publication: 02 September 2015

obachtet. Formanalogien werden vielmehr aus den vergangenen Jahrzehnten aus der konventionellen, gelagerten Bauweise übernommen. Beispielhaft wird der Anschluss eines Plattentragwerks mit seitlichen Kragarmen an das Widerlager in Bild 1 gezeigt, bei dem der gewohnte Formtypus der gelagerten Bauweise übernommen wird. Das Eintauchen des Überbaus in die Widerlagerwand wirkt nicht überzeugend, da es die statische Absicht nicht eindeutig nach außen vermittelt.

Ziel ist jedoch, die der fugenlosen Bauweise zugrunde liegende Rahmenbauweise konsequent in der Gesamtheit zu betrachten, statische Vorteile daraus zu ziehen und dessen charakteristische Funktion nach außen plastisch zu zeigen. Dies bedeutet für integrale Brücken nicht nur eine statisch-konstruktive Auseinandersetzung, die in den letzten Jahren durch eine Vielzahl von Veröffentlichungen geführt worden ist, sondern auch eine erweiterte ingenieure Diskussion der aus dieser Bauweise resultierenden Formansätze. PAULGERD JESBERG beschreibt den Begriff „ingenieure Tätigkeit“ als „schöpferisches und gestaltendes Handeln, eine Tätigkeit verbunden mit Scharfsinnigkeit und Beweglichkeit des Geistes, Witz und Einfallsreichtum, um den Phänomenen zu begegnen, sie zu durchschauen und die gestellten Probleme ganzheitlich zu lösen“ [4]. Es basiert auf einem Denken, das „im Zusammenhang mit dem Ingenieurbau im Ästhetischen, dem Schönen und dem Erhabenen im Ingenieurbau ganzheitliche Zielvorstellungen eröffnet“ [4]. Eine ingenieure Denkweise führt über das ingenieurtechnische Denken hinaus, erwächst jedoch aus dessen Wurzeln [5]. Fugenloses Bauen bedeutet monolithische Formen zu (er)finden und zu entwickeln, die einem homogenen Kraftfluss entsprechen und nach außen Authentizität ausstrahlen.

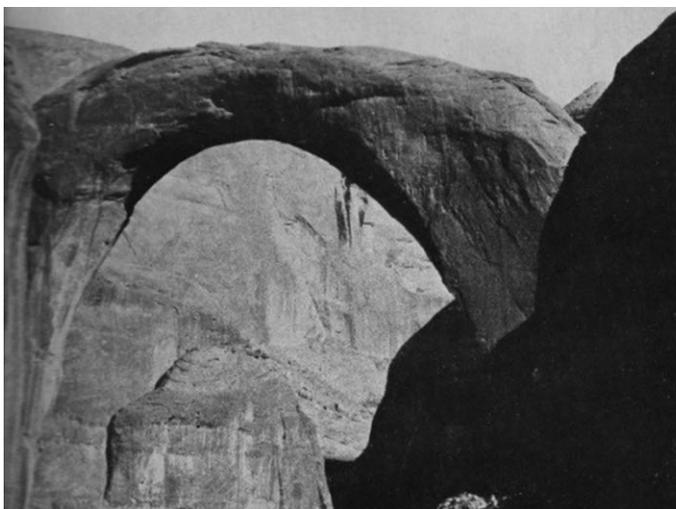
Eine absolute und für den Menschen unbestrittene Formauthentizität zeigen die in der Natur vorhandenen optimierten Formfindungsprozesse, die die unmittelbare Wechselwirkung von Form und funktionaler Erfordernis widerspiegeln (Bild 2).



**Bild 1** Unreflektierte Übernahme der Formsprache aus der gelagerten (links) in die integrale Bauweise (rechts)  
Unreflected formal adaption from the conventional supported (left) onto the integral system (right)

Dieser in der Regel wichtige Zusammenhang von Form und Funktion ist Grundlage der hier behandelten Formüberlegungen im überwiegend von der öffentlichen Hand finanzierten Infrastrukturbau, um als Gemeingut dem Ziel einer entsprechenden Wirtschaftlichkeit gerecht werden zu können, aber auch im Sinne der Baukultur hochwertige Bauwerke zu schaffen. Ein Außerachtlassen dieser Grundregel führt im Planungsprozess erfahrungsgemäß zu höheren Kosten durch nicht nachvollziehbare Konstruktionen bzw. zwecklosem Design oder zu rein kostengetriebenen, namenlosen Zweckbauten ohne Charakter [6]. Um ausufernde Gestaltungsideen zu vermeiden, entwickelte der österreichische Autobahnbetreiber ASFINAG im Leitkonzept Gestaltung Brücke entsprechende Entwurfsgrundsätze, die unter anderem eine gestaltbildende Einheit von Form und Konstruktion einfordert [7].

Den zwingenden Zusammenhang von Form und Funktion bzw. Konstruktion als grundlegendes Prinzip alleine auf die Doktrin des Funktionalismus im Hochbau des 19. und 20. Jh. zurückzuführen, greift allerdings zu kurz. Die Anforderung geht vielmehr aus dem Bildungsprinzip der hellenischen Tektonik hervor, das nach Ansicht des Architekten und Kunsthistorikers KARL BÖTTICHER identisch mit der lebendigen Natur ist: „Begriff, Wesenheit und Funktion jedes Körpers durch folgerechte Form zu erledigen, und dabei die Form in den Äußerlichkeiten so zu entwickeln, dass sie die Funktion ganz offenkundig



**Bild 2** Natürlich geformte Strukturen als Vorbilder für Formauthentizität (links: aus [14]; rechts: © Dieter Schütz, PIXELIO)  
Naturally shaped structures as examples for form authenticity (left: out of [14]; right: © Dieter Schütz, PIXELIO)

verräth“ [8]. Ziel ist, „die Verkörperung oder plastische Darstellung seines inneren Begriffes im Raume. Die Form erst verleiht dem baulichen Materiale die Eigenschaft seine Funktion erfüllen zu können; umgekehrt kann aus der Form jedes Mal die Funktion erkannt werden“ [8]. Anzumerken ist, dass damals die äußere Form nicht nur aus den statischen Notwendigkeiten der damals verwendeten Baustoffe Holz, Stein und Ziegel geprägt war, sondern der visuellen Nachvollziehbarkeit der inneren Funktion auch bewusst ein hoher ästhetischer Wert beigemessen wurde. Nicht zuletzt wurden Ornamente an Stellen geringer Beanspruchung wie in den Metopen, den Zwischenbereichen im dorischen Fries, gewählt und somit Verzierungen hoch beanspruchter Bauteile vermieden. ALFRED PAUSER meinte dazu: „Jene Objektteile, denen die Abtrag hoher Lasten zugemutet wird, erhielten keinen künstlerischen Schmuck, sie hatten mit sich selbst zu tun“ [9]. Wenn Oberflächengestaltungen durch z. B. Kannelüren vorgenommen wurden, war ein unmittelbarer Zusammenhang zur Kraftabtragung erkennbar [10].

In der Formbildung unterscheidet BÖTTICHER zwischen der Kern- und der Kunstform. Die Kernform wird auf Basis rein statisch-konstruktiver Überlegungen gefunden – sie ist in jedem Glied „das mechanisch nothwendige, das statisch fungierende Schema“ [8], die Kunstform – nicht zu verwechseln mit einer verkleidenden Hülle [11] – „als das die Funktion eines Bauteils (nach außen) funktions-erklärende Charakteristik“. BÖTTICHERS weitere Ausführung, „Diese Charakteristik versinnbildlicht aber nicht bloß die eigene Wesenheit jedes Gliedes, sondern auch seinen Bezug zu den anschließenden Gliedern, sie enthält auch die Junktur der mit ihm wirkenden; und so wie schon mechanisch alle Glieder zu einer statischen Einheit vereinigt sind, so verknüpfen bildlich die jungirenden Symbole aller Glieder folgerecht zu einem einzig unzertrennbaren Organismus.“, schließt auf die Notwendigkeit einer Suche nach zusammenhängenden wesensgleichen Funktionseinheiten [8].

## 2 Funktionseinheiten

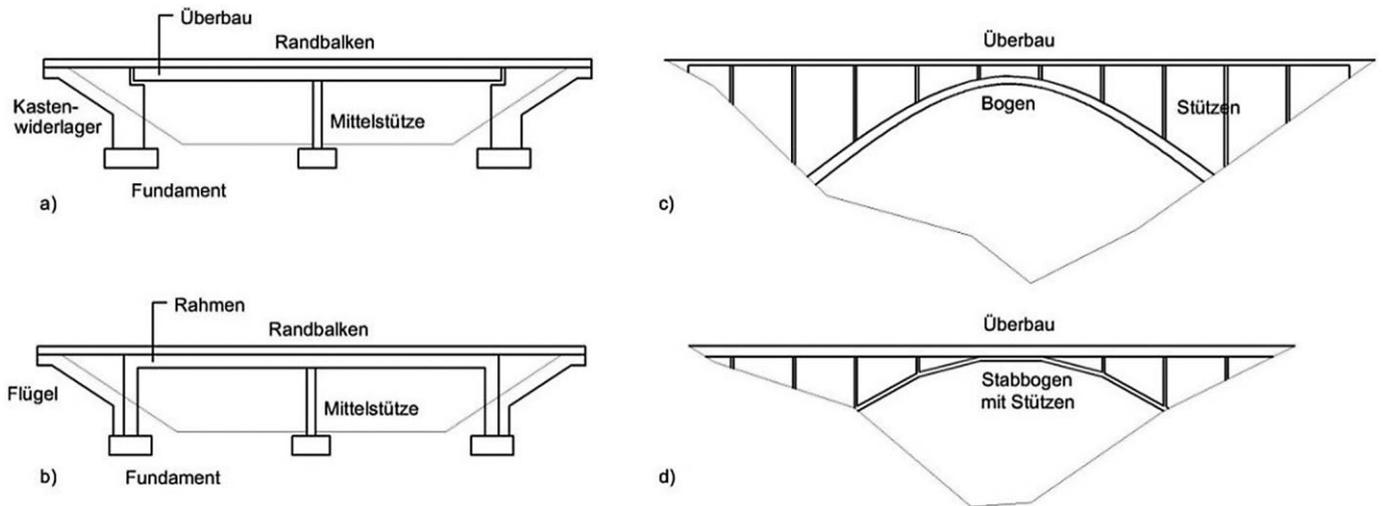
Die formale Betrachtung einer Brücke erfordert die Einteilung von Funktionseinheiten, die aus den gegenseitigen statisch-konstruktiven Abhängigkeiten und ranggleichen funktionalen Grundaufgaben ableitbar sind. Diese Einheiten gilt es im Entwurfsprozess zu identifizieren. Eine konventionelle Brücke setzt sich in der Regel aus den Hauptelementen des Fundaments als in den Boden lasteinleitender, des Aufgehenden aus Widerlager und Stützen als laststützender und des Überbaus als lastverteilender Bauteil als jeweils eigenständige Funktionseinheit zusammen (Bild 3a). Des Weiteren sind Bauteile wie Flügel zur Stützung von angrenzenden Dämmen und Ausbauteile wie die Fahrbahn und die Kappen als Fahrbahnbegrenzung als weitere Funktionseinheiten zu erwähnen. In fast analoger Weise spricht BAUMEISTER von architektonischen Elementen einer Brücke, bei der die Hauptelemen-

te Unterbau, Oberbau und Brückenbahn aufgezählt werden und aus deren unterschiedlichen Abhängigkeiten zueinander sich die Begriffe der Thor-, Wand- und Tragbrücken ableiten lassen [12]. Heute werden dafür im Wesentlichen die Begriffe der Rahmen-, Trog- und Deckbrücken verwendet.

Bei der fugenlosen Bauweise verschmelzen nicht alle Elemente zwingend in eine zusammengehörige Einheit, da trotz des statischen Verbunds den Bauteilen funktional unterschiedliche Aufgaben zugewiesen werden können. Durch die statische Verbindung des Überbaus mit dem Widerlager übernimmt dieses in abgeknickter Form die Funktion des Durchlaufträgerendfeldes und wird nun Teil des Überbaus (Bild 3b). Es entsteht daraus die Funktionseinheit des statischen Rahmens. Hingegen bleiben Parallelflügel, die bei einem Kastenwiderlager auch als versteifendes Element dienen, als rein dammstützende Funktionseinheit eigenständig. Als weiteres Beispiel wird eine aufgeständerte echte Bogenbrücke herangezogen, bei der, zwar statisch zusammenhängend wirkend, in der Regel die Aufständigung als stützendes Element einen untergeordneten Rang gegenüber dem primären Tragelement des Bogens und der oben liegenden Fahrbahnplatte einnimmt (Bild 3c). Genauso verhält es sich bei Mittelstützen von Balkenbrücken, wenn diesen gezielt eine nur stützende Aufgabe zugewiesen wird und auch nur vorwiegend Vertikalkräfte abtragen. Der Stabbogen in Bild 3d hingegen ordnet sich der Fahrbahn unter und dient gemeinsam mit der Aufständigung als zusammenhängende, die Fahrbahn versteifende Funktionseinheit.

Eine mögliche völlige Verschmelzung von Überbau, Aufständigung und Bogen zu einer Funktionseinheit zeigt die Zeller Brücke in Waidhofen aus dem Jahr 1898 in Eisenbetonbauweise (Bild 4 links). Im Gegensatz dazu werden unterschiedliche Funktionseinheiten einer Natursteinbrücke am Beispiel der Waldlitobelbrücke in Vorarlberg aus dem Jahr 1887 aufgrund des verwendeten Materials augenscheinlich (Bild 4 rechts). Die entsprechenden Anordnungen und Schlichtrichtungen der Steinscharen verdeutlichen authentisch deren Funktion innerhalb des Gesamtbauwerks als Teile des Primärbogens, der Sekundärbogenreihe, der stabilisierenden Bogenmasse und des Gesimses. Der Natursteinbau machte es für Ingenieure einfach, die Authentizität nach außen zu wahren. Im Eisen- bzw. Stahlbeton ist die Verdeutlichung subtiler, da die Richtungsabhängigkeit meist von der nach außen nicht wahrnehmbaren Stahlbewehrung übernommen wird. Aus diesem Grund sprach der deutsche Architekt PAUL ZUCKER in der ersten Hälfte des 20. Jh. der damals aufkommenden Eisenbetonbauweise die Materialechtheit ab [13]. Umso mehr ist die entsprechende Wahl der äußeren gegossenen Betonform für die Authentizität entscheidend.

Bewegungsfugen sind in der Regel einheitstrennend, sieht man von sehr langen Brücken ab, die aus konstruktiven Gründen in regelmäßigen Abständen eine Entspannungsfuge benötigen, jedoch als Überbau eine Einheit darstel-



**Bild 3** Mögliche Funktionseinheiten von Balken- und Bogenbrücken  
Possible functional units of beam and arch bridges



**Bild 4** Die Zeller Brücke in Waidhofen, gebaut 1898 (links) (Stadtarchiv Waidhofen a/d Ybbs) und die Waldlitobelbrücke aus dem Jahr 1887 (rechts) (aus [14])  
The Zeller Brücke in Waidhofen, built in 1898 (left) (Stadtarchiv Waidhofen a/d Ybbs) and the Waldlitobelbrücke from 1887 (right) (out of [14])

len sollen. Die Zäsur einer Bewegungsfuge bietet gute Möglichkeiten eines Material-, aber auch Formwechsels. Am deutlichsten zeigt es sich bei Verbund- oder Stahlbrücken, die auf massiven Widerlagern bzw. Pfeilern beweglich gelagert sind und somit nach außen die verschiedenen Funktionseinheiten und das zugrunde liegende statische System durch die materialbedingt unterschiedlichen Bauteilkonzeptionen authentisch widerspiegeln. Fertigteilkonstruktionen als grundlegend gefügte Bauweise setzen per se eine Zerlegung in entsprechende Funktionseinheiten voraus. Diese treten formlogisch als Baukastensystem in Erscheinung. Der Fundierung als Funktionseinheit wird zunächst weniger Aufmerksamkeit geschenkt, da diese in der Regel im Erdreich verborgen ist und sich dadurch der Frage nach einer Authentizität nach außen entzieht.

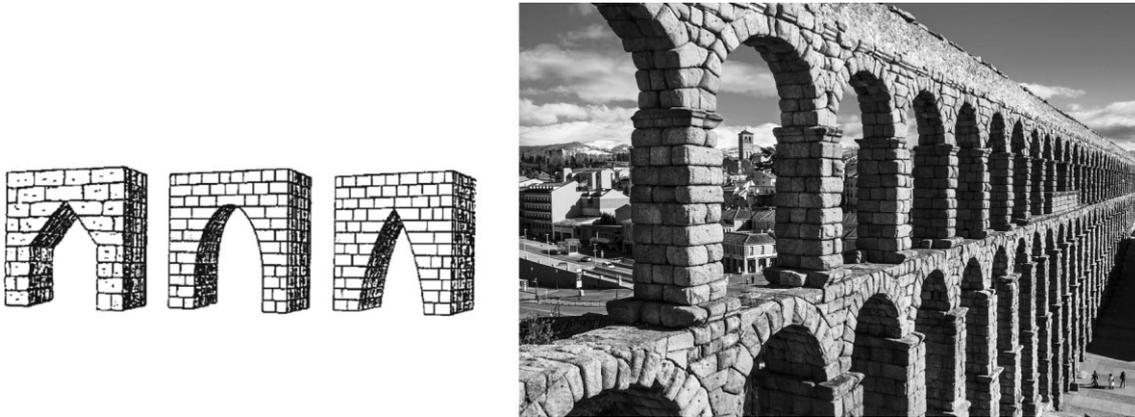
Die Funktionseinheit des statischen Rahmens ist historisch aus dem Gewölbe und dem Bogen ableitbar. Um dies näher zu erläutern, gilt es im Folgenden, die Funktionseinheit des Rahmens aus der Entwicklungsgeschichte herzuleiten, um darauf für fugenlose Brücken geringer

und mittlerer Spannweite formale Betrachtungen für die Brückendenen aufzubauen.

### 3 Die Entwicklung der Funktionseinheit des Rahmens

#### 3.1 Das Gewölbe – der Bogen

Gewölbe aus Stein über Kanäle bzw. kleine Kragsteinbrücken mit geringen Spannweiten bis ca. 3–4 m wurden in Ägypten ab dem 4. Jahrtausend vor Chr. [15] und später in Griechenland angewendet [16]. Diese gelten trotz ihrer meist vermörtelten Herstellungsart streng genommen nicht als fugenlos, stellen jedoch durch deren Haftverbund Urtypen der integralen Bauweise dar und bringen dies auch durch den homogenen und absatzlosen Aufbau zu einer Funktionseinheit zum Ausdruck (Bild 5 links). Bei einer näheren Betrachtung der römischen Viadukte, bei denen die ingenieurtechnischen Absichten zur vorrangigen Zweckerfüllung als reine Nutzbauten am deutlichsten zum Vorschein kommen, ist der unmittelbare Zusammenhang zwischen den Bogenreihen als Überbau und



**Bild 5** Schema der griechischen Kragsteinbrücken (links, aus [16]) und das Viadukt von Segovia (rechts, © Freesurf, Fotolia)  
 Scheme of greek corbel arch bridges (left, out of [16]) and the viaduct of Segovia (right, © Freesurf, Fotolia)

den Pfeilern als Unterbau gut erkennbar. Bestens erhalten zeigen die Viadukte von Nîmes und Segovia die Funktionseinheiten. Der tragende Kreisbogen unterscheidet sich in der radialen Steinanordnung von der ballastierenden waagrechten Steinschichtung (Bild 5 rechts). Trotz der Unterbrechung von Gesimssteinen bzw. Gesimsbändern zwischen den Bogenreihen und den Pfeilern ist deren unmittelbarer Zusammenhang durch die Formhomogenität augenscheinlich. Dass das Gesimsband über die Stilepochen als gestalterisches Element verwendet wurde – wobei dieses durch die richtige Platzierung die statische Absicht des horizontalen Bogenschubes nicht verleugnete – darf darüber nicht hinwegtäuschen, dass es ursprünglich vor allem dem Zweck einer Rüstungsauflage diente [17].

### 3.2 Vom Bogen zum Rahmen

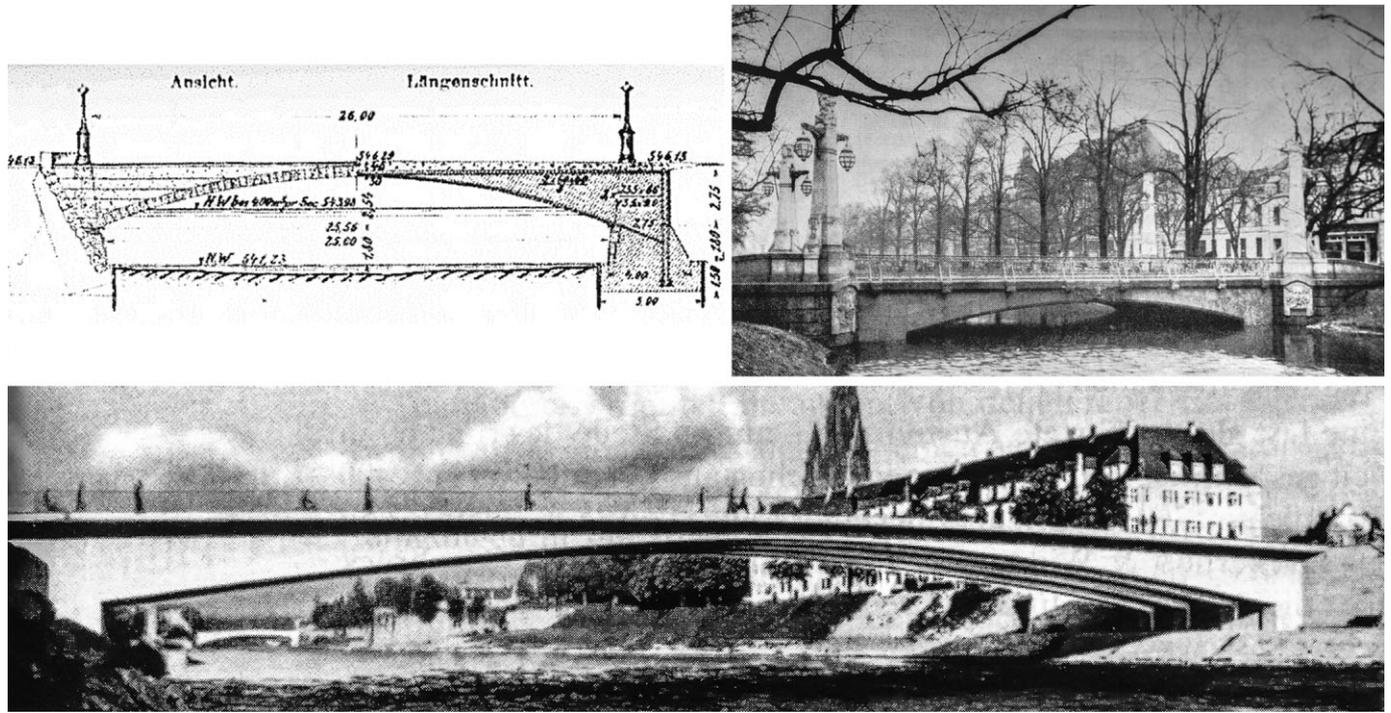
Im Unterschied zum Bogen liegt das Wesen von Rahmenkonstruktionen in der eindeutigen Abkehr von der idealen Stützlinienform und der hohen Einleitung der Horizontalkraft in das Widerlager. Ein erstes Abgehen von der für die Römer vollkommenen Geometrie des Kreisbogens [18], die im Übrigen nicht der idealen Stützlinie entsprach und dadurch in den Zwickelzonen Auffüllungen als Gegengewicht erforderte, zu flacheren Bogenformen vollzogen im größeren Stil erst die Baumeister der Renaissance. Die Gründe waren die Anforderungen immer größerer Spannweiten und kleinerer Bogenstiche und folglich auch eine Materialersparnis. Ende des 18. Jh. wandte JEAN-RODOLPHE PERRONET die neuen mathematischen Erkenntnisse aus den Ingenieurakademien Frankreichs an, um die Konstruktion von flachen Bögen auch rechnerisch nachzuweisen [19]. Um sich der Stützlinie unter Vermeidung von Zugkräften anzunähern, wurden das Eigengewicht der Standwiderlager und der Erddruck gezielt in der Berechnung berücksichtigt. Erst die Einführung des Eisenbetons und Entwicklungen der Bauweisen von WÜNSCH, MÖLLER, MELAN u. a., welche die planmäßige Aufnahme von Zugkräften ermöglichten, verhalfen der Rahmenbauweise endgültig zu ihrem Durchbruch. Eine gute Übersicht der Entwicklungsgeschichte der Rahmen-

bauweise vermittelt ALFRED PAUSER in [18]. Wie der Vergleich in Bild 4 zeigt, verschmelzen durch die Verwendung des Eisenbetons die einzelnen Funktionseinheiten des Steinbaus materialgerecht zu einem Kontinuum. Trotzdem wurde anfänglich der visuelle Ausdruck oft durch Natursteinverkleidungen als traditionsbehaftete Hülle an den für den damaligen Betrachter gewohnten Anblick des Bogens, wie das Beispiel der Kaiserbrücke in Sarajewo in Bild 6 verdeutlicht, angepasst und hinkte so dem statisch-konstruktiven Fortschritt nach. Einige Brücken wie die Königsbrücke (heute Girardetbrücke) in Düsseldorf oder die spätere Gänstorbrücke zeugen jedoch schon von einer folgerichtigen formalen Umsetzung.

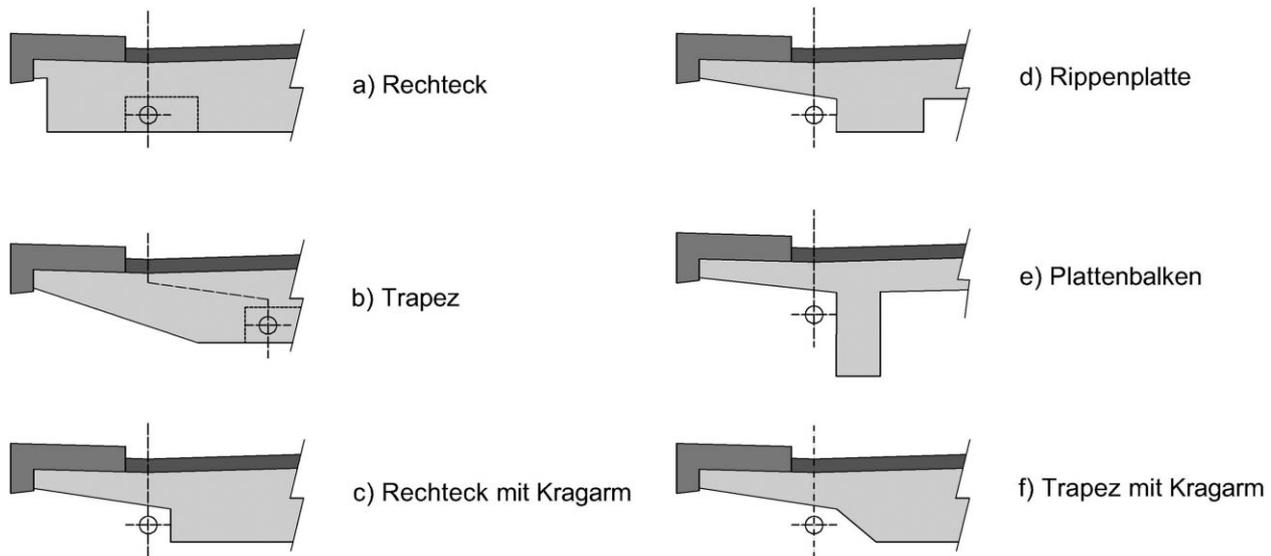
## 4 Überlegungen zu authentischen Formansätzen bei Brückenenden

### 4.1 Querschnittsformen

Für die Betrachtung möglicher Formansätze von integralen Brückenenden werden die heute üblichen Querschnittsformungen herangezogen, die sich im Stahlbeton- und Spannbetonbrückenbau im 20. Jh. aus den jeweiligen statischen Beanspruchungen und funktionalen Rahmenbedingungen als günstig erwiesen haben. In Bild 7a ist der einfache Rechteckquerschnitt dargestellt. Weitere statisch effizientere, aufgelöste Querschnittstypen für Brücken im mittleren Spannweitenbereich bis zu ca. 40 m werden in den Bildern 7b-f gezeigt. Hohlkastenquerschnitte werden im Hinblick auf die schwierige Integration mit dem Widerlager nicht berücksichtigt. Seitliche Kragarme führen zu einer Steigerung der visuellen Schlankheit und ermöglichen darüber hinaus eine erhaltungsfreundliche Anordnung der Brückenlängsentwässerung im Schattenbereich direkt unter der Fahrbahntwässerungsachse. Querschnitte mit seitlich hochgezogenen Tragwerksteilen, die einen Trog bilden, werden hierin nicht dargestellt, da dieser Querschnittstyp aus Gründen der reduzierten Druckzone zumindest in Deutschland und Österreich im Straßenbrückenbau nur in Sonderfällen verwendet wird.



**Bild 6** Kaiserbrücke in Sarajewo (Bauweise WÜNSCH – oben links, aus [20]), die Königsbrücke (Bauweise MÖLLER, heute Girardetbrücke) in Düsseldorf (oben rechts, aus [18]) und die Gänstorbrücke in Ulm von FINSTERWALDER (unten, aus [18])  
 Kaiserbrücke in Sarajewo (building method of WÜNSCH – top left, out of [20]), the Königsbrücke (building method of MÖLLER, now Girardetbrücke) in Düsseldorf (top right, out of [18]) and the Gänstorbrücke in Ulm by FINSTERWALDER (bottom, out of [18])



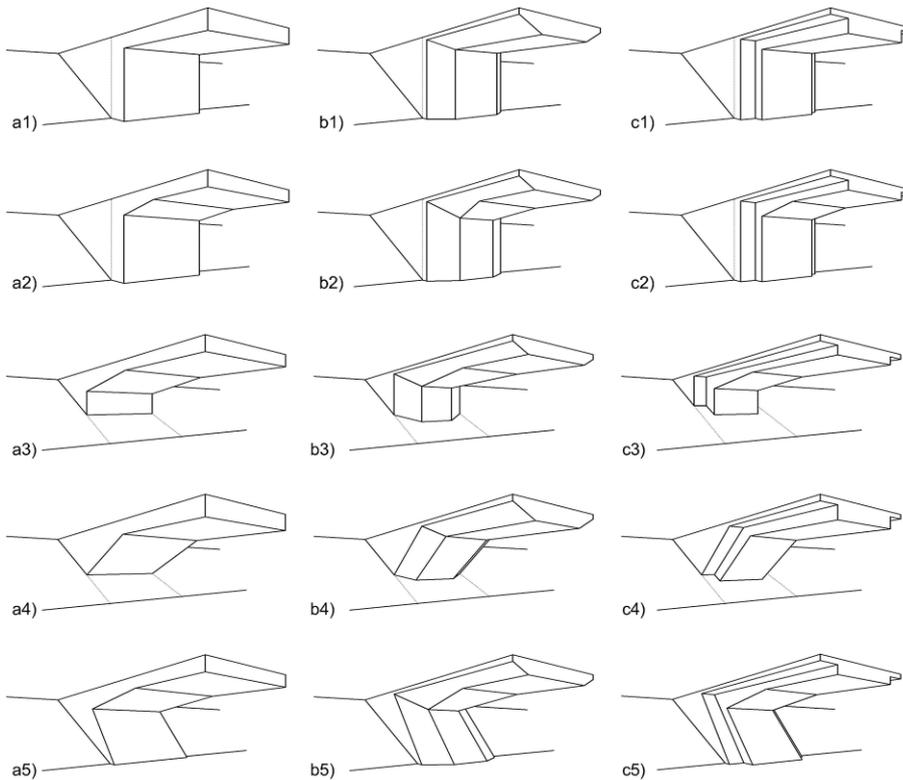
**Bild 7** Übliche Querschnittsformen von Brücken geringer und mittlerer Spannweiten  
 Common cross sections of bridges with small and medium spans

Auch wenn der fugenlosen Bauweise das statische System des Rahmens zugrunde liegt, der sich aus den Bauteilen des Rahmenriegels und der Rahmenstiele zusammensetzt, werden im Folgenden die üblichen Termini Widerlager und Überbau herangezogen.

## 4.2 Widerlager- bzw. Rahmeneckausbildung

Aufgrund der statischen Verträglichkeit ist es naheliegend, die Querschnittsform des Überbaus im Widerlager

zu übernehmen, da eine Übertragung des Biegeekmoments vom Überbau in das Widerlager erfolgt. Es werden in Bild 8 bis Bild 11 mögliche schematische Lösungen von Brückenden gezeigt, wobei die Querschnittsformen a–e aus Bild 7 herangezogen und mit der entsprechenden Widerlagersituation variiert werden. Dabei werden alle Brückenden nur im Straßeneinschnitt wiedergegeben. Die entsprechenden Vorschläge können jedoch in der Regel auf eine Dammsituation übertragen werden. Auf die Darstellung der Kappen wird verzichtet. In Bild 8 ergeben sich unter Einhaltung ebener Schalungsflächen



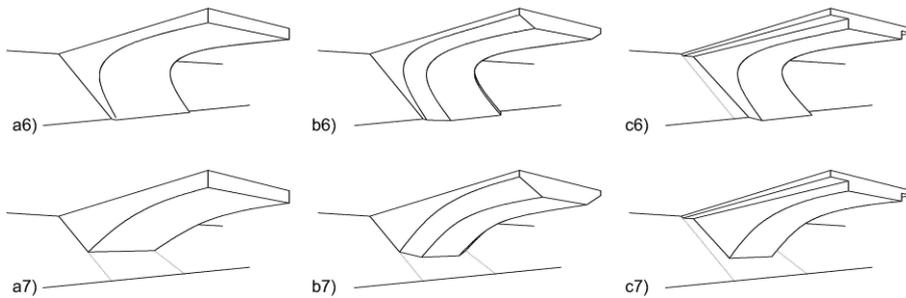
**Bild 8** Mögliche integrale Formansätze bei Widerlagern mit ebenen Schalungsflächen  
Possible integral form approaches on abutments with even formwork surfaces

Ausdrucksformen, die in der Regel nur marginale Kosten-erhöhungen, jedoch eine markante Steigerung der Außenwirkung nach sich ziehen. Die einfachen voutenlosen (Bild 8: a1, b1, c1) und gevouteten Rechteckrahmen (Bild 8: a2, b2, c2) ergeben kurze Stützweiten bei jedoch großen anschließenden Parallelflügeln, die in den Ansichtsflächen eine überproportionale Massivität gegenüber dem Überbau erzeugen (siehe auch Anmerkung von CONZETT in [21]). Ein Hochsetzen der Widerlager (Bild 8: a3, b3, c3) in die Böschung bewirkt in der Regel eine Verbesserung der Gesamtästhetik durch eine erweiterte Öffnung bei damit einhergehender Stützweitenvergrößerung. Die Authentizität des integralen Rahmens wird durch die kurzen sichtbaren Widerlageranschnitte gewahrt. Bei einer straßenseitigen Neigung des Widerlagers (Bild 8: a4, b4, c4) wird zunehmend visuell eine Sprengwerklösung impliziert, die nur bei sehr steifen Bodenverhältnissen auch als solche wirkt und deshalb nur dann zu bevorzugen ist. Das gleiche gilt für Brückenlösungen mit einer gleichmäßigen Krümmung der Unterkante (Bild 9: a7, b7, c7). Es sei anzumerken, dass bei Tragwerken, die in die Böschung ohne Widerlageransatz eintauchen, wesensstiftende Teile des Rahmens im Verborgenen bleiben. Die brückenunterseitig fortgeführte Böschungspflasterung wirkt in ihrer untergeordneten Funktion als schlichte Oberflächenbefestigung nur als notgedrungener Ersatz. Hingegen erzeugen böschungsseitig über die gesamte Böschungshöhe geneigte Widerlager (Bild 8: a5, b5, c5) mit dem Überbau einen durchgängigen, für den Betrachter sichtbaren Ausdruck der Tragwerksintegralität, der in seinen Dimensionen hinsichtlich der Kraftverteilung zum Überbau aus-

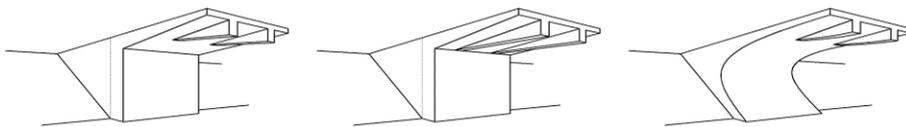
gewogen proportioniert ist und das Blickfeld unter der Brücke öffnet.

Kleinräumige Ausrundungen der Innenkanten, aber auch über die gesamte Stützweite durchgezogene bogen- bzw. gewölbartige Untersichten erzeugen flüssige Formen, bei deren Anwendung der Vorteil einer spannungsverteilenden Kraftableitung bzw. gesamtästhetische Überlegungen gegenüber eines höheren Schalungs- und Bewehrungsaufwandes abzuwägen sind. Einige Beispiele sind in Bild 9 gezeigt. Bei Ausführung von Plattenbalkenquerschnitten im Überbau ist ein Verschmelzen in das Widerlager gemäß Bild 10 sinnvoll, um die Steglasten über die Widerlagerbreite verteilen zu können. Weitere mögliche Formansätze, deren Komplexität von der gestalterischen Absicht bzw. vom gewählten Gestaltungsspielraum abhängt, werden in Bild 11 beispielhaft gezeigt. Dabei wird durch die Formgebung auch ein visueller Bezug zur Fundierung angedeutet, welche als lastverteilendes Element in den Boden dient.

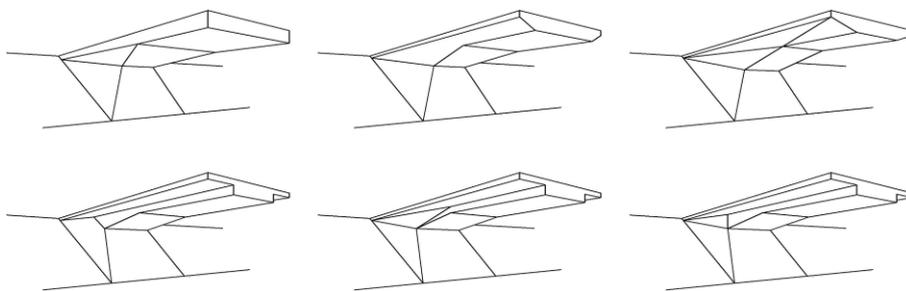
Die Verwendung eines Trapezquerschnitts erscheint nicht nur bei positiven Biegemomenten, sondern auch im Rahmeneck bei Vorhandensein von negativen Biegemomenten, insbesondere in Kombination mit einer Voute, sinnvoll. Der Trapezquerschnitt bietet für die oben liegende Bewehrung, die im Überbau in einem schlechteren Verbundbereich liegt, durch die meist erforderlichen Übergreifungsstöße und Rüttelgassen den erforderlichen Platz, vergrößert jedoch im Gegensatz zum Rechteckquerschnitt bei gleicher Fläche den Hebelarm. Vergleichsbe-



**Bild 9** Mögliche integrale Formansätze bei Widerlagern mit gekrümmten Schalungsflächen  
Possible integral form approaches on abutments with curved formwork surfaces



**Bild 10** Integrale Formübergänge von Plattenbalken-Querschnitten  
Integral form transitions of T-beams



**Bild 11** Weitere mögliche integrale Formansätze  
Further possible integral form approaches

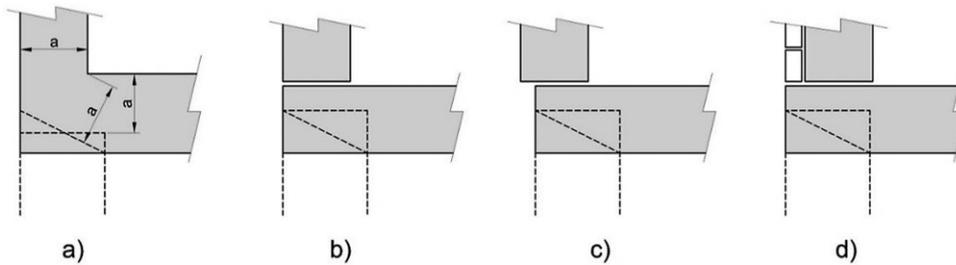
rechnungen zum Rechteckquerschnitt ergeben, dass beim Trapezquerschnitt bei Flächengleichheit und negativen Momenten infolge der Einschnürung der Druckzone der Nachweis der Betondruckspannungen maßgebend werden kann. Ästhetisch erzeugt der Trapezquerschnitt eine schlankere Silhouette, jedoch ist die praktikable Anordnung einer Brückenlängsentwässerung an der Außenseite direkt unter der Entwässerungsachse in der Fahrbahn schwierig.

Grundsätzlich ist bei der Formwahl des Rahmenecks die Planung einer allfälligen Brückenentwässerung mit zu bedenken und schon in den ersten Entwurfsskizzen unter Berücksichtigung eines ausreichenden Längsgefälles und Inspektions- bzw. Putzmöglichkeiten angemessen einzugliedern. Die Brückenentwässerung darf nicht als notwendiges Übel, sondern als meist zwingend erforderlicher Bestandteil zur dauerhaften Funktion der Brücke und infolgedessen als gestalterische Herausforderung einer angemessenen Einbindung in die Gesamtästhetik verstanden werden. Den hohen Stellenwert der Entwässerung im Zuge der Entwurfsplanung einer Brücke bestätigte JÜRGEN CONZETT mit der Aussage, einen Brückenentwurf oft mit Überlegungen zur Entwässerung zu beginnen [22]. Dies ist bei seiner Querschnittswahl bei der Überführung Glätti in Sufers eindeutig ersichtlich. Auf beispielhafte Mög-

lichkeiten einer geeigneten Einbindung der Entwässerung wird im Rahmen dieses Aufsatzes nicht eingegangen.

### 4.3 Flügelanschluss

Die Stützung des angrenzenden Damms kann durch eine zum Böschungsfußpunkt verlängerte Widerlagerwand, als Böschungsfügel bezeichnet, aber auch durch erdseitig rechtwinkelig an die Widerlager angesetzte Parallelflügel erfolgen. Biegesteif angeschlossene Parallelflügel wirken jedoch bei Rahmenbauwerken statisch ungünstiger, da eine Versteifung der Eckbereiche entsteht und somit Schnittgrößen ungleichmäßig über die Widerlagerbreite verteilt werden. Eine Verkleinerung der Parallelflügel durch Hochsetzen der Widerlager in den Damm oder durch eine Schrägstellung der Widerlager ermöglicht eine gleichmäßigere Verteilung der Rahmeneckmomente und setzt darüber hinaus auch gestalterische Anreize. Bei seitlichen Einschnitten als Verlängerung der Tragwerkkragarme bzw. Anfasungen im Widerlager zur Trapezform wird die Dicke der Widerlagerwand durch die statische Anschlussfähigkeit des Flügels bestimmt (Bild 12a). Für eine möglichst flexible Ausführung der Widerlagerwand mit gleichmäßiger Momentenverteilung sorgt eine statische Trennung durch eine Bewegungsfuge



**Bild 12** Unterschiedliche Anschlüsse von Parallelfügeln  
Various parallel wing junctions



**Bild 13** Ein Vergleich der Proportionen des visuell abgesetzten Widerlagers und des Überbaus  
A comparison of proportions concerning the abutment and the deck

zwischen Widerlager und Flügel (Bild 12b). Diese, insbesondere bei Standflügeln zu empfehlende Maßnahme bewirkt eine visuelle Trennung der Funktionseinheit des Rahmens vom dammstützenden Element. In einzelnen Formansätzen in Bild 8 und Bild 10 ist eine mögliche Trennung durch eine helle Linie angedeutet. Die Integrität des Tragwerks wird dadurch nicht aufgehoben. Auch ein seitliches Absetzen, eine differenzierte Oberflächenstruktur in Verlängerung der erdseitigen Widerlagerfläche oder eine andere Konstruktionsart, wie z. B. bewehrte Erde oder ein Steinsatz, begünstigen die visuelle Verdeutlichung der Rahmenwirkung (Bilder 12c und 12d).

Eine angemessene Proportionalität zwischen abgesetzter Widerlagerwand und Überbau sollte gewahrt bleiben. Dabei sind zu dünne Widerlagerdicken zu vermeiden (siehe auch Anmerkungen von LEONHARDT in [23]). Der Unterschied im Ausdruck ist an zwei Brücken in Bild 13 gezeigt, bei denen die Rahmenwirkung mit einem seitlichen Absetzen der Flügel angedeutet wird.

## 5 Zusammenfassung

Die fugenlose Bauweise bei Brücken hat sich in den letzten Jahren im Infrastrukturbau als robuste Tragwerksform bewährt und mittlerweile etabliert. Über die Definition als integrale Brücke ist bezugnehmend auf Berech-

nungs- und Entwurfsannahmen bzw. -vorgaben eine Vielzahl an Literaturmaterial bis hin zu Richtlinien und Merkblättern (z. B. [24 und 25]) veröffentlicht worden. Dieser Aufsatz setzt sich nun auch mit den aus dieser Bauweise herzuleitenden Formerfordernissen auseinander. Ziel ist es, eine Übereinstimmung der äußeren Form mit der der Struktur innewohnenden statischen Funktion als zusammenhängende, wie es KARL BÖTTICHER ausdrückt, „wesensgleiche“ Einheit zu erreichen [8]. Es werden Überlegungen zu authentischen Formansätzen im Widerlager- bzw. Rahmeneckbereich von integralen Tragsystemen hergeleitet, die als Anregungen und richtungsweisende Vorschläge dienen, um ein kontinuierliches Erlernen und Erfahren des Formempfindens des Ingenieurs zu fördern, ohne einen Absolutheitsanspruch abzuleiten.

### Anmerkung

Dieser Aufsatz entstand aus einer Eigenrecherche des Autors, die unter anderem in den Bibliotheken des Instituts für Tragkonstruktionen – Betonbau der Technischen Universität Wien und der Privatbibliothek von Herrn o. Univ. Prof. ALFRED PAUSER durchgeführt worden ist. Die Inhalte des Beitrags stellen ausschließlich die persönliche Meinung des Autors dar. Ansprüche gegenüber der ASFINAG sind dadurch nicht ableitbar.

## Literatur

- [1] TORROJA, E.: *Logik der Form*. München: Verlag Georg D.W. Callwey, 1961.
- [2] PÖTZL, M.; SCHLAICH, J.; SCHÄFER, K.: *Grundlagen für den Entwurf, die Berechnung und konstruktive Durchbildung lager- und fugenloser Brücken*. DAfStb, Heft 461, Beuth Verlag.
- [3] ENGELSMANN, S.; SCHLAICH, J.; SCHÄFER, K.: *Entwerfen und Bemessen von Betonbrücken ohne Fugen und Lager*. DAfStb, Heft 496, Beuth Verlag.
- [4] JESBERG, P.: *Die Geschichte der Ingenieurbauekunst aus dem Geist des Humanismus*. Deutsche Verlags-Anstalt, 1996, S. 7.
- [5] KLEISER M.: *Konstruktive Gestaltung von Brücken – eine ingenieure Tätigkeit*. Vortrag, Brückentagung Wien 2013, [www.brueckentagung.at/bruecke2013](http://www.brueckentagung.at/bruecke2013).
- [6] BÖGLE, A.; SCHMAL, B. C.: *Leicht Weit – Light Structures: Jörg Schlaich Rudolf Bergemann*. München, Berlin, London, New York: Prestel, 2004, S. 218.
- [7] STEINER, M.; KLEISER, M.: *Leitkonzept Gestaltung Brücke*. ASFINAG, 2012.
- [8] BÖTTICHER, K.: *Die Tektonik der Hellenen*. Potsdam, 1852.
- [9] PAUSER, A.: *Der Brückenentwurf – ein Leitfad*. Interne Arbeitsunterlagen Pauser ZT GmbH/PCD GmbH, 2005.
- [10] KOEPF, H.: *Struktur und Form – Eine architektonische Formenlehre*. Kohlhammer, 1979.
- [11] KÜHN, C.: *Stilverzicht*. Bauwelt Fundamente 116 (1997), S. 47.
- [12] BAUMEISTER, R.: *Architektonische Formenlehre für Ingenieure*. Hoffmann'sche Verlagsbuchhandlung, 1866.
- [13] HARTMANN, F.: *Ästhetik im Brückenbau*. Franz Deuticke Verlag, 1928, S. 31.
- [14] WHITNEY, C. S.: *Bridges – A Study in their Art, Science and Evolution*. William Edwin Rudge, 1929.
- [15] ECKERSTORFER, P.: *Gestaltrelevante Aspekte für den Entwurf von Massivbrücken*. Dissertation, 1999.
- [16] WÖLFEL, V. W.: *Die Kragsteinbrücke in der vorchristlichen Antike*. Bautechnik 72 (1995), H. 10, S. 696–698.
- [17] STRAUB, H.: *Die Geschichte der Bauingenieurkunst*. Birkhäuser Verlag, 4. Auflage, 1992.
- [18] PAUSER, A.: *Entwicklungsgeschichte des Massivbrückenbaus unter Berücksichtigung der Verhältnisse Österreichs*. Österreichischer Betonverein, 1986.
- [19] PETERS, T. F.; et.al.: *Entwicklung des Großbrückenbaus*. Verlag der Fachvereine an den Schweizerischen Hochschulen und Techniken, ETH Zürich, 1979, S. 71.
- [20] EMPERGER, F.: *Handbuch für Eisenbetonbau: Bd Brückenbau*. 2. Auflage, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, 1911.
- [21] CONZETT, J.: *Entwurf von Brücken*. Betonkalender, Wiley Verlag, 2010, S. 15.
- [22] CONZETT, J.: frei zitiert beim Vortrag Gedanken zum Entwerfen von Brücken am 14. März 2007 im Architekturzentrum Wien.
- [23] LEONHARDT, F.: *Brücken – Ästhetik und Gestaltung*. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt, 1982, S. 112.
- [24] UK Highways Agency: *The Design of Integral Bridges*. Design Manual for Roads and Bridges, Volume 1, Section 3, Part 12, BA 42/96 Amendment No. 1, 2003.
- [25] ASTRA, Bundesamt für Straßen: *Konstruktive Einzelheiten von Brücken, Kapitel 3: Brückenende*. Richtlinie, Ausgabe 2011.

### Autor

Dipl.-Ing. Michael Kleiser  
ASFINAG Bau Management GmbH  
Fachbereich für Technik, Innovation und Umwelt  
Modcenterstraße 16  
1030 Wien  
[michael.kleiser@asfinag.at](mailto:michael.kleiser@asfinag.at)

## 7.2 Formlogik an Brücken – Teil 2

- Titel: Formlogik an Brücken – Teil 2: Überlegungen zur authentischen Formbildung von fugenlosen Stützenanschlüssen
- Autor: Michael Kleiser
- Veröffentlichungstyp: Aufsatz in Fachzeitschrift
- Titel des Mediums: Bautechnik
- ISSN: 0932-8351 (print), 1437-0999 (online)
- DOI: 10.1002/bate.201500112
- Ausgabe: Ausgabe 94, Jahrgang 2017, Heft 2
- Seiten: 10 (83-92)
- Chefredakteur: Dirk Jesse
- Redaktion: Dirk Jesse
- Verlag: Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin
- Erscheinungsjahr: 2017
- Peer Reviewed: Ja, impact factor 0,266 (Stand Juli 2017)
- Status: Publiziert

# Formlogik an Brücken – Teil 2

## Überlegungen zur authentischen Formbildung von fugenlosen Stützenanschlüssen

Der allgemeine Trend im konzeptionellen Brückenentwurf zur Wahl dauerhafter, fugenloser Rahmensysteme erfordert nicht nur vertiefte, statisch konstruktive Überlegungen zur Kraft- und Momentenweiterleitung vom Überbau in den Unterbau, sondern auch erweiterte Betrachtungen hinsichtlich einer ganzheitlich ästhetischen Lösung. Um zu authentischen Entwürfen zu gelangen, muss eine Kohärenz zwischen der Form der Brücke und dem ihr zugrunde liegenden statischen System erkennbar sein. In diesem Aufsatz werden Formüberlegungen von biegesteifen Stützenanschlüssen an Überbauten einerseits als zusammenhängende, kontinuierlich wirkende und andererseits als getrennt wirkende Funktionseinheiten erläutert. Anschließend wird auf die Sonderstellung der eingespannten Rundstütze und deren Anwendungsgrenzen sowie auf hybride Stützenanschlüsse eingegangen. Dem planenden Ingenieur werden Anregungen zum Brückenentwurf über seine ingenieurtechnische Kernaufgabe hinaus hin zu einer ingeniosen Herangehensweise gegeben, mit dem Ziel, bewusst Verantwortung als Gestalter unseres Lebensraums übernehmen zu können. Die Formüberlegungen werden mit Beispielen untermauert.

**Keywords** Brücke, integrale; Form; Formbildung, konstruktionsbasierte; Ästhetik; Stützen; Rahmen; Funktionseinheit

### 1 Einleitung

Die Formbildung ist im öffentlich finanzierten Infrastrukturbauwesen in der Regel nicht als willkürlicher Akt im Sinn einer bloß inspirativen Freiformsetzung zu sehen, sondern soll sich an einer Formlogik in Anlehnung an EDUARDO TORROJAS Ausführungen [1], nicht zuletzt aus Verpflichtung einer zweckökonomischen Baukultur gegenüber, orientieren. Diese Herangehensweise basiert auf einem analytisch inspirierten, ingeniosen Gestaltungsverständnis und schafft im Zusammenwirken von Form und Funktion eine entsprechende Formauthentizität. Insbesondere bei der Verwendung des Materials Stahlbeton ist die Sorgfalt einer gezielten formbildenden Betrachtung unabdingbar, um die innere Strukturabsicht nach außen authentisch darzustellen. Dies begründet sich durch die erweiterten formalen Möglichkeiten des Betons als Gusswerkstoff aufgrund seiner plastischen Formbarkeit, wobei die funktionswichtige Zugbewehrung jedoch verdeckt wird. Der Zusammenhang von Form und Funktion wird ausführlich in [2] beschrie-

### Form logic at bridges (Part 2) – Considerations on authentic shaping of jointless column connections

The common tendency within conceptual bridge design towards durable jointless frame systems requires not only deepened structural considerations of force and moment transition from the superstructure into the substructure, but also broadened approaches of a holistic aesthetical solution. The coherence between the form and its underlying structural system has to be recognisable in order to achieve authentic designs. In this paper form considerations of columns, which are monolithically connected to the superstructure as associated and separated function units, respectively, are illustrated. Furthermore, the special standing of the fixed circular column and its application limits as well as hybrid column connections will be discussed. For the planning engineer impulses in bridge design are provided to work far beyond his structural core tasks towards an ingenious approach with the aim of consciously taking over responsibility in designing our living space. The form considerations are underlined with examples.

**Keywords** integral bridge; form; structural shaping; aesthetics; columns; frame system; function units

ben und als Voraussetzung einer ganzheitlichen Entwurfsplanung insbesondere von infrastrukturellen Projekten wie Brücken zugrunde gelegt. Der Begriff „Funktion“ ist seit Jahrhunderten viel diskutiert, jedoch kann in Anlehnung an ANDREA MEMMO die Funktion als „Wirkungsweise der Kräfte in Material und Bauteil, ihre Elastizität und Energie, quasi ihr immanentes Gesetz, ...“ [3] für den Brückenbau geltend gemacht werden, dem, so MEMMO weiter, „... mit einer möglichst passenden Form entsprochen werden muss“. Es besteht von JEAN-NICOLAS-LOUIS DURAND über PIER LUIGI NERVI bis in die heutige Zeit weitgehende Einigkeit, dass eine funktions- bzw. nutzenorientierte Gestaltung auch letztendlich zu einer entsprechenden Wirtschaftlichkeit führt [4, 5]. Öffentliche Infrastrukturbetreiber sind schon aus diesem Grund gut beraten, gestalterische Ambitionen an dem Grundsatz der konstruktiven Gestaltung, wie es auch im Leitkonzept der ASFINAG definiert ist, zu orientieren, um die Ziele einer baukulturell verträglichen und öffentlich akzeptierten Infrastruktur zusammen mit den behördlichen Vorgaben der Sparsamkeit und Zweckmäßigkeit zu erreichen [6, 7].

Nachdem in [2] Formüberlegungen zu integralen Brückenden infolge des derzeit eindeutigen Trends zur Vermeidung jeglicher Bewegungsfugen diskutiert worden sind,

\*) Corresponding author: michael.kleiser@asfinag.at  
Submitted for review: 03 February 2016  
Revised: 22 August 2016  
Accepted for publication: 22 August 2016



**Bild 1** Unterbau und Überbau als eine zusammenhängende (links) und getrennte (rechts) Funktionseinheit  
Superstructure and substructure as one associated (left) and separated (right) function unit

wird nun als Erweiterung der Fokus auf fugenlos bzw. biegesteif angeschlossene Mittelstützen gelegt. Das Einspannen von Mittelstützen in den Überbau wurde in der Stahlbetonbauweise grundsätzlich seit der Einführung des Baustoffs praktiziert und findet heute z. B. bei Brücken im Freivorbauverfahren oder bei vielen Brücken mit kleinen und mittleren Spannweiten häufig Anwendung. Die Tendenz vieler Brückenentwurfsplanungen geht eindeutig in die Richtung, Lagerspalten zu vermeiden und dafür tiefere, statisch konstruktive Überlegungen durchzuführen, sofern es herstellungstechnisch sinnvoll erscheint. Rahmenbrücken mit biegesteif angeschlossenen Stützen können unter optimalen Umgebungsbedingungen schon mit großen Längen als semiintegrale Brücken konzipiert werden, wie z. B. die Scherkondetalbrücke mit einer Gesamtlänge von 577 m aufzeigt [8]. Derzeit laufende Forschungen u. a. der ASFINAG zeugen von weiteren Bemühungen, technische Planungsgrundlagen zu schaffen, um die fugenlosen Bauwerkslängen zu maximieren [9].

Formale Betrachtungen sind in Bezug auf die Integrationsfähigkeit massiver Stützen in Betonbauwerken von ALFRED PAUSER durchgeführt und in seinem bemerkenswerten Artikel [10] publiziert worden. Insbesondere wird darin die historische Entwicklung der Stütze von ihrer ursprünglich zugewiesenen Bedeutung und deren Überführung auf aktuelle Stützenformen infolge des technologischen Fortschritts im Hoch- und Tiefbau beschrieben und das Abhängigkeitsverhältnis der Stütze und deren Querschnittsform im Gesamtsystem betrachtet. Ästhetische Konsequenzen von biegesteifen Mittelstützen sowie Verbindungen von Stahlstützen an Massivüberbauten als Hybridkonstruktionen wurden ansatzweise in [11] diskutiert. Weitere Überlegungen zu Gestalt und Struktur fugenloser Betonbrücken wurden durch STEFAN ENGELSMANN aufbereitet [12], der insbesondere das Erfordernis eines konturfreien, harmonisch flüssigen Übergangs aufgrund der „Körperhaftigkeit von Betonbauwerken“ vom Überbau in den Pfeiler hervorhob.

## 2 Funktionseinheiten

### 2.1 Formale Wirkung

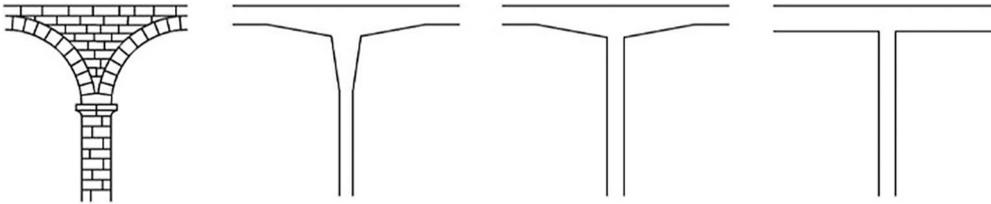
Durch die monolithische Bauweise erfolgt nicht nur eine statisch konstruktive Verbindung des Brückenüberbaus an den Unterbau, sondern auch eine Auseinandersetzung des formalen Wirkens beider Bauteile, wie es KARL BÖTTICHER sinngemäß „als Verknüpfung wesensgleicher Elemente zu einem einzig unzertrennbaren Or-

ganismus“ in [13] ausführte. In [2] wurden zusammengehörige, ranggleiche Funktionseinheiten, die aus gegenseitigen statisch konstruktiven Abhängigkeiten und funktionalen Grundaufgaben gebildet werden, abgeleitet und in Beispielen gezeigt. Im Falle des Stützenanschlusses kann dieser bei beabsichtigter und statisch bedeutender Einspannwirkung im Überbau gemäß Bild 1, links mit diesem zu einer zusammenhängenden Funktionseinheit verschmelzen. Andererseits können auch der Überbau und die Stützen als getrennte Funktionseinheiten statisch und formal in einer jeweils lastverteilenden und laststützenden Funktionseinheit mit untergeordneter Einspannwirkung ihre Wirkung entfalten (Bild 1, rechts). Die Funktionseinheit gilt es am Anfang des Brückenentwurfes zu wählen und darauf aufbauend formale Folgewirkungen zu beachten.

Um die Entwicklung der Funktionseinheiten innerhalb einer Rahmenbrücke zu verdeutlichen, wird auf die Bedeutung von Stützen im Verband mit dem aufliegenden Gebälk und deren Übertragung auf die heutige Rahmenbauweise im Brückenbau eingegangen.

### 2.2 Entwicklung als Auflösung einer Wand

Die architektonische Formenlehre geht von Pfeilern und Säulen unter dem Sammelbegriff Stützen als Bauteile von geöffneten bzw. aufgelösten Mauern bzw. Wandelementen aus. Pfeiler sind häufig rechteckig oder quadratisch und sind „grundsätzlich durch ihre Dimension, ihr Material und ihre Stellung im Bauzusammenhang ein Glied der Mauer“ [14]. Dies zeigt sich in der Regel durch eine absatzlose und kontinuierliche Fortführung der Bogenbreite zur flüssigen Kraftweiterleitung in den Pfeiler, abgesehen von auskragenden Gesimsen im Übergang von Bogen zu Pfeiler (siehe auch [2]). Damit wird die grundlegende funktionale Bedeutung des Pfeilers als „Mauerreststück“ und somit auch der essenzielle Zusammenhang mit den darüberliegenden Mauer- bzw. Wandelementen als Einheit deutlich. Auf die Sonderstellung der Säule als eigenständiges Element wird noch in Abschn. 3.3 eingegangen. Als Vorbilder für den Infrastrukturbau dienen die römischen Via- und Aquädukte als damals typische Zweckbauten, die den Zusammenhang der Gesamtstruktur augenscheinlich hervorheben. Die äußere Formauthentizität wird durch die unterschiedlichen Steinschichtungen des Bogens und der Zwickelbereiche als visueller Ausdruck des Tragmechanismus, des „Wesens“, innerhalb dieser Einheit erzielt (Bild 2, links oben). Da dadurch auch unterschiedliche



**Bild 2** Formhomogener Stützenanschluss im Natursteinbogen und die Reduktion auf die heute angewendeten gevouteten bzw. parallelgurtigen Bauformen (oben), Schwabachtalbrücke und Mainbachtalbrücke bei Nürnberg (unten, aus [15])

Form homogeneous column connection of a stone arch and the reduction to the current haunched and parallel building forms (top), Schwabachtalbrücke and Mainbachtalbrücke near Nürnberg (bottom, out of [15])

Funktionen der Lastabtragung erfüllt werden, können der Bogen und die Zwickelbereiche auch als jeweils eigene Funktionseinheit gesehen werden. Ein seitliches Absetzen einerseits des Bogens zu den Zwickelbereichen und andererseits des Bogens zum Pfeiler zuungunsten der Gesamthomogenität wird dennoch im antiken Zweckbau nicht beobachtet – eine homogene Kraftableitung war von höherer Priorität.

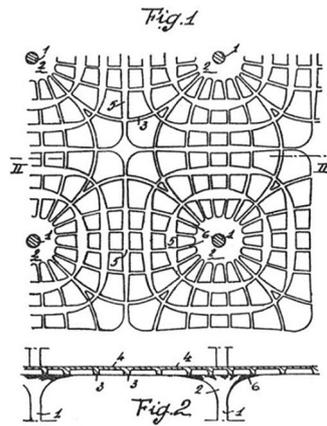
Durch die Einführung der Rahmenbauweise aus Eisenbeton erfolgte eine Zusammenführung der Bogenelemente und Zwickelbereiche. Zur Erhöhung von Spannweiten und Schlankheiten durch die heutige Verwendung von Stahl- und Spannbeton wurde die Natursteinbogenfolge auf den heute gebräuchlichen Formenkanon des gevouteten bzw. parallelgurtigen, mehrstieligen Rahmens reduziert (Bild 2, oben) und bildet aufgrund der ursprünglichen Bedeutung als Auflösung einer Wand eine zusammenhängende Funktionseinheit. Als gutes Anschauungsbeispiel für eine formlogische, zeitgemäße Interpretation der klassischen Natursteinbauweise der Nachbartragwerke gilt u. a. das Brückentrio der Renitztal-, Schwabachtal- und Mainbachtalbrücke bei Nürnberg, die allesamt fugenlos ausgebildet wurden (Bild 2, unten).

### 2.3 Entwicklung im Raum

Die Erweiterung der Zusammengehörigkeit von Stützen und Gebälk in die dritte Dimension erfolgt in Form des

Gewölbes, das die räumliche Erstreckung des Bogens darstellt. Die Entwicklung von weitgespannten Gewölbekonstruktionen wurde insbesondere durch die Römer vorangetrieben und in der Romanik und speziell der Gotik durch örtliche Rippenverstärkungen mit extremen Massenreduktionen perfektioniert. Dabei wird die räumlich zusammenhängende Funktionseinheit von Stütze und Gewölbe visuell im Fächergewölbe der englischen Hochgotik am deutlichsten ausgedrückt. Die Gewölberippen führen wie in Stein gemeißelte Lasttrajektoren direkt in die schlanken Dienste der angeschlossenen Bündelpfeiler (Bild 3, links).

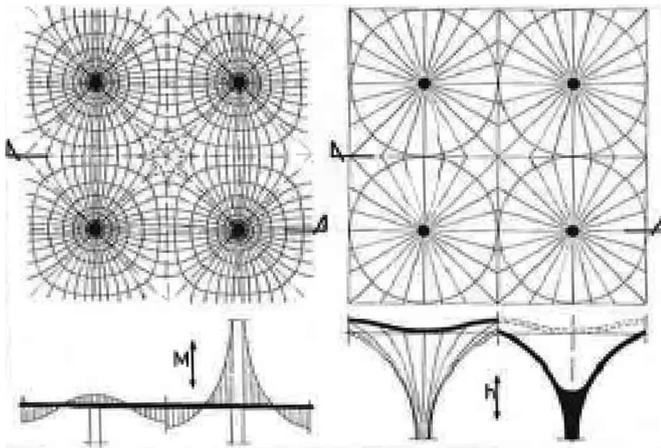
Die technischen Entwicklungen im Industriezeitalter durch den Eisen- und Stahlbeton führten seit den 1920er-Jahren insbesondere durch ROBERT MAILLART aufgrund von herstellungsbedingten und ökonomischen Überlegungen zur formreduzierten Flachdecke mit pilz- und trichterförmigen Stützensausbildungen zur flüssigen Krafteinleitung [18]. Infolgedessen kommt es zur Trennung der Funktionseinheiten in eine aufliegende Platte und deren stützende Elemente als „Verselbständigung einer Stütze mit einem zugeordneten Plattenteil“ [10, S. 146]. Trotzdem liegt dieser Konfiguration stets das Prinzip des Fächergewölbes zugrunde, wie PAUSER in einer Gegenüberstellung in Bild 3, unten zeigt. NERVI demonstrierte diese Ähnlichkeit mit der Patentanmeldung einer Bauweise, die mit Ferro-Cemento-Schalfertigteilen die Spannungstrajektoren als materialoptimierte Nachführung des inneren Tragzustands beinhaltet (Bild 3, rechts oben) [17]. Biegesteif angeschlossene Stützen mit dem Ziel, diese als getrennte Funktions-



einheit auszubilden, sind somit in Anlehnung an die Entstehung der Flachdecke als bau- und materialtechnische Entwicklung aus dem Gewölbe zu betrachten. Durch die radikale Formreduktion des Gewölbes auf die Platte stellt sich in Anbetracht der radialen Krafteinleitung konsequenterweise die Anwendung einer Rundstütze unter einem Plattentragwerk als formlogische Folge heraus (siehe auch [10], S. 145). Die Rundstütze ist als moderne Abwandlung des Bündelpfeilers zu sehen. In Abschn. 3.3 wird ausgeführt, dass der authentische Einsatzbereich der Rundstütze jedoch nur auf diesen Aspekt beschränkt bleibt.

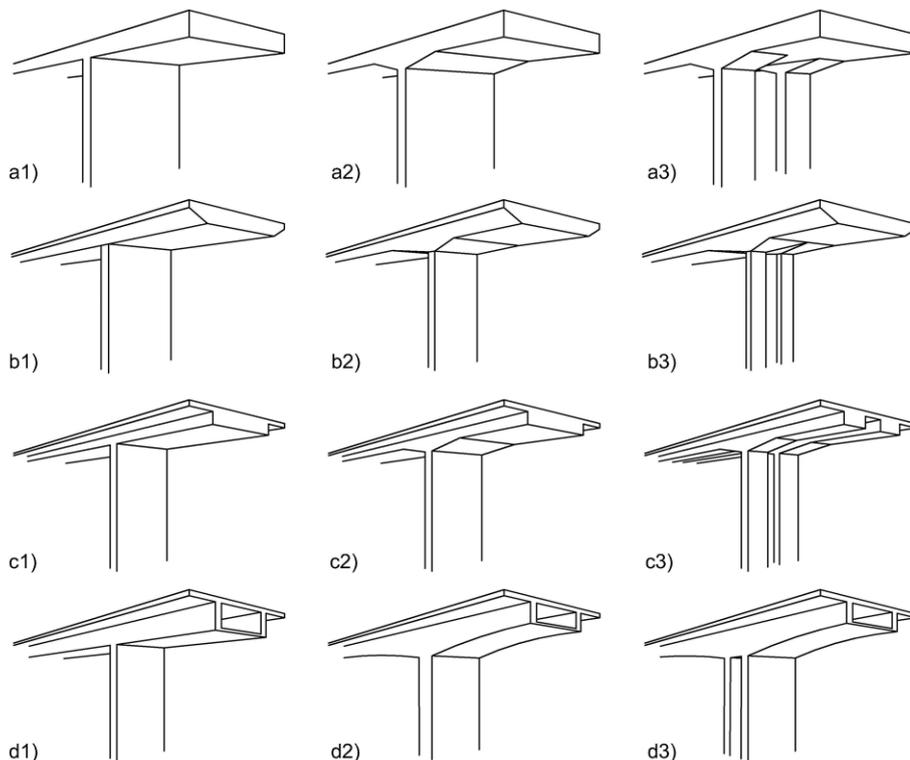
### 3 Überlegungen zu authentischen Formansätzen bei Stützenanschlüssen

#### 3.1 Stützen als zusammenhängende Funktionseinheit des Überbaus



**Bild 3** Fächergewölbe der englischen Hochgotik (oben links, aus [16]), Patent Nervi (oben rechts, aus [17]), statische Gegenüberstellung Fächergewölbe-Flachdecke (unten, aus [10])  
Fan vaulting of the English high gothic (top left, out of [16], Patent Nervi (top right, out of [17]), structural comparison of fan vaulting and flat slab (bottom, out of [10])

Analog der Vorgangsweise bei integralen Brückenenden werden die Formüberlegungen auf Basis der derzeit im Massivbau üblichen Brückenquerschnitte aus Bild 7 in [2], ergänzt durch einen Hohlkastenquerschnitt als Standardquerschnitt für den Großbrückenbau, durchgeführt. Die formalen Betrachtungen für eingespannte Mittelstützen gelten auch gleichermaßen für semiintegrale Brücken, die im Widerlagerbereich konventionell gelagert sind. In Bild 4 werden Möglichkeiten von fugenlos angeschlossenen Stützenanschlüssen als zusammenhängende Funktionseinheit von unterschiedlichen Überbauquerschnitten mit voutenlosen (Bild 4: a1, b1, c1, d1) und gevouteten (Bild 4: a2, b2, c2, d2) Einzelstützen- bzw. gevouteten Zwillingstützenlösungen (Bild 4: a3, b3, c3, d3)



**Bild 4** Mögliche Formansätze bei fugenlos angeschlossenen Mittelstützen  
Possible form approaches of jointless attached centre columns

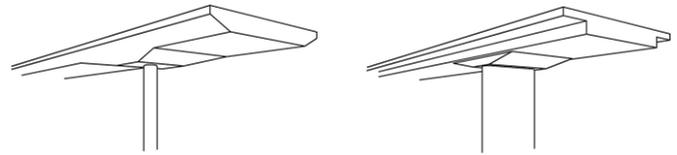
schematisch gezeigt. Dabei sind in analoger Weise auch konkave Anvoutungen bzw. ausgerundete Krümmungsformen abhängig vom akzeptierten Schalungsaufwand möglich.

Einzelstützen eignen sich bei schmalen, Zwillingsstützen bei breiten Brücken. Vorteilhaft erweist sich ein gevouteter Trapezquerschnitt in Kombination mit einer rechteckigen Einzelstütze oder rechteckigen Zwillingsstützen. Durch die schmälere Stützen aufgrund der sich verjüngenden Voutengeometrie wird insbesondere bei breiten Brücken die Transparenz unter der Brücke erhöht (Bild 4: b2, b3). Die in Bild 4: d1–d3 gezeigten Formansätze sind bei Talbrücken gebräuchlich und verdeutlichen durch das Herauswachsen des Überbaus aus der Stütze – insbesondere manifestiert durch die Bauweise des Freivorbaus – eine zwingende gegenseitige Abhängigkeit.

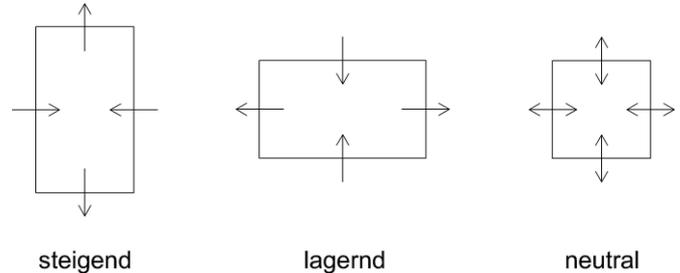
Grundsätzlich sollte die Wahl des Stützenanschlusses mit der Querschnittsform des Überbaus abgestimmt werden. Aus den Formansätzen aus Bild 4 ist ersichtlich, dass sich eckige Stützenformen für einen homogenen Formschluss im Gegensatz zu Rundstützen bestens anbieten. Insbesondere Voutenausbildungen im Überbau verlangen nicht zuletzt aus der Betrachtung als Auflösung einer Wand stets nach einer absatzlosen Fortsetzung in eine Stütze und erfordern per se Rechteckstützen. Schmale Stützen oder gar Rundstützen unter Vouten sind unbedingt zu vermeiden und werden unter anderen von FRITZ LEONHARDT entschieden abgelehnt, da die resultierende vertikale Kraft in der Voute „ins Leere geht“ [19] (Bild 5, links).

Ein marginales konstruktives Einrücken der Vouten bzw. der Pfeiler (Bild 5, rechts) aus Gründen einer oft argumentierten einfacheren Bewehrungsführung und Schalform z. B. bei im Grundriss gekrümmten Brücken bedarf einer eingehenderen wahrnehmungspsychologischen Betrachtung: Der gebaute Raum wird abstrakt als zerlegte Flächen erlebt, deren Umrisse sich an gedachten Vertikalen und Horizontalen orientieren [20]. Diese Flächen besitzen nach WOLFGANG v. WERSIN in Abhängigkeit vom Verhältnis Höhe zu Länge einen Ausdruckswert, der als „gestischer Gehalt“ von Flächenwerten beschrieben und entsprechend dem Verhältnis als steigend, lagernd und neutral empfunden wird (Bild 6) [21].

Abgesetzte Kanten führen zu einer durchlaufenden Schattenkante, die die Einheit in Flächen trennt und somit das



**Bild 5** Zu vermeidende Anschlussformen  
Connections to be avoided

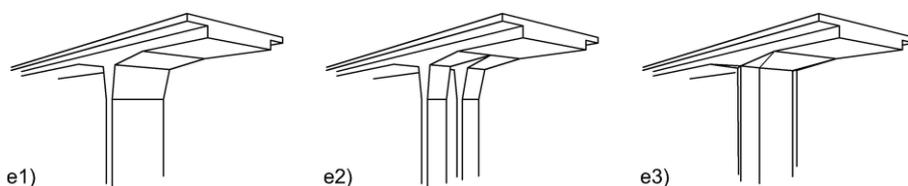


**Bild 6** Gestik von Rechtecken unterschiedlicher Seitenproportionen (aus [21])  
Gesture of rectangles with different side proportions (out of [21])

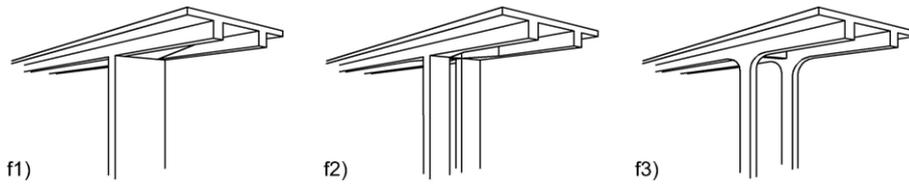
Zusammenwirken der Funktionseinheit stört. Eine Konstruktion additiver Elemente – Platte lagert auf Voute lagert auf Stütze – wird gemäß den Ausführungen v. WERSINS vermittelt, was im Gegensatz zur beabsichtigten Wirkung steht. In diesen Fällen soll der Strukturauthentizität eine höhere Priorität mit sorgfältig durchgebildeten Bewehrungsanschlüssen gegenüber unangemessenen ausführungstechnischen Vereinfachungen gegeben werden.

In Bild 7 werden weitere Formansätze vorgestellt, die schalungstechnisch aufwändiger sind. Die angeschlossenen Stützen weichen von der streng geraden Lösung ab und werden analog dem aufzunehmenden Biegemoment angeformt (Bild 7: e1, e2). Anhaltswerte für optimale Formparameter für die Gestaltung von Rechteckstützen sind in [11] ersichtlich. Ein gutes Beispiel ausgeführter Brücken wird in Bild 2, unten gezeigt. Gemäß Bild 7: e3 sind auch Verschneidungen von Stützen, die komplexere Querschnittsprofile aufweisen, mit dem Überbau möglich.

Auch Überbauten mit Plattenbalkenquerschnitten bieten Möglichkeiten für harmonische Stützenanschlüsse mittels rechteckiger Einzel- bzw. Parallelstützen, wobei die Platte vertikal bzw. die Stege seitlich verzogen werden können (Bild 8: f1, f2). Eine naheliegende Lösung in Bild 8: f3 bietet der direkte flüssige Übergang der Stege in parallele, längsorientierte Rechteckstützen, sofern die hohe Längssteifigkeit der Stützen keine nachteilige Rolle



**Bild 7** Weitere mögliche Formansätze mit speziellen Stützenformen  
Further possible form approaches with special column forms



**Bild 8** Mögliche Formübergänge bei Plattenbalkenüberbauten  
Possible form transitions of decks with T-beams



**Bild 9** Straßenüberführung bei Silkeborg (aus [22])  
Road overpass bridge at Silkeborg (out of [22])

spielt. In den Anfängen des Eisenbetonbrückenbaus wurde bei Straßenüberführungen über Kanäle und Eisenbahnstrecken oft von dieser Ausformung Gebrauch gemacht. Mithilfe von Vouten und Eckausrundungen in den Anschlussbereichen, die damals für die Ingenieure schon aus statischen Bedürfnissen eine Selbstverständlichkeit waren, wurden Vortypen für die Formbildung integraler Brücken mit spannungsarmen Formübergängen geschaffen (Bild 9). Dass der Brückenentwurf mitunter auch für damalige Ingenieure eine gestalterische Aufgabe darstellte, zeigt der Hinweis zu Beginn des 20. Jahrhunderts von WILLY GEHLER, stellvertretender Direktor von Dyckerhoff & Widmann: „Für den äußeren Eindruck ist vor allem auch die Gestaltung des Kopfes der Zwischenstützen und ihre Verbindung mit dem Träger von Bedeutung. Die natürlichste Lösung ist sicherlich diejenige, deren äußere Formgebung sich der statischen Grundform je nach der gelenkigen oder festen Verbindung der Stützen mit dem Träger anpasst und jede Scheinfuge und Quaderteilung grundsätzlich vermeidet.“ [22] ROBERT MAILLART verfeinerte das Zusammenspiel

von Trägersteg und Stütze als Einheit mit gestalterischem Gespür an der schiefwinkligen Birsbrücke bei Liesberg oder der Überführung der Weissensteinstraße in Bern [23]. Weitere gelungene Anwendungsbeispiele für homogene Stützenverbindungen an Plattenbalkenstegen zeigen eine Überführungsbrücke bei Aurach in Oberösterreich (Bild 10, links) und AURELIO MUTTONIS markantes Nachinnenneigen der Stege in Fortsetzung der Stützengabelneigung bei der Hexentobelbrücke bei Saas im Prättigau [24] (Bild 10, rechts).

### 3.2 Stützen als getrennte Funktionseinheit

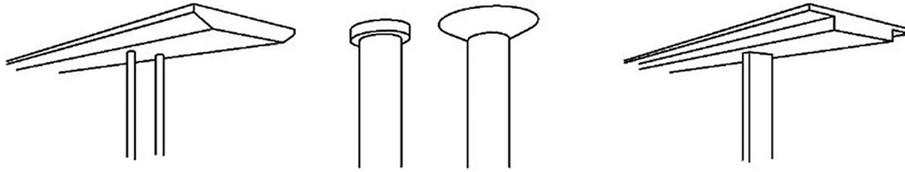
Mittelstützen müssen trotz eines fugenlosen Entwurfsansatzes nicht zwingend stets der Funktionseinheit des Überbaus zugeordnet werden, sondern können auch als visuell rein stützende Elemente eine untergeordnete Funktionseinheit einnehmen.

Um die punktgestützte Absicht wiederzugeben, eignen sich in der Regel Rund- oder Viereckstützen unter voutenlosen Plattentragwerken. Die Wahl unterschiedlicher Materialien für Überbau und Stützen zur Verdeutlichung der getrennten Funktionseinheiten mittels hybrider, fugenloser Verbindungen ist möglich, worauf noch in Abschn. 3.4 näher eingegangen wird. Die Stützendimensionen sollten im Verhältnis zur Plattenbreite schlank und unaufdringlich gewählt werden, um auch der gestischen Wirkung aus Bild 6 zu entsprechen. Im Vergleich zu Viereckstützen erhöhen Rundstützen die Transparenz bei schräger Durchsicht unter einer Brücke und weisen Vorteile durch die radiale Lasteinleitung sowie den effizien-



Quelle: beide M. Kleiser

**Bild 10** Rahmenbrücke bei Aurach in Oberösterreich (links) und die Hexentobelbrücke bei Saas im Prättigau (rechts, aus [24])  
Frame bridge at Aurach in Upper Austria (left) and the Hexentobelbrücke at Saas in Prättigau (right, out of [24])

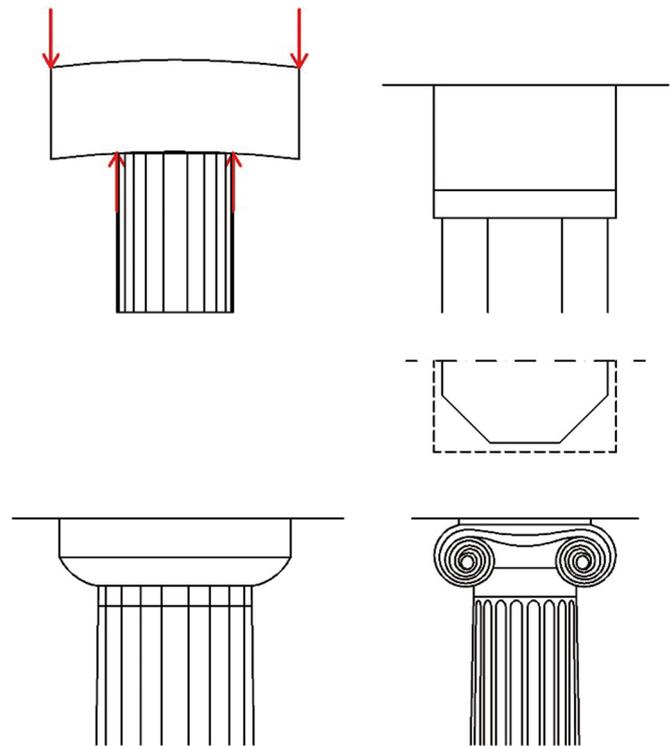


**Bild 11** Rundstützen (links) mit verstärkten Stützenköpfen (Mitte) und Rechteckstützen (rechts) unter Plattentragwerken  
Circular columns (left) with column capitals (centre) and rectangular columns (right) under plate structures

ten rotationsunabhängigen Knickwiderstand auf (Bild 11, links). Ein angemessenes Einrücken der Randstützen ist erforderlich, um eine entsprechende Lasteinflussbreite zu generieren. Der Kreisquerschnitt ist grundsätzlich bei vorwiegender Normalkraftabtragung wirtschaftlich. Für die Eintragung großer Biegemomente ist die runde Querschnittsform in der Regel jedoch ineffizient. PAUSER schrieb in [25] dazu: „Die Aufnahme von Biegemomenten wird – der Kreisquerschnitt suggeriert bereits die volle Ausnützung – gefühlsmäßig nur Rundstützen mit größerem Durchmesser zugemutet.“ Rechteckquerschnitte vermitteln einen Richtungsbezug und können bei überwiegend einachsialer Biegebeanspruchung eingesetzt werden (Bild 11, rechts). Dabei ist wiederum auf einen ausreichenden Randabstand zum Tragwerk zu achten. Auch unter einem schlanken Hohlkastenquerschnitt mit einem geringen Höhe-Breite-Verhältnis kann eine Rechteckstütze als eingerückte Verlängerung der Querscheibe angeordnet werden. Beispielhaft wird MENNS Salvaneibrücke erwähnt [18, S. 129].

### 3.3 Säule – Rundstütze

Um die Anwendungsgrenzen der eingespannten Rundstütze näher zu erläutern, wird auf den Formenkanon der klassischen Säule eingegangen. Im Gegensatz zum Pfeiler stellt die Säule als Stütze von Balkenelementen bzw. des Gebälks „ein in sich selbstständiges, rundplastisches Bauelement“ dar und dient „der Mauer als Stütze“ [14, S. 86]. Die klassische Säule besteht in der Regel aus einer Basis, einem häufig sich verjüngenden Schaft und immer einem Kapitell und hat ihren Ursprung vermutlich aus dem Holzbau [26]. Das Kapitell entwickelte sich vermutlich aus der Notwendigkeit einer besseren Lastverteilung im Übergang vom Balken in den Säulenschaft, im Holzbau in Form einer quer liegenden Hartholzplatte [1]. Zur Minimierung der Punktpressung am Schaft findet auch die Lastverteilungsplatte im Steinbau ihre zweckmäßige Berechtigung (Bild 12). Dies lässt erahnen, dass schon den Baumeistern der Antike der Nachteil einer punktuellen Spannungskonzentration insbesondere auch bei sprödem Material bekannt war. Das Kapitell in seiner einfachsten Form einer Quadratplatte, dem Abakus auf der abstrakten, polygonalen protodorischen Säule Ägyptens, wurde in der dorischen Säulenordnung durch Ergänzung einer ausladenden Wulstform, dem Echinus [27] als pilzartiger Übergang zur Rundform, ausgebildet. Somit war die Funktion des Kapitells als Verbindungsteil von Linienbauteilen wie Balken zu Säulen nachvollziehbar, auch



**Bild 12** Punktpressung durch ein Linienbauteil auf eine Rundstütze (oben links), homogenere Lösungen der Krafteinleitung durch das protodorische (oben rechts), dorische (unten links) und ionische Kapitell (unten rechts)  
Point pressure due to a linear structural element onto a circular column (top left), homogeneous solutions of load impact of protodoric (top right), doric (bottom left) and ionic capital (bottom right)

wenn es sich im Laufe der Jahrhunderte immer mehr zum teilweise überladenen Stilelement entwickelte, ohne jedoch seinen eigentlichen Wesensbezug zu verlieren. ALFRED PAUSER vergleicht dabei die Voluten des ionischen Kapitells sinnbildlich mit Lagerkissen, die lagemäßig in den Bereichen der konzentrierten Lasteinleitung angeordnet sind und formal eine mögliche Lagerverdrehung zum Ausdruck bringen [28].

Aus der unmittelbaren Verbindung von Balken und Säule durch das Kapitell wird deutlich, dass für die heutige biegesteif angeschlossene Rundstütze ohne Basis und Kapitell die formlogische Anwendung nur auf einen Stützenanschluss an Plattentragwerke, wie auch schon in Abschn. 2.3 hergeleitet, begrenzt ist, da diese durch die vorwiegend radiale und gleichmäßige Lasteintragung zu begründen ist. Plattenförmige Tragwerke waren in der Antike nicht bekannt. Darum gibt es für Rundstützen auch keine klassischen Vorbilder. Einziger Anhaltspunkt



**Bild 13** Stephanitorbrücken in Bremen: Straßenbrücke im Vordergrund (links) mit dem Stützenanschluss bei der Eisenbahnüberführung (rechts)  
Stephanitor bridges in Bremen: road bridge in the front (left) and the column connection of the railway bridge (right)

ist die dorische Säule, die ohne Basis auskommt und stumpf aufgesetzt eine radiale Kraftweiterleitung in den Stylobat andeutet. In Beton als monolithisches Bauwerk gegossen, ist daraus folgend eine additive Formsequenz aus Rundstützen unter einem Linienbauteil, z. B. unter Stegen eines Plattenbalkenquerschnitts, aber auch unter Querträgern bzw. Querjochen als unangemessene Applikation klassischer Säulenordnungen zu vermeiden. Ausgenommen sind rein ingenieurtechnische Lösungen wie Bohrpfahlgründungen mit Pfahlkopfflatte, die einzig aus Herstellungsgründen hergeleitet sind und eingeschüttet keine gestalterische Relevanz in sich bergen. Formale Entlehnungen von Säulen, deren Form in der griechischen Architektur als Beispiel des perfekten dynamischen Ausdrucks des ihnen innewohnenden Tragverhaltens gelten, finden im modernen Brückenbau kaum mehr Anwendung. Säulenmerkmale wie Kannelüren und Schaftverjüngungen werden vereinzelt bei vertikalen Anzügen und Querschnittsprofilierungen von hohen Pfeilern bei Talbrücken wie z. B. CHRISTIAN MENNS Ganter- und Sunibergbrücke sowie dem Viadotto della Biaschina umgesetzt [29]. Eine Schwellung, die Entasis, als „sichtbarer Ausdruck der Fähigkeit elastischer Formänderung unter Druckbelastung“ [16, S. 10] findet nur bei bewussten Stützenanformungen zur Erhöhung der Knicksteifigkeit seine Übersetzung (Bild 14). Das Funktionselement des Kapitells als Krafteinleitungsübergang kann im weitesten Sinn auf eingespannte Betonstützen in Form eines Pilzes oder einer Manschette bzw. als Kopfblech einer Stahlstütze übertragen werden, wenngleich auch nur zum Zweck, den Durchstanzwiderstand bzw. die lokal aufnehmbaren Betondruckspannungen zu erhöhen (Bild 11, Mitte).

Eine gewagte Stützenlösung an der Grenze zur Imitation zeigen in Bild 13 zwei integrale Brücken in Bremen von JÖRG SCHLAICH, bei denen auch der Autor in der Entwurfsplanung maßgeblich beteiligt war. Die für den biegesteifen Anschluss notwendigerweise großen Kopfbleche wurden durch längs angeschweißte, nach oben kapitelartig verbreiterte Stahlleisten versteift, in deren Nischen die Schraubenanschlüsse angeordnet sind. Durch die vertikal orientierte Profilierung konnte eine angemessene

visuelle Stützenschlankheit unter einer statisch notwendigen, gebogenen, schmalen Voute erzielt werden. Dies ist kein Widerspruch zu Bild 5, da es sich um getrennte Funktionseinheiten handelt, die durch den Materialwechsel besonders betont werden.

### 3.4 Hybride Verbindungen

Wie schon im Bild 13 gezeigt, bieten hybride Verbindungen mittels biegesteif an den Massivüberbau angeschlossenen Stahlstützen eine gute Möglichkeit, unterschiedliche Funktionseinheiten in einer klaren Trennung hervorzuheben, ohne die Integralität des Tragsystems infrage zu stellen. Beispielhaft betont der La Ferté-Steg in Stuttgart (Bild 14) die vom Überbau abgrenzende Funktionseinheit durch zarte und für den Knicklastfall angeformte Stahlpendelstützen, die an den Enden mit hochfesten Gussstahlteilen ausgebildet sind [30].

Im Gegensatz zu Vertikalstützen können auch Schrägstützen sowie Baumstützen bei geringen Beanspruchungen, insbesondere bei Fußgängerbrücken, in Verbindung mit flachen, schlichten Plattentragwerken zur Anwendung kommen. Bei höheren Beanspruchungen im Zuge von Straßen- und Eisenbahnbrücken ist eine normal zur Stützenachse liegende Verbundfuge in der Betonplatte aus Gründen der Schubkraftminimierung sinnvoll. Wie am Beispiel der Seitenhafenbrücke in Wien gezeigt, verstärken aus dem Flächenkontinuum herauswachsende Konsolen den visuellen reaktiven Ausdruck des Betonüberbaus auf die punktuell einzuleitende Kraft (Bild 15) [31].

## 4 Zusammenfassung

Die fugenlose Bauweise bei Brücken erfordert neben der konstruktiven auch grundsätzlich eine formale Auseinandersetzung. Es werden Überlegungen zur Weiterentwicklung einer Formlogik bei Infrastrukturbauwerken vorgestellt, um, wie KOEPF meint, einer immer „weiter-schreitenden Formaullösung“ – aufgrund bewusster Frei-



**Bild 14** La Ferté Steg in Stuttgart  
La Ferté footbridge in Stuttgart

formfindung oder bloßen Bauwirtschaftsfunktionalismus – „Herr zu werden“ [27]. Der vorliegende Aufsatz empfiehlt Formansätze für biegesteif angeschlossene Stützen an den Überbau, die aus – gemäß BÖTTICHER – „wesensgleichen“ Funktionseinheiten abgeleitet werden, und welche die innere konstruktive Absicht der Struktur unmissverständlich nach außen in der Form ausdrücken. Dabei werden einerseits zusammenhängende Funktionseinheiten von Überbau und Stützen betrachtet, bei denen homogene, sich vereinigende Formübergänge zu wählen sind, und andererseits Formüberlegungen getrennter Funktionseinheiten durchgeführt. Aus ersterer Betrachtung folgt, dass Vouten als Relikt des Bogens nach einer kontinuierlichen Kraftweiterleitung in einen Pfeiler verlangen. Jegliche horizontale Versätze unterminieren, nicht zuletzt durch die Schattenwirkung, die Kontinuität und sind zu vermeiden. Rundstützen unter Voutenausbildungen sollten gänzlich als nicht nachvollziehbare Formzusammensetzung unterbleiben. Hingegen finden Rundstützen unter Plattentragwerken ihre authentische Anwendung als radiale Einsammlung der Kräfte. Der Überbau mit „aufliegender“ und die Stütze mit „stützender“ Charakteristik als getrennte Funktionseinheiten sind eindeutig formal durch separate Ausdrucksformen zu unterstreichen. Dies kann auch durch unterschiedliche Materialien bewirkt werden.



**Bild 15** Seitenhafenbrücke in Wien  
Seitenhafenbrücke in Vienna

Letztendlich wird angemerkt, dass bei Brückenplanungen oft das Bewusstsein bei Ingenieuren für eine gesamtheitliche Auseinandersetzung mit Formaspekten und eine Beachtung von ästhetischen Zusatzqualitäten wenig bis gar nicht ausgeprägt ist. Dies ist einerseits darauf zurückzuführen, dass derzeit in den meisten Ingenieursausbildungen die Kompetenz, ingenieure Formentscheidungen überzeugend und sachlich fundiert zu argumentieren, nicht gelehrt wird, sodass es nur einzelnen begabten Ingenieurkünstlern vorbehalten ist, gestaltungsrelevante Formakzente entsprechend umzusetzen. Andererseits werden Planungen in der Regel unter einem hohen Zeit- und Kostendruck mit dem vorrangigen Ziel der Einhaltung umfangreicher technischer Regelwerke durchgeführt, die eine gesamtqualitative Betrachtung per se nicht erlauben. Die Auseinandersetzung mit Grundsätzen der Formlogik, die hierin und in [2] dargelegt sind, ist deshalb als Auftrag an den Ingenieur und dessen Branche samt Ausbildungsstätten zu verstehen, Gestaltungspotenziale im Rahmen seines erlernten und erfahrenen Wissens abzurufen, das Formempfinden kontinuierlich zu pflegen und somit die Gesamtqualität im Zuge von Brückenplanungen zu heben.

### Anmerkung

Dieser Aufsatz entstand aus einer Eigenrecherche des Autors, die unter anderem in den Bibliotheken des Instituts für Tragkonstruktionen – Betonbau der Technischen Universität Wien durchgeführt worden ist. Die Inhalte des Beitrags stellen ausschließlich die persönliche Meinung des Autors dar. Ansprüche gegenüber der ASFINAG sind dadurch nicht ableitbar.

## Literatur

- [1] TORROJA, E.: *Logik der Form*. Callwey, 1961.
- [2] KLEISER, M.: *Formlogik an Brücken – Überlegungen zur authentischen Formbildung von integralen Brückenenden*. Bautechnik 93 (2016), H. 2, S. 49–58.
- [3] POERSCHKE, U.: *Funktionen und Formen – Architekturtheorie der Moderne*. Bielefeld: transcript Verlag, 2014.
- [4] JORMAKKA, K.: *Geschichte der Architekturtheorie*. edition selene, 3. Auflage, S. 166.
- [5] DOOLEY, S. C.: *The Development of Material-Adapted Structural Form*. Dissertation, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2004, S. 190.
- [6] STEINER, M.; KLEISER, M.: *Leitkonzept Gestaltung Brücke*. ASFINAG, 2012.
- [7] Bundesministerium für Verkehr Innovation und Technologie (bmvit): *Dienstanweisung zur Erarbeitung und Vorlage von Bundesstraßenprojekten („Projektiertungsdienstanweisung“)*. Fassung 2011.
- [8] MARX, S.; KRONTAL, L.; BÄTZ, S.; VEHLow, A.: *Die Scherkon-detalbrücke, die erste semi-integrale Talbrücke der DB AG auf der Neubaustrecke Erfurt–Leipzig/Halle 8.2*. Beton- und Stahlbetonbau 105 (2010), H. 3, S. 134–141.
- [9] *Ausschreibungsleitfaden Verkehrsinfrastrukturforschung, Schwerpunkt Integralbrücken über 70 m Länge*. ASFINAG, ÖBB, BMVIT, FFG, 2012.
- [10] PAUSER, A.: *Gestalten von Betonbauwerken – Gedanken über die Integrationsfähigkeit massiver Stützen*. Zement und Beton 33 (1988), H. 3.
- [11] PÖTZL, M.; SCHLAICH, J.; SCHÄFER, K.: *Grundlagen für den Entwurf, die Berechnung und konstruktive Durchbildung von lager- und fugenloser Brücken*. DaStB, Heft 461, Beuth Verlag.
- [12] ENGELSMANN, S.; SCHLAICH, J.; SCHÄFER, K.: *Entwerfen und Bemessen von Betonbrücken ohne Fugen und Lager*. DaStB, Heft 496, Beuth Verlag, S. 112.
- [13] BÖTTICHER, K.: *Die Tektonik der Hellenen*. Potsdam, 1852.
- [14] BINDING, G.: *Architektonische Formenlehre*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 3. Auflage, 1995.
- [15] SCHLAICH, J.; et al.: *Leitfaden Gestalten von Eisenbahnbrücken*. DB Netze, im Auftrag des Brückenbeirats der DB AG, 1. Auflage, 2008.
- [16] AMMANN, W.: *Baustilkunde Band 1*. Benteli, 1985.
- [17] IORI, T.: *Per Luigi Nervi*. Motta Architettura, 2009.
- [18] BILLINGTON, D. P.: *Robert Maillart's bridges – The art of engineering*. New Jersey: Princeton University Press, 1979.
- [19] LEONHARDT, F.: *Brücken – Ästhetik und Gestaltung*. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt, 1982, S. 199.
- [20] NAREDI-RAINER, P. v.: *Architektur und Harmonie: Zahl, Maß und Proportion in der abendländischen Baukunst*. Dumont, 6. überarb. Auflage, 1999, S. 140.
- [21] WERSIN, W. v.: *Das Buch vom Rechteck*. Ravensburg: Otto Maier Verlag, 1956.
- [22] EMPERGER, F.: *Handbuch für Eisenbetonbau: Bd Brückenbau*. 2. Auflage, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, 1911.
- [23] BILL, M.: *Robert Maillart*. Erlenbach Zürich: Verlag für Architektur AG., 1949.
- [24] CONZETT, J.: *Entwurf von Brücken*. Betonkalender, Wiley Verlag, 2010.
- [25] PAUSER, A.: *Massivbrücken – ganzheitlich betrachtet*. Verlag Bau und Technik, 2002.
- [26] SUMMERSON, J.: *Die klassische Sprache der Architektur*. Bauwelt Fundamente 63, Friedr. Vieweg & Sohn, 1983, S. 15.
- [27] KOEPF, H.: *Struktur und Form – Eine architektonische Formenlehre*. Kohlhammer, 1979.
- [28] PAUSER, A.: *Der Brückenentwurf – ein Leitfaden*. Interne Arbeitsunterlagen Pauser ZT GmbH/PCD GmbH, 2005.
- [29] VOGEL, T.; MARTI, P.: *Christian Menn – Brückenbauer*. Gesellschaft für Ingenieurbaukunst, vdf Hochschulverlag AG der ETH Zürich, 2009.
- [30] SCHÜLLER, M.: *Konzeptionelles Entwerfen und Konstruieren von Integralen Betonbrücken*. Beton- und Stahlbeton 99 (2004), H. 10, S. 774–789.
- [31] KLEISER, M.; FOLLER, G.; KOLIK, G.; SPINDLBÖCK, S.: *Ganzheitlicher Entwurf als Ziel – Seitenhafenbrücke in Wien*. Brückenbau, Verlag Wiederspahn, 2010.

### Autor

Dipl.-Ing. Michael Kleiser  
 ASFINAG Bau Management GmbH  
 Fachbereich für Technik, Innovation und Umwelt  
 Modecenterstraße 16  
 1030 Wien  
 michael.kleiser@asfinag.at

### 7.3 Formentwicklung einfeldriger Rahmenüberführungen

- Titel: Formentwicklung einfeldriger Rahmenüberführungen anhand statisch-konstruktiver Überlegungen
- Autor: Michael Kleiser
- Veröffentlichungstyp: Aufsatz in Fachzeitschrift
- Titel des Mediums: Beton- und Stahlbetonbau
- ISSN: 0005-9900 (print), 1437-1006 (online)
- DOI: 10.1002/best.201600072
- Ausgabe: Ausgabe 112, Jahrgang 2017, Heft 5
- Seiten: 10 (272-281)
- Chefredakteur: Konrad Bergmeister
- Redaktion: Kerstin Glück
- Verlag: Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin
- Erscheinungsjahr: 2017
- Peer Reviewed: Ja, impact factor 0,691 (Stand Juli 2017)
- Status: Publiziert

# Formentwicklung einfeldriger Rahmenüberführungen anhand statisch-konstruktiver Überlegungen

Über die zweckbestimmten bzw. funktionalen sowie wirtschaftlichen Anforderungen hinaus ist es Ziel, Brücken auch formlogisch nach außen wirken zu lassen, um durch eine größtmögliche Authentizität auch gestaltgebende Akzente zu setzen. Unter Formlogik ist die nach außen darzustellende, materielle Verkörperung der inneren Strukturabsicht – bei Brücken gleichzusetzen mit dem Tragverhalten – zu verstehen. In diesem Artikel werden Formstudien an einfeldrigen Rahmenüberführungen aus Stahlbeton durchgeführt, bei denen die Form anhand von statisch-konstruktiven Überlegungen sequenziell entwickelt wird. Es wird u. a. gezeigt, dass der Ingenieur sein tägliches Werkzeug, die Berechnung, als gestaltgebendes Mittel einsetzen kann, um authentische Bauwerke zu entwerfen, die einen Grundanspruch an Ästhetik erfüllen und darüber hinaus zweckmäßig und wirtschaftlich sind. Zwei praxisnahe Entwürfe von einfeldrigen Stahlbeton- bzw. Spannbetonrahmentragwerken werden schließlich vorgestellt.

## 1 Einleitung

Brückengestaltung bedeutet keineswegs eine Trennung von zweckbestimmtem Tragwerk und gestaltender Hülle, sondern die Bereitstellung eines integrativen Brückenkonzepts. FRITZ LEONHARDT betont bereits in der Einleitung seines bemerkenswerten Buchs „Brücken – Ästhetik und Gestaltung“ die Wichtigkeit der grundlegenden Zweckform, die ästhetisch verfeinert werden soll [1]. Seine These unterstützend, werden in [2] und [3] Formüberlegungen an Rahmenbrücken beschrieben, welche die Funktion der Brücke formbildend nach außen authentisch verdeutlichen und dadurch auch eine entsprechende Ästhetik vermitteln. Der im 19. Jahrhundert tätige Architekt und Kunsthistoriker KARL BÖTTICHER nennt es die aus rein statisch-konstruktiven Überlegungen gefundene Kernform – analog zu LEONHARDTS Zweckform –, sie ist in jedem Bauteil „das mechanisch notwendige, das statisch fungierende Schema“ [4], und die dazugehörige Kunstform als „die Funktion eines Bauteils (nach außen) Funktion-erklärende Charakteristik“ [ebd.]. Für die primäre Funktion kann im Brückenbau, der per se das Überspannen von Hindernissen zur Überleitung von großen Lasten bezweckt, das innere Tragverhalten herangezogen werden, welches nach außen sichtbar und nachvollziehbar in der äußeren Form dargestellt werden sollte. Die Form muss deshalb auch einer bestimmten Logik der inneren Mechanik folgen, um so schließlich Authentizität auszustrahlen.

## Form developments of single-span frame overpass bridges based on structural considerations

Beyond purpose-built and functional as well as economical requirements, bridges have to follow a form logic, in order to set shape-giving accents due to a maximum of authenticity. Form logic has to be understood as the outwardly displaying of the physical embodiment of the inner structural intention, which for bridges is identical with the structural behaviour. In this article form studies on single-span overpass frame structures are conducted, where the form is sequentially developed based on structural considerations. Upon others it will be shown, that the engineer can use his daily tool as a shape-giving device, which is the calculation, to design authentic structures in order to fulfil the requirement of aesthetic as well as expedient and economical aims. Finally two practice-oriented designs of single-span reinforced and pre-stressed concrete frame structures are introduced.

Authentische Strukturen erzeugen wiederum eine ästhetische Qualität als Ausdruck der Schönheit und Wohlgefälligkeit, wie es unzweifelhaft an Beispielen der Natur, z. B. den uns bekannten Natursteinbögen oder organisch gewachsenen Strukturen wie Bäumen oder Farnen, sichtbar ist.

Durch den unmittelbaren Zusammenhang von Tragverhalten und ästhetischer Qualität wird der Ingenieur unweigerlich auch gestaltend tätig, was jedoch nicht als Bürde, sondern als Chance verstanden werden sollte. Das Ziel einer grundlegenden Formlogik, die innere Funktion, gleichbedeutend mit dem statischen Korsett, in eine äußere Form zu bringen, kann nämlich grundsätzlich vom Ingenieur mit seinem Erlernten und seinen Erfahrungen bewältigt werden. Durch sein Grundwerkzeug, die Berechnung – heute in Form automatisierter Berechnungsprogramme mit einfachen 3D-Visualisierungstools – wird der Ingenieur auch formerzeugend wirksam. FRIEDRICH HARTMANN zitiert den Kunsthistoriker GOTTHOLD MEYER in [5], der sinngemäß von der Berechnung als „stilbildende Kraft“ spricht.

Im Umkehrschluss darf jedoch nicht davon ausgegangen werden, dass die Berechnung alleine automatisch zu einer ästhetisch hochwertigen Form führt. Dies wird durch MEYER im Nachlauf zur obigen Aussage bestätigt: „Ohne Rechnen kann keine zuverlässige Konstruktion entstehen, durch Rechnen allein kein Kunstwerk“ [ebd.]. Ein

Nachbessern durch Optimieren der Proportionen und weiterführend „das Spiel“ mit der Form – wie DAVID P. BILLINGTON es nannte –, kann den ästhetischen Ausdruck verfeinern oder sogar steigern [6].

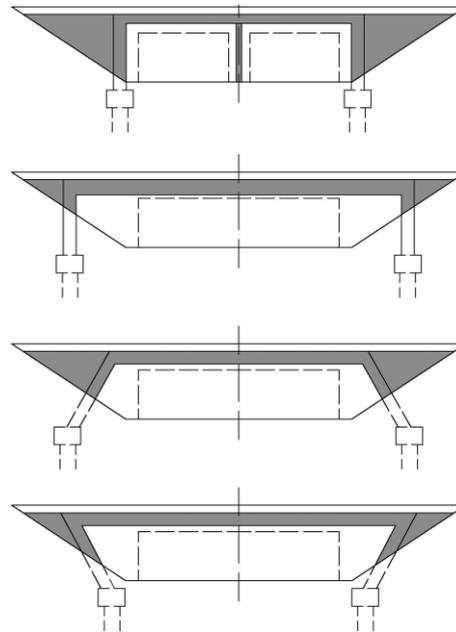
Die in den nächsten Abschnitten erläuterte Vorgangsweise folgt der oben erwähnten berechnungsbasierten Formentwicklung, bzw. es wird in zwei praxisnahen Beispielen auch auf Formverfeinerungen eingegangen. Dafür wird als grundlegender Brückentyp die Überführung als niveaufreies Kreuzungsbauwerk über Autobahnen und Schnellstraßen herangezogen, da dieses in regelmäßigen Abständen den Blicken der Autofahrer ausgesetzt und somit durch den exponierten Standort eine hohe Gestaltungsanforderung gegeben ist. Nicht zuletzt aus diesem Grund werden im Leitkonzept „Gestaltung Brücke“ der ASFINAG Überführungen einer höherwertigeren Relevanz gegenüber trassengebundenen Tragwerken zugeordnet [7]. Die Untersuchungen werden auf einfeldrige Tragwerke aus Stahlbeton beschränkt, die heute in der Regel aufgrund ihrer beherrschbaren Brückenlänge und aus gesamtwirtschaftlichen Überlegungen integral, d.h. als robuste Rahmenbauwerke ohne Fugen und Lagerkonstruktionen wartungsfreundlich hergestellt werden.

Es wird beabsichtigt, die Form nicht primär herstellungstechnischen Kriterien zu unterwerfen, sondern diese in erster Linie nach statisch-konstruktiven Kriterien der Trag- und Gebrauchsfähigkeit sequenziell zu entwickeln. Folgende Aufgabestellungen werden stufenweise untersucht, die entsprechende Folgewirkung auf die Form haben:

- 1) Lage und Ausbildung der Widerlager
- 2) Auswirkungen einer Unterschneidung bzw. Spreizung des Systems
- 3) Optimierung des Tragverhaltens und der Dauerhaftigkeit des Überbaus durch Masse- und Steifigkeitsumlagerungen

## 2 Lage und Ausbildung des Widerlagers

Grundsätzlich werden auch bei der Rahmenbauweise die Termini Widerlager und Überbau anstatt Rahmenstiel und -riegel weitergeführt. Die Lage des Widerlagers in der Böschung ist ein oft diskutiertes Thema. Ein bloßes Überbrücken der lichten Durchfahrtsöffnung zur Erzielung kurzer Spannweiten und geringer Bauhöhen durch fahrbahnahe Kastenwiderlager erscheint auf den ersten Blick am wirtschaftlichsten und gilt auch als Urtypus der Überführungsbrücke [8] (Bild 1, oben). Allerdings waren neben Sicherheitsrisiken im Hinblick auf Anprallgefahr [9] und Sicht Einschränkungen schon durch die bekannten Autobahnarchitekten PAUL BONATZ und WILHELM TIEDJE auch gestalterische Vorzüge von größtmöglicher Durchsicht ausschlaggebend für die häufige Wahl von visuell hoch in die Böschung gesetzten Widerlagern [10–11] sowie für den Verzicht auf Mittelstützen. Eigene Untersuchungen auf Basis eines Betonmassenvergleichs zeigten überdies, dass nicht zwingend unwirtschaftlichere



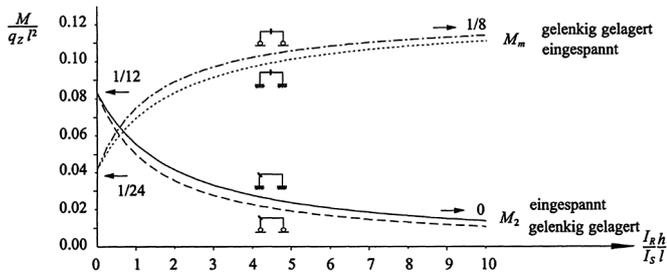
**Bild 1** Unterschiedliche Widerlagerausführungen  
Different abutment types

Lösungen von hoch gesetzten Widerlagern durch die vergrößerte Spannweite auftreten. Insbesondere bei schmalen Brücken heben die Mehrmassen der Tragwerke die erforderlichen Kubaturen der massiven Flügelwände bei Kastenwiderlagern auf. Große Widerlagerflügel von Kastenwiderlagern ziehen überdies im Regelfall Eckmomente an und verhindern so eine möglichst gleichmäßige Momentenverteilung über die Tragwerksbreite [12]. Auf diesen Grundlagen aufbauend, wird nun die Auswirkung einer Spreizung des Rahmensystems auf das Tragverhalten untersucht.

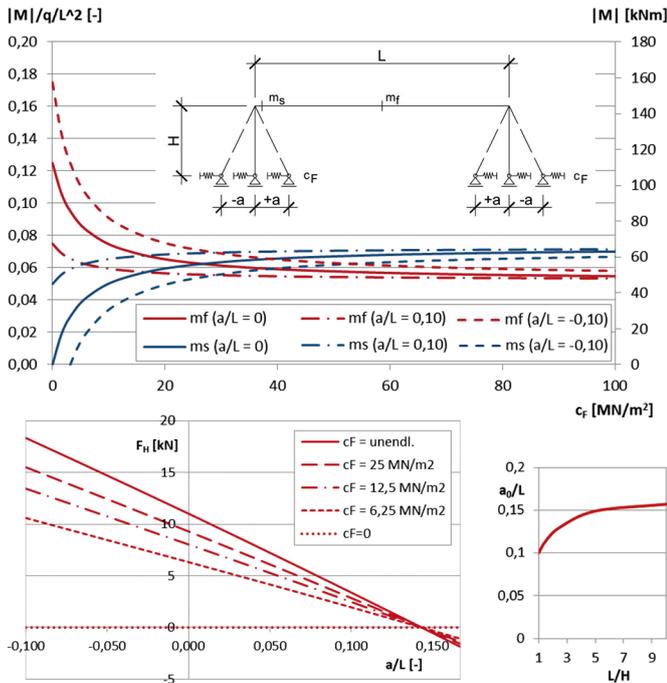
## 3 Einfluss der Systemspreizung

Eine Neigung des Widerlagers kann sowohl erdseitig als auch luftseitig erfolgen und wird manchmal als zusätzlicher Akzent bei der Planung von Überführungsbrücken angewendet. Es erfolgt eine Spreizung des statischen Systems. Bild 1 zeigt die unterschiedlichen Ausbildungen von Widerlagern mit und ohne Systemspreizungen. Rahmentragwerke haben grundsätzlich den statischen Vorteil, Knoteneinspanneffekte im Überbau zu erzielen und somit diesen schlanker zu gestalten. Der Einspanngrad steigt bei beidseitig horizontal festgehaltenen bzw. eingespannten Auflagern mit der Steifigkeit des Widerlagers und des Verhältnisses Länge zu Höhe [13] (Bild 2), wird jedoch durch eine horizontal federnde Lagerung wiederum reduziert.

Entscheidend bei Rahmentragwerken ist die Fähigkeit des Bodens, die Horizontalkraft an den Rahmenfüßen aufzunehmen. Bei sehr steifen Böden, wie z. B. Fels, ist die Ableitung von Horizontalkräften unproblematisch. Bei weichen Bodenverhältnissen bedarf es aufwendiger Gründungskonstruktionen in Form von Schwergewichts-



**Bild 2** Biegemomentenverteilung im Rechteckrahmen (aus [13])  
Bending moment distribution of a rectangular frame system (out of [13])



**Bild 3** Oben: Biegemomentenverteilung abhängig von der Steifigkeit der Festhaltung  
Unten links: Horizontalkraft  $F_H$  abhängig von der Spreizung  $a/L$   
Unten rechts: Spreizung  $a_0/L$  abhängig vom Rahmenverhältnis  $L/H$   
Top: Bending moment distribution depending on the support stiffness  
Bottom left: Horizontal force  $F_H$  depending on the inclination  $a/L$   
Bottom right: Inclination  $a_0/L$  depending on the frame ratio  $L/H$

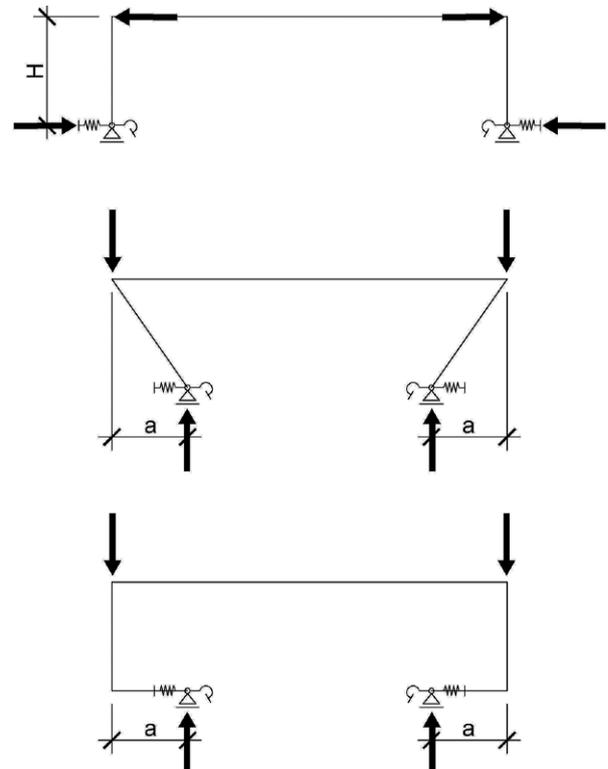
widerlagern bzw. stark auf Biegung belasteter Bohrpfehlgründungen. Ein Kurzschließen der Horizontalkraft durch ein konstruktives Zugband wird aus Erhaltungsgründen bei Überführungsbrücken praktisch ausgeschlossen. Durch eine Spreizung im Rahmen kann diese Horizontalkraft jedoch gezielt beeinflusst werden.

Anhand eines einfachen, masselosen Zweigelenrahmens mit einer Länge von 30 m, einer Höhe von 6 m und einer Breite von 1 m wird der Einfluss einer Spreizung  $a/L$  in Abhängigkeit von der Bodennachgiebigkeit in Bild 3, oben gezeigt. Die Querschnittshöhe im Rahmenstiel und im Rahmenriegel wird mit ebenfalls 1 m angenommen. Die Bodennachgiebigkeit wird mit einer horizontalen Feder  $c_F$  berücksichtigt. Der Rahmenriegel wird mit einer Gleichlast  $q = 1 \text{ kN/m}^2$  belastet.

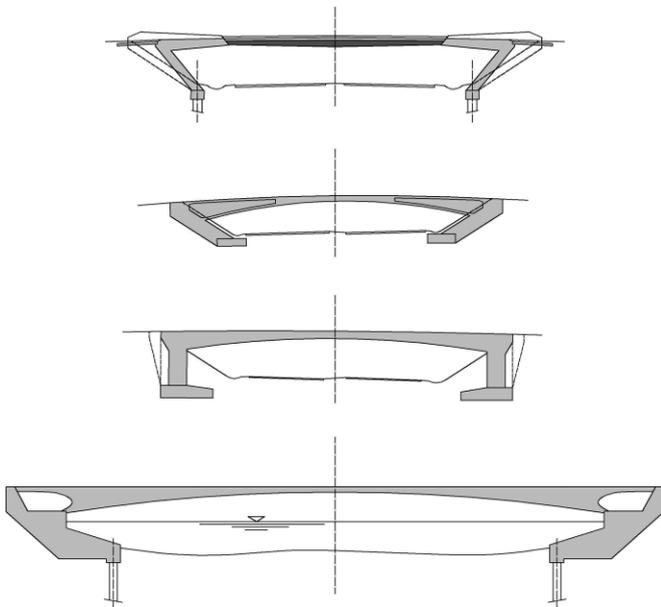
Aus Bild 3, oben ist ersichtlich, dass sich die Stützmomente  $m_s$  ohne Systemspreizung ( $a/L = 0$ ) von 0 begin-

nend mit Zunahme der Bodensteifigkeit durch den Einspanneffekt vergrößern. Bei Annahme einer positiven Spreizung von  $a/L = 0,10$  werden bei weicher Federsteifigkeit zusätzlich Feldmomente in den Stützbereich umgelagert, und somit der Einspanngrad weiter vergrößert. Entgegengesetzt verhält es sich bei einer negativen Spreizung. Bei steiferer Festhaltung sind die Auswirkungen der einzelnen Systeme gering. Bild 3, unten links zeigt die Reduktion der Horizontalkräfte an den Rahmenfußpunkten mit zunehmender Spreizung  $a/L$  unter Annahme eines  $L/H$ -Verhältnisses von 5. Wenn der Erddruck durch eine konstruktive Weicheinlage unberücksichtigt bleiben kann, wird bei einer entsprechenden Spreizung  $a_0/L$  eine kraftfreie Horizontalallagerung unter Gleichlastbelastung erreicht. Die Spreizung  $a_0/L$  bewegt sich in Abhängigkeit vom  $L/H$ -Verhältnis ca. zwischen 0,1 und 0,16 (Bild 3, unten rechts). Daraus ist abzuleiten, dass der für die Rahmenwirkung vorteilhafte Einspanneffekt durch eine positive Spreizung im System vergrößert, und die Erfordernis einer horizontalen Abstützung des Widerlagerfußpunkts im Boden verringert werden kann (Bild 4). Außerdem wird die Abhängigkeit des Systems von den stark streuenden, horizontalen Bettungseigenschaften des Bodens, insbesondere bei weichen Böden, erheblich reduziert.

Bei tief gegründeten, positiv gespreizten Rahmensystemen werden die Pfähle vorwiegend auf Druck und nur marginal auf Biegung beansprucht. Dies vereinfacht die realitätsnahe Systemmodellierung, da der Einfluss aus Zustand II infolge von Biegerissen auf die Pfahlsteifigkeit [14] auf eine vernachlässigbare Größe minimiert wird



**Bild 4** Einspanneffekte bei rechteckigen und gespreizten Rahmensystemen  
Restraint effects at rectangular and inclined frame systems



**Bild 5** Ausgeführte Beispiele von unterschrittenen Rahmensystemen  
Executed examples of undercut frame systems

oder bei überdrückten Querschnitten sogar wegfällt. Bei Flachgründungen wird der Gleitnachweis unkritisch.

Der Einspanneffekt von positiv gespreizten Systemen als Unterschneidung wurde schon bei vielen Brücken erfolgreich angewandt. Eine höchstmögliche Authentizität ist gegeben, wenn der Einspanneffekt durch schräge, von der Böschung sichtbar abgesetzte Widerlager visuell wahrgenommen werden kann (Bild 5, oben). Die Widerlager können dadurch auch inspiziert werden, was in Bild 5, 2. v. o. als verdeckte Variante nicht möglich ist. Es ist allerdings anzumerken, dass eine spätere Fahrspurverweigerung durch die Schräglage der Widerlager nicht mehr umsetzbar ist. Diese Option kann mit einem im Erdreich verborgenen massiven Vorfuß ermöglicht werden (Bild 5, 2. v. u.). Ein extremes Beispiel einer Systemunterschneidung zeigt die Brücke von Turku, die durch diesen ingenieurtechnischen Kunstgriff sicherlich eine der kühnsten Umsetzungen mit einer außergewöhnlichen Schlankheit darstellt (Bild 5, unten) [15].

Grundsätzlich kann durch die Einspannung das Feld schlanker dimensioniert werden, sodass auch niedrigere Gradienten ermöglicht werden. Die höheren Stützmomente können bei einer erdseitigen Neigung der Widerlager auch mit entsprechenden Dimensionen in den Knotenbereichen aufgenommen werden, die jedoch den Straßenlichtraum nicht behindern.

## 4 Formentwicklung des Überbaus

### 4.1 Berechnungsgrundlagen

Um genauere Querschnittanpassungen bzw. Formoptimierungen im Bereich des Überbaus durchführen zu können, wird im Folgenden ein 3-m-Streifen eines 30 m langen und 6,5 m hohen, tief gegründeten, schlaff bewehrten

Stahlbetonrahmens mittels SOFISTIK [16] modelliert und mit den wesentlichen Einwirkungen belastet. Für die Querschnittsoptimierung werden die Randdruckspannungen im Zustand II infolge der charakteristischen Einwirkungskombination und die vertikalen Verformungen aus ständigen Lasten bzw. des Lastmodells 1 gemäß Eurocode [17, 18] als Indikatoren für die Dauerhaftigkeit einerseits sowie die Biegebewehrung für die Tragfähigkeit andererseits herangezogen. Ziel ist es, einen möglichst über die Tragwerkslänge homogenen, gem. PÖTZL völligen Spannungsverlauf zu erreichen, um die Beanspruchungen bzw. die Formänderungsarbeit effizient zu verteilen [19]. Die Bewehrungsmengen sollten sich dabei in vernünftigen, zweilagig verlegbaren Größenordnungen bewegen.

Folgende weitere System- und Lastannahmen werden auf Basis der derzeit in Österreich gültigen ÖNORMEN EN 199X mit den entsprechenden nationalen Anhängen ÖNORMEN B 199X, wenn nicht anders vermerkt, getroffen:

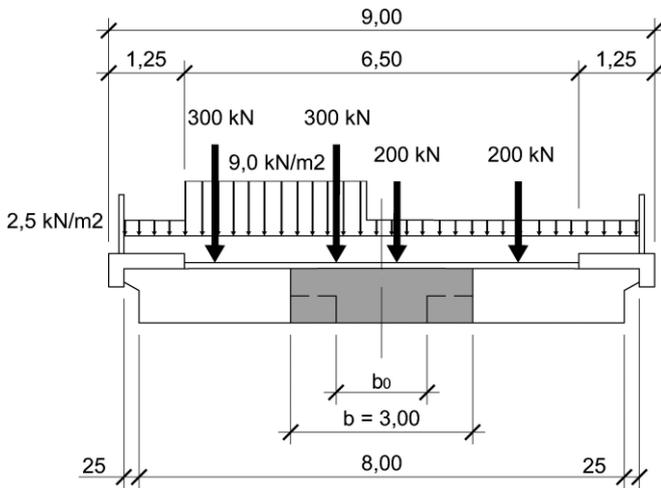
#### System:

- Die Kopplung der Widerlagerachse an den Überbau erfolgt realitätsnah, vertikal in Höhe der Überbauunterkante.
- Pfahl  $\varnothing$  120 cm.
- Pfahlbettung: Konstant  $50 \text{ MN/m}^3$ , beginnend 1,5 m unter dem Pfahlkopf.
- Betonsorte: C35/45.
- Bewehrung: B 550 B.
- Bewehrungsschwerpunkt für 2 Lagen: 12 cm vom Rand.

#### Einwirkungen:

- Konstruktionslasten  $g_k$ : Im Modell inkludiert.
- Ausbaulasten  $g_a$ : Die Kappen, der Asphaltaufbau bzw. sonstige Ausbaulasten werden auf eine äquivalente Asphalthöhe von 20 cm verschmiert:  $0,20 \cdot 3 \cdot 25 = 15,00 \text{ kN/m}$ .
- Verkehrseinwirkung: Es werden zwei Fahrspuren des LM 1 mit einem  $\alpha$ -Faktor von 1,0 und in Annahme eines 8 m breiten Tragwerks entsprechend verschmiert (Bild 6):
  - UDL:  $(9,0 \cdot 3 + 2,5 \cdot 5,5)/8 \cdot 3 = 15,28 \text{ kN/m}$
  - TS:  $(300 + 200)/8 \cdot 3 = 187,5 \text{ kN}$
  - Bremsen/Anfahren:  $(0,6 \cdot 2 \cdot 300 + 0,10 \cdot 9 \cdot 3 \cdot 31,5)/31,5/8 \cdot 3 = 5,30 \text{ kN/m}$ .
- Schwinden: Schwindmaß  $\epsilon_{cs} = 0,00024$ .
- Temperatureinwirkungen:
  - Lineare Temperaturendeckung/-stauchung:  $\Delta T_{N,exp}/\Delta T_{N,con} = \pm 30^\circ \text{ K}$
  - Temperaturgradient  $\Delta T_{M,heat}/\Delta T_{M,cool} = 10^\circ/8^\circ \text{ K}$ .
- Ungleichmäßige Setzung: 10 mm.
- Die Zwängungseinwirkungen werden im GZT um 40 % gemäß [20, 21] abgemindert.

Der Erddruck wird nicht berücksichtigt, da dieser insbesondere bei den positiv gespreizten Systemen unter Berücksichtigung einer Weicheinlage nur marginalen Ein-



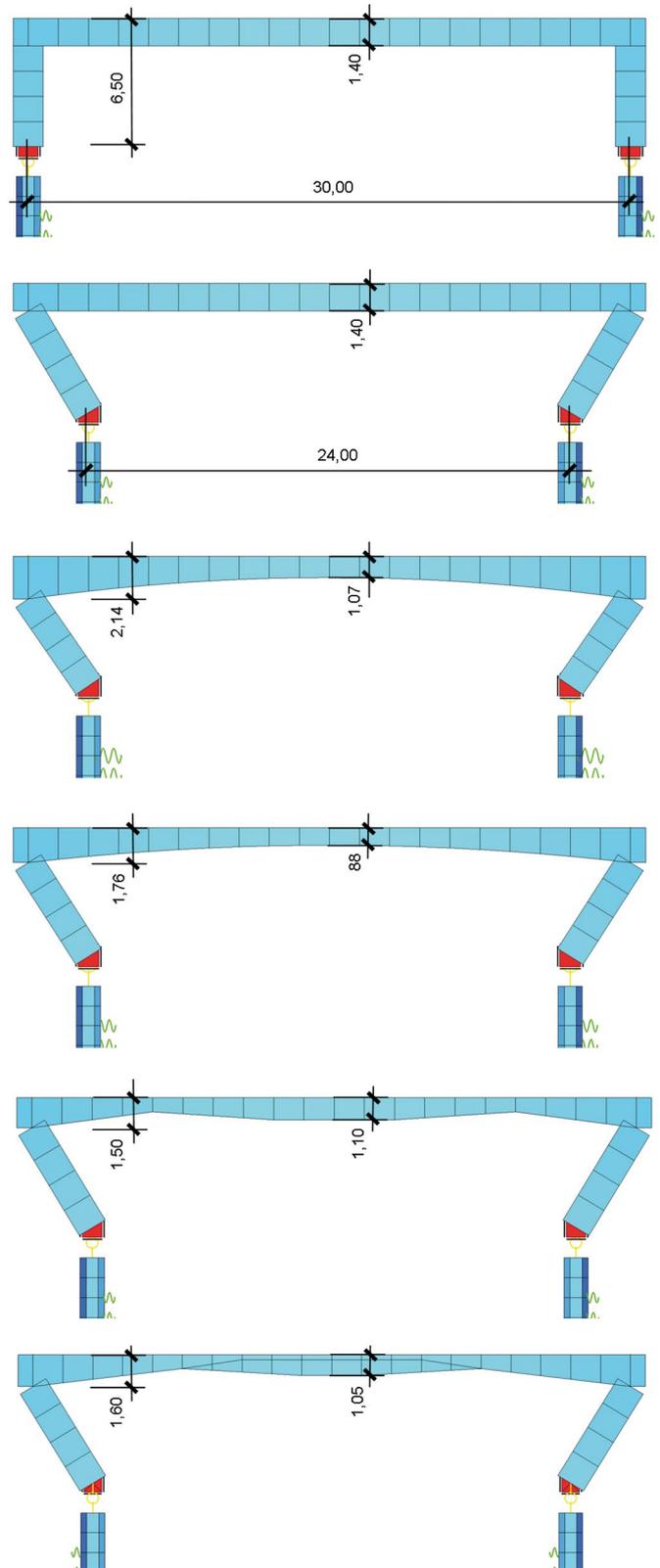
**Bild 6** Fiktiver Brückenquerschnitt mit herausgelöstem 3-m-Streifen und dem Lastmodell LM 1  
Fictitious bridge cross section with extracted 3 m strip and load model LM 1

fluss hat. Die Variation der Bodensteifigkeiten wird ebenfalls vernachlässigt, nachdem sich im Abschn. 3 gezeigt hat, dass zumindest positiv gespreizte Systeme unsensibel auf die horizontalen Steifigkeiten reagieren und somit nur geringen Einfluss auf die Ergebnisse haben.

Bild 7 zeigt die zu untersuchenden Systeme 1 bis 6. Als Ausgangssystem 1 wird der einfache rechteckige Rahmen mit Rechteckquerschnitt und einer konstanten Tragwerkshöhe von 1,40 m angenommen, was einer üblichen Schlankheit von ca.  $L/21$  entspricht. Die Widerlager werden konstant mit 1,50 m Dicke in der gesamten Studie berücksichtigt. System 2 zeigt den Einfluss einer Spreizung von  $a/L = 0,10$ . Bei System 3 wird die Tragwerksunterkante bei gleichbleibendem Konstruktionsgewicht parabolisch ausgerundet, wobei das Verhältnis der Tragwerkshöhe beim Widerlager zur Scheitelhöhe  $h_{WL}/h_S = 2$  gewählt wird. Von der Vorgabe einer gleichbleibenden Konstruktionsmasse wird bei System 4 abgewichen und eine wirtschaftliche Lösung unter Beibehaltung einer parabolischen Unterkante und des optisch ansprechenden Höhenverhältnisses  $h_{WL}/h_S$  gesucht.

Anhand von System 5 werden die oberen und unteren Spannungen über die Tragwerkslänge geglättet, sodass alle Tragwerksteile gleichmäßig unter der charakteristischen Einwirkungskombination beansprucht werden. Dabei wird auf polygonale Unterkanten geachtet, sodass der Schalungsaufwand begrenzt bleibt. Schließlich werden bei System 6 die Auswirkungen einer Minimierung des Eigengewichts bei gleichzeitiger Maximierung der Steifigkeit in Feldmitte durch Auflösung des Rechteckquerschnitts in einen T-Querschnitt mit dem Breitenverhältnis  $\beta = b_0/b = 0,5$  untersucht.

Die Einwirkungen werden gemäß den ÖNORMEN EN 1990, EN 1990/A1 und B 1990-2 [22–24] kombiniert. Die Berechnung erfolgt linear-elastisch, die Bemessung auf Basis der ÖNORMEN EN 1992-2 und B 1992-2 [20, 21].



**Bild 7** Modellbildungen Systeme 1 bis 6 von oben nach unten  
Model systems 1 to 6 from top to bottom

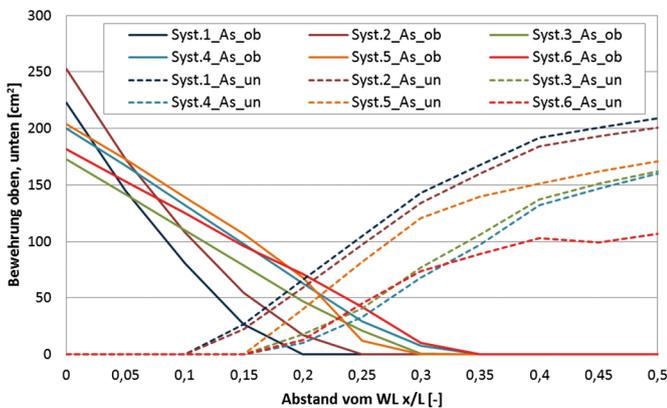
## 4.2 Diskussion der Ergebnisse

Tab. 1 zeigt, dass die Systeme 1 und 2 ähnliche Ergebnisse erzielen, jedoch die Pfahlbiegemomente in System 2 markant durch die Schrägstellung des Widerlagers, wie schon in Abschn. 3 beschrieben, reduziert werden. Die Abhängigkeit vom vorhandenen Boden und dessen Fä-

**Tab. 1** Übersicht der Ergebnisse der Systeme 1 bis 6 (oben: Absolutwerte, unten: Prozentual zu System 1)  
 Overview of the results of system 1 to 6 (top: absolute values, bottom: percentage to system 1)

Kriterium	Einheit	System					
		1	2	3	4	5	6
$g_k$	[kN]	4455	4639	4639	4104	3776	3470
$A_{s\_ob,max}$	[cm <sup>2</sup> /3 m]	223	253	173	200	204	182
$A_{s\_un,max}$	[cm <sup>2</sup> /3 m]	209	201	162	160	171	107
$\sigma_{max}/0,6 f_{ck}$	[%]	0,92	0,93	0,92	1,00	0,88	0,76
$u_{z,max} (g_k + g_a)$	[mm]	20,7	17,4	15,8	19,0	20,1	16,7
$u_{z,max} (LM1)$	[mm]	6,3	5,5	6,0	8,7	8,9	10,4
$M_{d,max,Pfahl}$	[kNm]	3883	1041	1660	1623	1159	1255

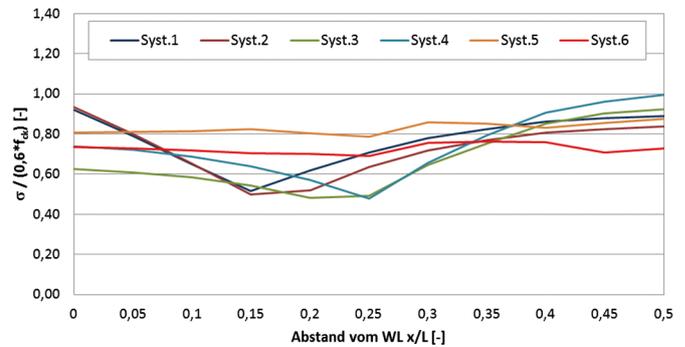
Kriterium	Einheit	System					
		1	2	3	4	5	6
$g_k$	[%]	100	104	104	92	85	78
$A_{s\_ob,max}$	[%]	100	113	78	90	91	82
$A_{s\_un,max}$	[%]	100	96	78	77	82	51
$\sigma_{max}/0,6 f_{ck}$	[%]	100	101	100	108	96	82
$u_{z,max} (g_k + g_a)$	[%]	100	84	76	92	97	81
$u_{z,max} (LM1)$	[%]	100	87	95	138	142	166
$M_{d,max,Pfahl}$	[%]	100	27	43	42	30	32



**Bild 8** Maximale Biegebewehrung über die halbe Tragwerkslänge  
 Maximum bending reinforcement along half the structure length

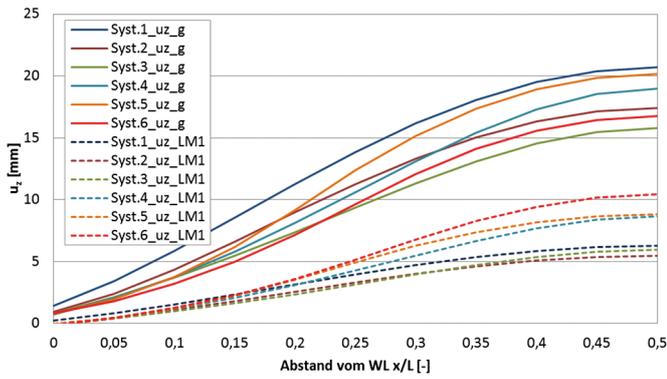
higkeit, Horizontalkräfte aufzunehmen, wird dadurch deutlich minimiert. Eine Massenverlagerung von der Tragwerksmitte zu den Widerlagern mittels parabolisch geformter Vouten (System 3) verringert die Bewehrung am Rahmeneck und in Tragwerksmitte (Bild 8). Dabei vergrößern sich die Betondruckspannungen in Tragwerksmitte (Bild 9).

Es zeigt sich, dass bei Vouten schlankere Querschnitte in der Tragwerksmitte möglich sind, wobei jedoch eine Absenkung der Straßengradiente durch die seitliche Überschneidung der parabolischen Tragwerksunterkante mit



**Bild 9** Maximale relative Betondruckspannung infolge charakteristischer Einwirkungskombinationen über die halbe Tragwerkslänge  
 Maximum relative concrete compression stresses due to characteristic load combinations along half the structure length

den Ecken des Lichtraumprofils oft nicht umzusetzen ist. Hingegen kann das System durch gezielte Masseverringern wirtschaftlich ausgereizt werden (System 4). Die im Zustand I berechneten Vertikalverformungen werden allerdings auch durch die geringere Steifigkeit größer (Bild 10). Um über die Überbaulänge das Material auch gleichmäßig auszunützen, müssen die Spannungsreserven in den Wechselmomentbereichen von  $0,1 \cdot L$  bis  $0,35 \cdot L$  bzw. dem um die Tragwerksachse gespiegelten Bereich in System 5 lukriert werden. Durch materielle Ausdünnung gelingt eine gleichmäßige Ausnützung der Betondruckspannungen über die gesamte Länge (Bild 9).



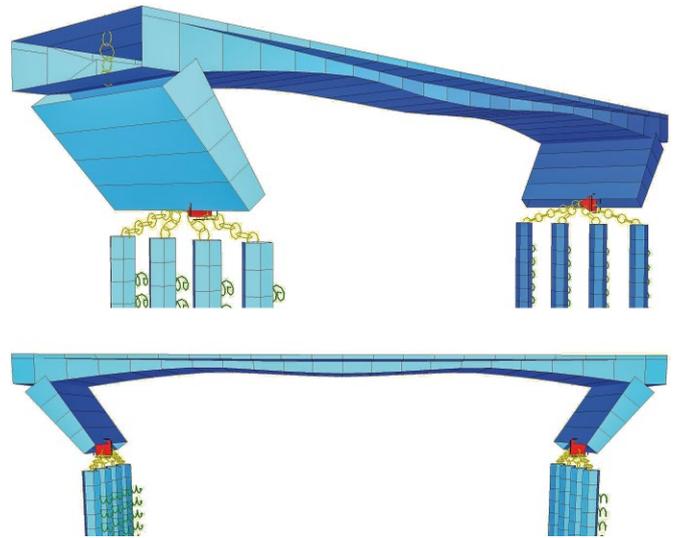
**Bild 10** Vertikalverformungen infolge ständiger Lasten und des Lastmodells LM 1  
Vertical displacements due to permanent loads and load model LM 1

Die maximalen Betondruckspannungen bleiben dabei deutlich unter der Grenzspannung von  $0,6 \cdot f_{ck}$ . Der Bewehrungszuwachs in der Tragwerksmitte ist in Bild 8 gegenüber den Systemen 3 und 4 nur geringfügig, jedoch muss mehr Bewehrung in den Bereichen  $0,15 \cdot L$  bis  $0,4 \cdot L$  eingelegt werden. Um die Tragfähigkeit noch mehr in der Tragwerksmitte auszunutzen, wird dort durch die Verwendung eines T-Querschnitts in System 6 die Masse weiter reduziert, jedoch die Überbauhöhe nahezu gleich belassen. Dabei werden die gleichmäßig über die Länge verlaufenden Betondruckspannungen gesenkt. Die Bewehrungsmenge wird in der Tragwerksmitte ebenfalls reduziert, wobei diese nur über die Tragwerksbreite  $b_0$  verlegt werden kann, die im Modell 1,5 m beträgt. Eine weitere Querschnittsauflösung mit Faktoren  $\beta < 0,5$  wird durch den vorhandenen Platz für die Biegebewehrung begrenzt.

Die Verwendung eines Trapezquerschnitts als Querschnittsauflösung, der durch Minimierung der Oberflächen und Auflösung des  $90^\circ$ -Kantenwinkels besticht, wird ebenfalls als Verbesserung von System 5 angesehen. Bezugnehmend auf die Vertikalverformung infolge direkter Verkehrsbelastung verhält sich System 6 am weichsten (Bild 10). Wichtiger erscheint jedoch eine relativ hohe Steifigkeit des Systems 6 gegenüber den anderen Systemen unter ständigen Lasten, wodurch die Größe von künftigen Kriechverformungen begrenzt wird.

## 5 Beispielbrücken

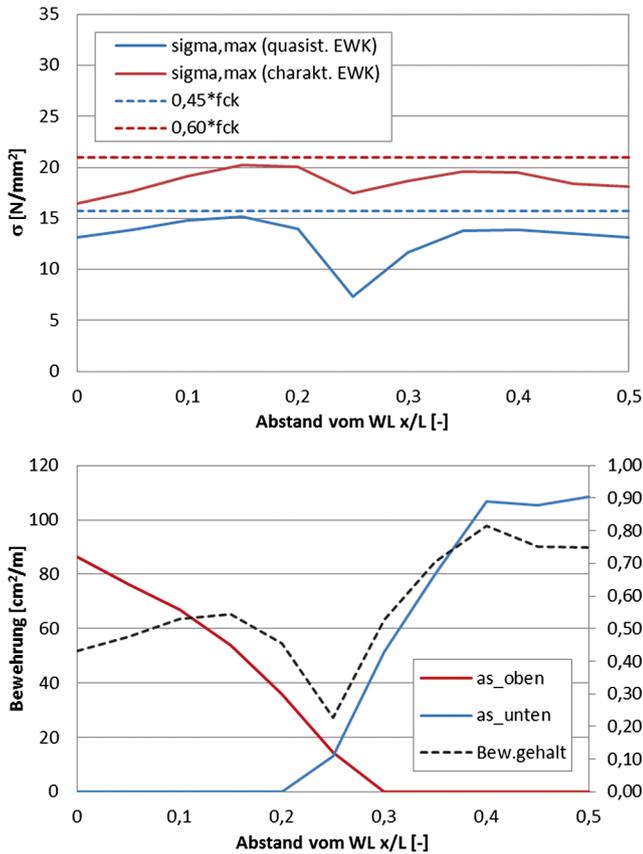
Basierend auf den o. a. Erkenntnissen wird nun System 6 in zwei praxisnahen Beispielen eines schlaff bewehrten und eines vorgespannten Rahmens weiterverfolgt. Einerseits sollen die theoretisch möglichen Grenzen eines schlaff bewehrten bzw. vorgespannten Rahmenbauwerks ausgelotet und andererseits neue Formmöglichkeiten etabliert werden. Beim schlaff bewehrten System wird die Systemlänge des Überbaus mit 42 m gewählt, sodass bei einer entsprechenden Spreizung ein vierspuriger Autobahnregelquerschnitt mit einer Kronenbreite von 30 m und einer beidseitigen Muldenbreite von 2 m für eine mögliche 4:0 Verkehrsführung gemäß RVS überspannt



**Bild 11** Visualisierungen einer praxisnahen schlaff bewehrten Überführungsbrücke  
Visualisations of a practice-oriented reinforced concrete overpass bridge

werden kann [25]. Die Fahrbahnbreite wird mit 7 m für übliche Feldweg- bzw. Gemeinde- oder Landesstraßenbrücken angenommen. Dabei wird ebenfalls eine Pfahlgründung angesetzt und es werden gleiche Eingangswerte bzgl. Federsteifigkeiten, Materialwerten und Lastannahmen wie bei der Formentwicklung in Abschn. 4 verwendet. Die seitlichen Auskragungen im Überbau beginnen mit null beim Widerlager und vergrößern sich kontinuierlich bis zur Mitte, um bei Bedarf mögliche, äußere Entwässerungsleitungen unter dem Kragarm anzuordnen. Die Unterkanten werden diesmal geschwungen ausgebildet. Trotz dieser Formverfeinerungen wird das Grundprinzip aus den Erkenntnissen der Formentwicklung in Abschn. 4 beibehalten: In Brückenmitte wird Masse bei gleichzeitiger Erhöhung der Steifigkeit reduziert, in den Momentennullpunkten generell Masse minimiert und bei den Rahmenecken über die gesamte Breite Masse konzentriert. Die Brücke wird in Bild 11 bewusst mithilfe der gebräuchlichen Werkzeuge des Ingenieurs, der 3D-Visualisierung aus dem Berechnungsprogramm, und in Bild 15 im Querschnitt und in der Ansicht gezeigt. In Bild 12 wird die Auswertung der Spannungen und der Bewehrungsmengen dargestellt. Dabei wurde als Randbedingung im Entwurfsprozess eine maximale Bewehrungsmenge beim Rahmeneck mit  $94 \text{ cm}^2/\text{m}$  festgelegt, die einer zweilagigen, konstruktiv zumutbaren Bewehrungsverteilung  $\varnothing 30/15$  entspricht. Diese wurde im aktuellen Beispiel mit  $86 \text{ cm}^2/\text{m}$  nicht überschritten. Der größte Bewehrungsgehalt, der in der Nähe des Brückenscheitels auftritt, entspricht mit 0,82 % einem üblichen, vertretbaren Maß.

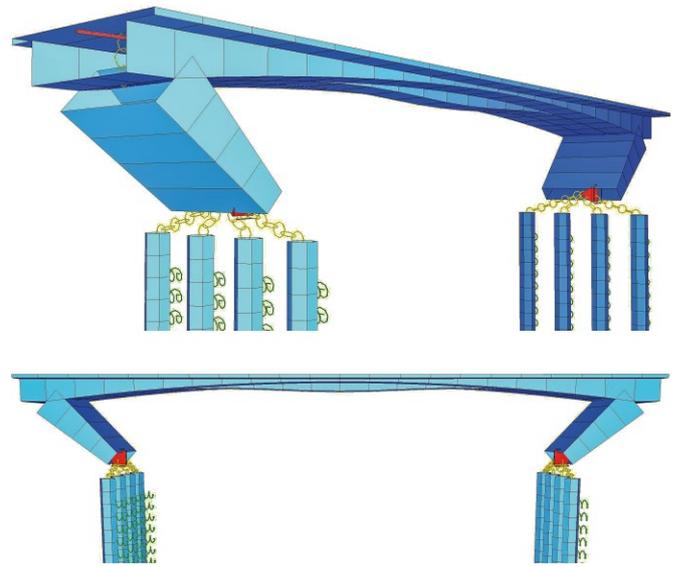
Im Vergleich der derzeit größten Spannweite von ca. 39 m einer schlaff bewehrten Überführungsbrücke im Netz der ASFINAG mit dem o. a. Vorschlag in Bild 15 ist eine Massenreduktion von ca. 36 % lukriert worden. Anzumerken ist, dass durch die noch immer unzureichende Vorhersagequalität von Verformungen aus Zustand II



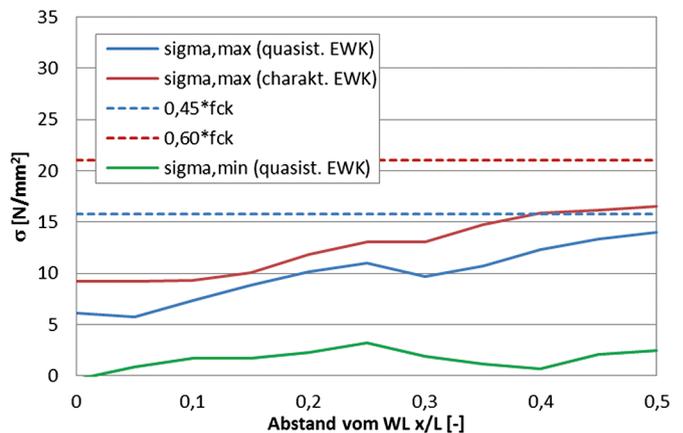
**Bild 12** Druckspannungen über die halbe Tragwerkslänge (oben) und Biegebewehrung bzw. Bewehrungsgehalt der schlaff bewehrten Überführungsbrücke (unten)  
 Compression stresses along half the structure length (top) and the bending reinforcement with its percentage of the reinforced concrete overpass bridge (bottom)

und Kriechen der Spannweitenjagd schlaff bewehrter Konstruktionen Grenzen gesetzt sind, da die Funktionsmerkmale einer ausreichenden Gradiententreue nicht maßgeblich beeinflusst werden dürfen.

Aus diesem Grund wird auch eine vorgespannte Überführungsbrücke vorgestellt, die wiederum auf den Erkenntnissen der Formentwicklung aus Abschn. 4 aufbaut. Die gewählte Spannweite beträgt bei gleicher Brückenbreite und gleichen Eingangsparametern allerdings 46 m. Es werden 1,5 m breite Kragarme zur Anordnung einer Entwässerung angeordnet. Dadurch werden die für Vorspannkabel zur Verfügung stehende Tragwerksbreite sowie die Widerlagerbreite auf 6 m beschränkt. In der Tragwerksmitte wird wieder ein T-Querschnitt mit einer Höhe von 1,10 m gewählt, der durch einen Steg mit 2 m Breite modelliert, jedoch auch in zwei Stegen mit je 1 m Breite ausgebildet werden kann. Die Stege werden konvex geformt und verschmelzen ca. in den Drittelpunkten als Formverfeinerung durch leichte Gegenschwünge in den Plattenquerschnitt. Es werden zwölf Vorspannkabel mit nachträglichem Verbund des Spannsystems VT CONA 1906 [26] vorgesehen. Die Visualisierungen des Berechnungsmodells sind in Bild 13, die entsprechenden Betondruckspannungen unter quasiständigen und charakteristischen Einwirkungskombinationen in Bild 14 dargestellt. Die Optimierung der Form wurde mit dem



**Bild 13** Visualisierungen einer praxisnahen vorgespannten Überführungsbrücke  
 Visualisations of a practice-oriented pre-stressed concrete overpass bridge

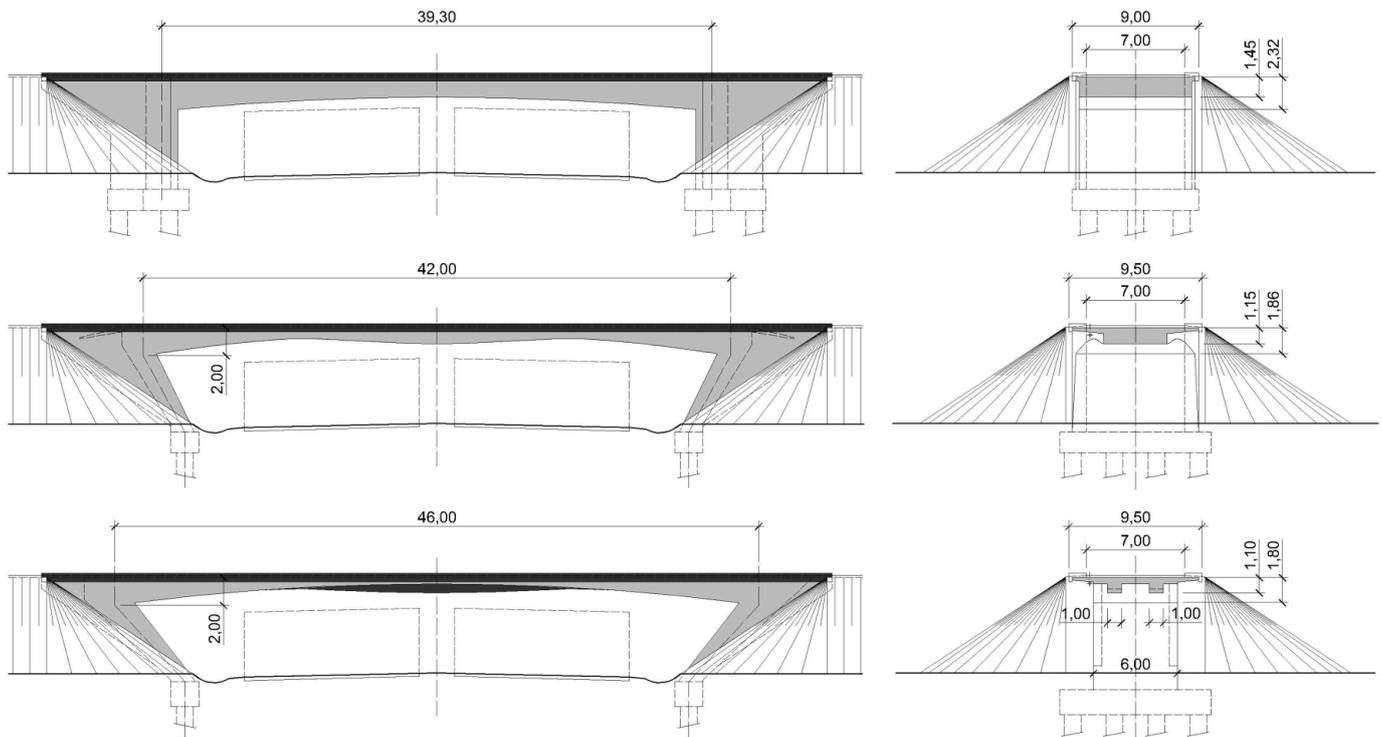


**Bild 14** Betondruckspannungen über die halbe Tragwerkslänge der vorgespannten Überführungsbrücke  
 Concrete compression stresses along half the structure length of the pre-stressed overpass bridge

Ziel eines über die Brückenlänge möglichst gleichmäßigen Dekompressionszustands unter quasiständigen Einwirkungskombinationen durchgeführt. Im Vergleich mit der schlaff bewehrten Beispielbrücke konnten nochmals 6 %-Massen bei vergrößerter Spannweite und einem äußerst schlanken und eleganten Erscheinungsbild eingespart werden (Bild 15).

## 6 Zusammenfassung

Der formale Ausdruck einer Brücke ist in der Regel sehr von herstellungsabhängigen Faktoren getrieben. Oft wird einer Vereinfachung der Schalung und Rüstung gegenüber einer Optimierung der Betonmassen der Vorzug gegeben. Dadurch werden dem Beton die ihm innewohnenden Eigenschaften der Formbarkeit als Gusswerkstoff und daraus folgend immense Gestaltungsmöglichkeiten genommen. Dabei ermöglicht die heutige Schalungstech-



**Bild 15** Vergleich einer bestehenden Überführungsbrücke (oben) mit den vorgestellten schlaff bewehrten (Mitte) und vorgespannten Varianten (unten)  
Comparison of an existing overpass bridge (top) with the introduced reinforced concrete (centre) and pre-stresses variants (bottom)

nik komplexe Formgebungen, die im Hochbau längst an der Tagesordnung sind. In diesem Aufsatz wird beispielhaft an Stahlbeton- und Spannbetonüberführungsbrücken gezeigt, dass mit technischen Handwerkzeugen Form- und Gestaltbildung möglich ist. In Entwicklungsstufen werden einzelne Systeme gegenübergestellt und die Form aufgrund von statisch-konstruktiven Anforderungen optimiert. Dabei ergeben sich durch geschickte Masse- und Steifigkeitsverteilung wirtschaftliche und dauerhafte Systeme mit akzeptablem Schalungsaufwand,

die darüber hinaus eine ästhetische Qualität durch authentische Abbildung der inneren, materialgerechten Strukturabsicht innehaben. Es wird die Machbarkeit einer schlaff bewehrten und einer vorgespannten massiven Überführungsbrücke über eine vierspurige Autobahn aufbereitet, die einer entsprechenden Formlogik folgen, mit dem vorrangigen Ziel, höchstmögliche Authentizität auszustrahlen. Im Hinblick auf weitere Formverfeinerungen zur Steigerung einer Anschauungsdynamik wird auf einen Folgeaufsatz verwiesen.

## Literatur

- [1] LEONHARDT, F.: *Brücken – Ästhetik und Gestaltung*. Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart 1982, S. 10.
- [2] KLEISER, M.: *Formlogik an Brücken Teil 1 – Überlegungen zur authentischen Formbildung von integralen Brückenden*. Bautechnik 93 (2016), H. 2, S. 49–58.
- [3] KLEISER, M.: *Formlogik an Brücken Teil 2 – Überlegungen zur authentischen Formbildung von fugenlosen Stützenanschlüssen*. Bautechnik 94 (2017), H. 2, S. 83–92.
- [4] BÖTTICHER, K.: *Die Tektonik der Hellenen*. Potsdam, 1852.
- [5] HARTMANN, F.: *Ästhetik im Brückenbau*. Franz Deuticke, Leipzig, Wien, 1928.
- [6] BILLINGTON, D. P.: *Robert Maillart und die Kunst des Stahlbetonbaus*. Verlag für Architektur Artemis, Zürich, München, 1990.
- [7] STEINER, M.; KLEISER, M.: *Leitkonzept Gestaltung Brücke*. ASFINAG, 2012.
- [8] PAUSER, A.: *Eisenbeton in der 1. Jahrhunderthälfte*. Beitrag in „Vom Beton-Eisen zum Spannbeton“, Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, 2007, S. 80.
- [9] BERTHELLEMY, J.; SCHAVITS, D.; ERRE, C.: *Crossing motorways under traffic without intermediate piers*. Steel Construction 9 (2016), No. 3, pp. 200–206.
- [10] MAY, R.: *Pontifex Maximus – Der Architekt Paul Bonatz und die Brücken*. MV-Wissenschaft, 2011, S. 261.
- [11] TIEDJE, W.: *Formprobleme im Brückenbau*. Karl Krämer Verlag Stuttgart, 1966, S. 10.
- [12] KURTZE, T.: *Vergleich von Widerlagerausbildungen integraler Brücken in Bezug auf das Verformungsverhalten und die statische Beanspruchung*. Diplomarbeit FH Campus Wien, 2016.
- [13] WUNDERLICH, W.; KIENER, G.: *Statik der Stabtragwerke*. Vieweg+Teubner Verlag, 2004.
- [14] GAMA, D.; ALMEIDA, J. F.: *Concrete integral abutment bridges with reinforced concrete piles*. Structural Concrete 15 (2014), No. 3.
- [15] PAUSER, A.: *Entwicklungsgeschichte des Massivbrückenbaus unter Berücksichtigung der Verhältnisse Österreichs*. Österreichischer Betonverein, 1986, S. 103.

- [16] Sofistik AG: *Finite Elemente & CAD Software für den Ingenieurbau*. Bruckmannring 38, 85764 Oberschleißheim.
- [17] ÖNORM EN 1991-2: *Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken*. Österreichisches Normungsinstitut 2012.
- [18] ÖNORM B 1991-2: *Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken. Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1991-2 und nationale Ergänzungen*, Österreichisches Normungsinstitut 2011.
- [19] PÖTZL, M.; SCHLAICH, J.; SCHÄFER, K.: *Grundlagen für den Entwurf, die Berechnung und konstruktive Durchbildung lager- und fugenloser Brücken*. DAfStb Heft 461, Beuth Verlag, 1996, S. 46.
- [20] ÖNORM EN 1992-2: *Eurocode 2 – Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 2: Betonbrücken – Bemessungs- und Konstruktionsregeln (konsolidierte Fassung)*, Österreichisches Normungsinstitut 2012.
- [21] ÖNORM B 1992-2: *Eurocode 2 – Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 2: Betonbrücken – Bemessungs- und Konstruktionsregeln, Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1992-2, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen*, Österreichisches Normungsinstitut 2014.
- [22] ÖNORM EN 1990: *Eurocode – Grundlagen der Tragwerksplanung (konsolidierte Fassung)*, Österreichisches Normungsinstitut 2013.
- [23] ÖNORM EN 1990/A1: *Eurocode – Grundlagen der Tragwerksplanung – Änderung 1: Anwendung bei Brücken (konsolidierte Fassung)*, Österreichisches Normungsinstitut 2013.
- [24] ÖNORM B 1990-2: *Eurocode – Grundlagen der Tragwerksplanung – Teil 2: Brückenbau. Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1990/A1 und nationale Ergänzungen*, Österreichisches Normungsinstitut 2016.
- [25] RVS 03.03.31: *Querschnitte – Querschnittselemente Freilandstraßen; Verkehrs- und Lichtraum*. Österr. Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr, 2005.
- [26] *BBR VT CONA CMI – Spannverfahren im Verbund mit 04 bis 31 Litzen*. Europäische Technische Zulassung ETA – 06/0147, 2013.

### Anmerkung

Dieser Aufsatz entstand aus einer Eigenrecherche des Autors, die unter anderem in den Bibliotheken des Instituts für Tragkonstruktionen – Betonbau der Technischen Universität Wien durchgeführt worden ist. Die Inhalte des Beitrags stellen ausschließlich die persönliche Meinung des Autors dar. Ansprüche gegenüber der ASFINAG sind dadurch nicht ableitbar.

### Autor



Dipl.-Ing. Michael Kleiser  
c/o ASFINAG Baumanagement GmbH  
Modecenterstraße 16  
1030 Wien  
michael.kleiser@asfinag.at

## 7.4 Formdynamik an Überführungsbrücken

Titel: Formdynamik an Überführungsbrücken  
Autor: Michael Kleiser  
Veröffentlichungstyp: Aufsatz in Fachzeitschrift  
Titel des Mediums: Beton- und Stahlbetonbau  
ISSN: 0005-9900 (print), 1437-1006 (online)  
DOI: 10.1002/best.201700021  
Ausgabe: Ausgabe 112, Jahrgang 2017, Heft 7  
Seiten: 10 (402-411)  
Chefredakteur: Konrad Bergmeister  
Redaktion: Kerstin Glück  
Verlag: Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische  
Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin  
Erscheinungsjahr: 2017  
Peer Reviewed: Ja, impact factor 0,691 (Stand Juli 2017)  
Status: Publiziert

# Formdynamik an Überführungsbrücken

Der Ingenieur kann sich dem Gestalten nicht entziehen. Er gestaltet zwangsläufig und unausweichlich durch die Wahl von Bauformen, deren Dimensionen und Proportionen. Insbesondere im Brückenbau wird dieser Umstand durch die federführende oder gar alleinverantwortliche Rolle des Ingenieurs augenscheinlich. Über den Verantwortungsbereich einer entsprechenden Formlogik als ingenieurtechnische Disziplin hinaus wird in diesem Aufsatz das Potenzial einer erweiterten Formverfeinerung für den Ingenieur vorgestellt. Es wird auf Erkenntnisse der Gestaltpsychologie Bezug genommen, die es erlauben, Brückenformen „dynamischer“ zu gestalten. Dabei handelt es sich wahrnehmungspsychologisch um eine Anschauungsdynamik, die eine enge Korrelation mit dem Tragverhalten von Konstruktionen aufweist und somit insbesondere im Brückenbau das Entwurfsspektrum des Ingenieurs betrifft. Anhand von Formstudien von Überführungsbrücken aus Beton in Fortführung vergangener Publikationen und eines Praxisbeispiels wird das Thema erläutert.

## 1 Einleitung

Das Gebaute nimmt zwangsläufig Gestalt an. Insbesondere im Brückenbau, bei dem die Tragkonstruktion das Bauwerk nach außen unverhüllt dominiert, ist in der Regel der Ingenieur als federführender Entscheidungsträger für das statische System und die Bauteile, deren Dimensionen und Proportionen maßgeblich für die sichtbare Gestaltfindung verantwortlich. Durch vorrangige Erfüllung der zweckbestimmten und wirtschaftlichen Ziele wird jedoch der Einfluss der Formbildung auf die Außenwirkung meistens unterschätzt. Nicht zuletzt in der Gestaltpsychologie wurde durch Experimente nachgewiesen, dass der Mensch einen Spürsinn für die Wahrnehmung von Vorgängen des Tragens und Lastens besitzt, die beim Betrachten von bestimmten Formen – obwohl oft nur subtil wahrnehmbare – Empfindungen auslösen [1]. Der deutsche Philosoph und Psychologe THEODOR LIPPS sprach Ende des 19. Jahrhunderts von „ästhetisch-mechanischen Vorgängen, die in den Formen für uns verwirklicht sind“ [2, S. 35]. Er führte weiter an, dass die Gesetzmäßigkeit dieser Vorgänge „sich in uns wirksam zeige, ohne doch für unser Bewusstsein da zu sein“ [ebd.]. Damit werden oft benutzte, lapidare Aussagen wie „das sieht doch sowieso keiner ...“ als Bagatellisierung bewusster Gestaltung widerlegt. Im Gegenteil, ein richtig oder falsch verwendeter Formenkanon beeinflusst auch ungeschulte bzw. nicht von vornherein gestaltungsbewusste Personen, ohne dass er/sie die Ursache konkret benennen könnte.

## Form dynamics at overpass bridges

The engineer cannot withdraw himself from the process of visually designing. He is inevitably designing due to selecting structural forms with their dimensions and proportions. Particularly in the field of bridge engineering this is obvious due to the leading role or even solely responsible role of the engineer. Beyond the area of responsibility of an appropriate form logic as a structural discipline the potential of a further form refining by the engineer will be introduced in this article. Knowledge from the gestalt psychology will be used in order to design bridge forms in a more “dynamic” way. In the field of psychology of perception it refers to visual dynamics, which reflect a close correlation with the load-bearing behaviour of structures and therefore address the engineers conceptual design particularly that of bridges. In continuation with previous publications form studies of concrete overpass bridges will be conducted. Furthermore the topic will be illustrated by showing a practical example.

Nach LIPPS hat jeder Mensch ein „unbewusstes mechanisches Wissen“, das er mehr oder weniger intuitiv als Beurteilungsgrundlage heranzieht [ebd., S. 39].

Die „ästhetisch-mechanische Gesetzmäßigkeit“, von der LIPPS sprach, drückt sich in einer der Struktur innewohnenden Formlogik aus, die als äußere, sichtbare Projektion der Funktion verstanden wird und nach dem Vorbild der Natur Authentizität und ästhetische Qualität ausstrahlt [3, 4]. Für die primäre Funktion von Brücken als Verbindungsbauwerk von A nach B wird in erster Linie das statische Tragverhalten herangezogen.

Aus der voran beschriebenen Relevanz der wahrgenommenen Form in Korrelation mit dem Tragverhalten stellt sich insbesondere beim zweckbestimmten, öffentlich finanzierten Infrastrukturbau eine einzuhaltende Formlogik als Grundaufgabe für den Ingenieur dar. Darauf aufbauend steht es ihm jedoch frei, die Form aus einem ingenieuren Prozess weiter zu verfeinern. Dem Ingenieur gewidmet, meint PAULGERD JESBERG dazu: „Die Beherrschung aller damit verbundenen Bedingungen und Gesetzmäßigkeiten schafft die Voraussetzung der Freiheit ästhetischer Gestaltung“ [5]. In dieselbe Kerbe schlägt auch DAVID P. BILLINGTON, der von der „Suche des Konstrukteurs nach einem Gleichgewicht von Disziplin und Spiel“ spricht [6]. Die „Disziplin“ ist im Hinblick auf Erfüllung von Erhaltungsaspekten, Sparsamkeit und Zweckmäßigkeit gemeint, die auch Ziele einer entsprechenden

Formlogik sind [4]. Das „Spiel“ charakterisiert den Umgang mit der Form durch Kreativität und Individualität zur Verfeinerung und Steigerung des ästhetischen Ausdrucks.

Dabei sollte bedacht werden, dass durch „das Spiel“ die eigentliche Funktionsausübung nicht ad absurdum geführt werden darf, sondern lt. CHRISTIAN MENN als „Verschmelzung des künstlerischen Gefühls mit der statischen Funktion“ verstanden werden muss [6, S. 130]. Dies ist insbesondere bei Balkenbrücken aus Stahl- und Spannbeton zu beachten, da die Zugfunktion der Bewehrung nicht sichtbar ist und das Zeigen der Funktionseinheiten im Gegensatz zu aufgelösten Konstruktionen schwieriger zu bewerkstelligen scheint. Da Balken- bzw. Rahmenbrücken aus Beton den Großteil an Objekten in den Verkehrsnetzen ausmachen, ist schon aus diesem Grund eine bewusste Auseinandersetzung mit den unterschiedlichen Ausdrucksformen unabdingbar, birgt doch gerade Beton als Gusswerkstoff enorme skulpturale Möglichkeiten.

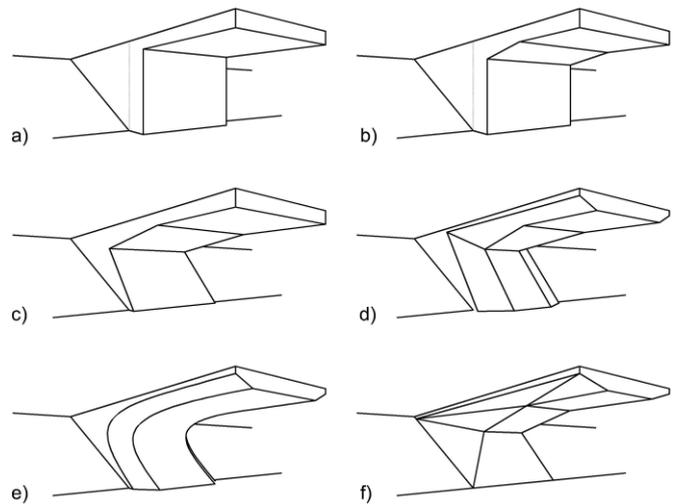
In Bezug auf das eingangs erwähnte menschliche Empfinden der Vorgänge Tragen und Lasten wird nun auf gestaltpsychologische Phänomene eingegangen, um den Wahrnehmungsausdruck der statischen Wirkung des Rahmenecks durch Formvarianten zu steigern. Beispielhaft werden aus [3] Formansätze integraler Brückeneenden gegenübergestellt, die alle einer formlogischen Konsequenz folgen, jedoch eine unterschiedliche Komplexität aufweisen (Bild 1).

Es werden dabei unterschiedliche Wahrnehmungsergebnisse aus der gleichen Aufgabenstellung heraus erzielt. Beginnend mit einer geometrisch regelmäßigen und schlichten Lösung (Bild 1a) wird die Ausdrucksform mit Abschrägungen durch eine Voute (Bild 1b), Neigung der Widerlagerkante (Bild 1c), ergänzendes seitliches Anfasen der Querschnittsformen (Bild 1d) und Verwendung von Krümmungen (Bild 1e) bzw. räumlich verschnittenen Oberflächen (Bild 1f) jeweils gesteigert. Gleichermäßen wird auch die Darstellung der Funktionsausübung der Rahmenecke als Überleitung von Biegemomenten vom Überbau in das Widerlager durch die Formkomplexität erhöht. Die streng geometrische Form drückt Ruhe, Gelassenheit und Nüchternheit aus, kann jedoch auch zur Reizlosigkeit führen. Formen komplexerer Ordnung werden im Gegensatz dazu spannend empfunden [7, S. 226] – sie bewegen. Dafür wird der wahrnehmungspsychologische Begriff der Anschauungsdynamik herangezogen, obwohl physikalisch starre Zustände beschrieben werden. Analogien dynamisierender Effekte zu statisch-konstruktiven Überlegungen, die im Brückenbau Anwendung finden, werden im Folgenden ausgearbeitet.

## 2 Formdynamik

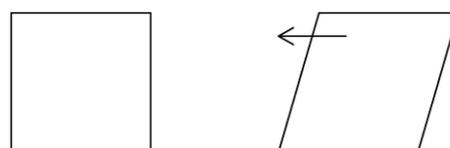
### 2.1 Spannung und Bewegung

RUDOLF ARNHEIM prägte federführend den Begriff der Anschauungsdynamik in [8], deren Grundsätze auf LIPPS



**Bild 1** Gegenüberstellung von Formansätzen integraler Brückeneenden mit unterschiedlichen Komplexitätsgraden (aus [3])  
Comparison of form approaches of integral bridge ends with different grades of complexity (out of [3])

zurückgehen. Es handelt sich dabei um dynamische Wahrnehmungskräfte bzw. -spannungen, die den Funktionsausdruck des Objekts in der äußeren Form verstärken. Diese sind nicht unmittelbar den inneren physikalischen Kräften gleichzusetzen, stehen jedoch nach LIPPS mit Ausdehnungs- [2, S. 54] bzw. wahrnehmungspsychologischen Bewegungstendenzen in Zusammenhang [9]. Auch ist die Ausdrucksweise von „fließenden“ und „geschwungenen“ Formen weit verbreitet, die eine Bewegungswahrnehmung impliziert. Mit dem Beispiel des Parallelogramms in Bild 2 werden die formdynamischen Vorgänge näher erläutert. Da der Mensch nach dem Prägnanzgesetz [7, S. 21] in der Formwahrnehmung zur Vereinfachung und zur möglichst großen Regelmäßigkeit tendiert, wird in der „verzerrten“ Form eine „dynamische Spannung“ vermittelt [8, S. 424], die sich in die Ruhestellung des Quadrats zurückbewegen will. Es werden dabei in der Gestaltpsychologie Begriffe wie Verzerrung, Dehnung und Spannung verwendet, die dem Ingenieur sehr vertraut sind. Im Gegensatz bedeutet dies, dass das Zeigen der inneren physikalischen Kräfte und Verformungen als „mechanische Gesetzmäßigkeit“ Spannungen vermittelt und auch vom Betrachter spannungsgeladen und lebendig wahrgenommen wird. Diese Annahme bestätigt auch KARL BÖTTICHERS Theorie der Übereinstimmung von Kern- und Kunstform: Das innere Wesen – die statische Funktion – soll auch äußerlich in der Form er-



**Bild 2** Bewegung des Parallelogramms zum Quadrat durch „dynamische Spannungen“  
Movement of the parallelogram towards the square due to “dynamic tensions”

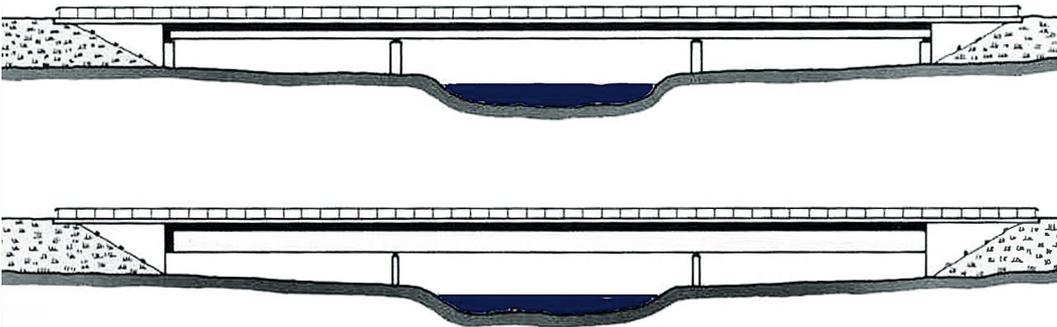


**Bild 3** Widersprüche in der Wahrnehmung durch Ungleichgewicht (aus [11])  
Contradictions within the perception due to imbalance (out of [11])

kenntlich sein [10]. LIPPS, ARNHEIM und BÖTTICHER verwenden gemeinsam zur Illustration dieser Herangehensweise das Beispiel der klassischen Säule, auf die später noch näher eingegangen wird.

## 2.2 Gleichgewicht

Ein wichtiges Merkmal ästhetischer Qualität ist das Streben nach einem Gesamtgleichgewicht dynamischer Ausdehnungstendenzen. „Qualität stellt sich nur dann ein,



**Bild 4** Die Wahrnehmungskräfte sind im Gleichgewicht (oben) und im Ungleichgewicht (unten) (aus [15])  
The perceptual forces are balanced (top) and imbalanced (bottom) (out of [15])



**Bild 5** Unterschiedliche Wahrnehmungen zweier annähernd gleich dimensionierter Rahmenriegel  
Different perceptions of two similarly dimensioned frame beams

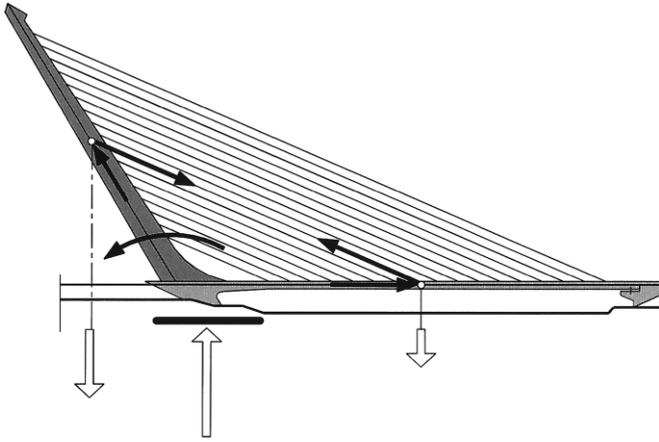
wenn jeder Hinweis auf eine tatsächliche Veränderung oder Bewegung des Objekts sorgfältig unterbunden ist“, merkt ARNHEIM in [8, S. 418] an. Somit werden formlogische Grundsätze der Nachvollziehbarkeit statischer Stabilität untermauert und Willkür sowie Unordnung hinten angestellt (Bild 3).

## 2.3 Gewicht und Proportion

Eigengewicht löst aus dem Umstand der vorhandenen Schwerkraft wahrnehmungspsychologisch einen Zug bzw. Druck nach unten aus [12]. Stützen hingegen haben in der Regel durch ihr schlankes Seitenverhältnis eine Bewegungstendenz nach oben [13, S. 56]. Qualität, Ausgewogenheit und Harmonie entsteht durch das Gleichgewicht dieser entgegengesetzt wirkenden Wahrnehmungskräfte mittels Wahl geeigneter Proportionen [14]. Diese These bestätigt auch FRITZ LEONHARDTS Ansätze zu Brückenproportionen von Stützen und Überbau [15]. In Bild 4, unten werden die Stützen visuell von der Überbaumasse erdrückt. Auch MENNS Empfehlung, die Überbauhöhe in Abhängigkeit von der Höhe über dem Gelände zu wählen [16], steht in engem Zusammenhang mit ARNHEIMS Ausführungen zum Anschauungsgewicht [13, S. 54]. In Bild 5 wirkt die linke Brücke leichter als die rechte, obwohl die Rahmenriegeldimensionen annähernd gleich sind. Auf weitere Proportionsaspekte kann aus Platzgründen nicht eingegangen werden.

## 2.4 Schräge

Schräge Linien wirken stets dynamischer als vertikal und horizontal angeordnete Linien. Nicht zuletzt durch diesen Effekt, zusammen mit dem hochdynamischen Aus-



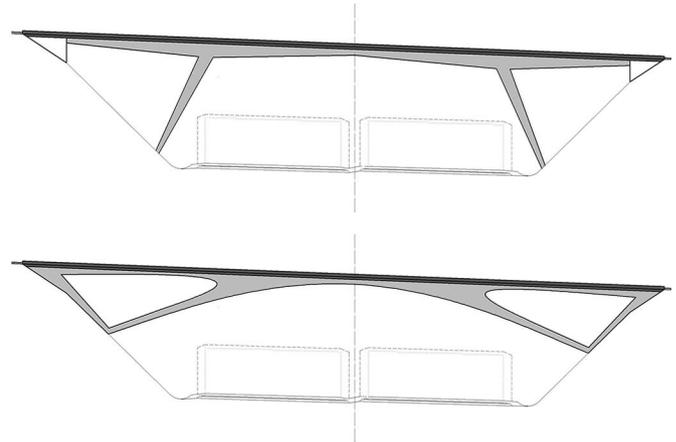
**Bild 6** Extreme Dynamik durch Schräge (aus [17])  
Extreme dynamics due to obliqueness (out of [17])

druck des sensibel gehaltenen Gleichgewichts nach dem „Waagebalkenprinzip“ unter ständiger Last, brilliert SANTIAGO CALATRAVAS Alamillo-Brücke (Bild 6). Die Berücksichtigung der ständigen Last für die Form wird dadurch begründet, dass ein Betrachter diesen Lastfall zum Zeitpunkt des ersten Blickkontakts wahrnimmt und instinktiv verarbeitet. Gleichzeitig überlagernde, veränderliche Einwirkungen aus Verkehr sind vorübergehende Eindrücke, die für die Lastwahrnehmung wenig „ins Gewicht fallen“. Auch die Beschreibung durch LIPPS der „allgemeinen Neigung des Geistes“ zur Vereinfachung einer „gleichzeitig gegebenen Mannigfaltigkeit“ kann als Erklärung herangezogen werden [2, S. 40]. Bei der in Ingenieurskreisen kontrovers diskutierten Alamillo-Brücke darf jedoch nicht verschwiegen werden, dass durch die fehlende Rückverhängung die Abtragung aller veränderlichen Lasten über Einspannung des Schrägmastes erfolgt.

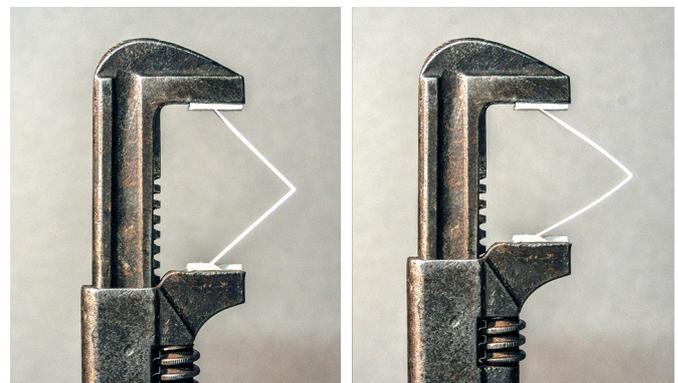
Häufige Anwendungen der Schräge bei Überführungsbrücken sind die Ausbildung von Tragwerksvouten, geneigte Widerlager (vgl. Bilder 1b bis 1d) und insbesondere Schrägstielrahmenbrücken. Die Vorteile der Verkürzung der Überbauspannweiten bei Überspannen von großen Geländebereichen werden auch gestaltpsychologisch als ausdruckstark und spannend empfunden [18]. Je flacher die Stiele geneigt sind, desto dynamischer fällt der Wahrnehmungsausdruck aus (Bild 7).

## 2.5 Krümmungen

Formveränderungen durch gekrümmte Linien und Flächen in Form von Ausrundungen und Wölbungen erzeugen eine weitere Erhöhung der Formdynamik. Bild 7, unten zeigt eine verstärkte Spannung durch die Ergänzung von Ausrundungen. Dabei kann, wie schon in Abschn. 2.1 erläutert, die Visualisierung des Verformungszustands wie Verzerrungen, Querdehnungen oder die Andeutung der Biegelinie formgebend herangezogen werden. Klassisches Beispiel ist die Entasis bei antiken Säulen, die nach dem Architekten RICHARD NEUTRA die „sichtbare Fähigkeit zu elastischer Formveränderung unter Druck“ an-



**Bild 7** Flach geneigte Streben wirken dynamischer (unten) als steile Streben (oben). Die Ausrundungen im unteren Bild verstärken noch die Formdynamik (Entwürfe der A5.Ü20)  
Slightly inclined struts appear more dynamic (bottom) than steeply inclined ones (top). Smoothings in the bottom figure still enhance form dynamics (preliminary drafts for the A5.Ü20)



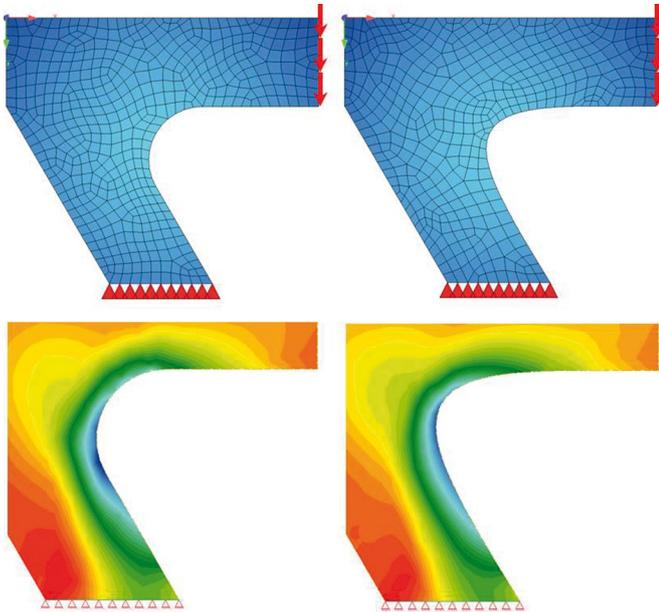
**Bild 8** Verstärkung der Formdynamik einer Rahmenecke durch Nachführen der Biegelinie  
Increase in form dynamics of a frame edge due to tracking of the deflection line

deutet [19]. Auf den heutigen Brückenbau kann diese Form der Dynamisierung durch Abbildung des zweiachsialen Verzerrungszustands der Stützform als umgekehrte Hängeform, wie z. B. in Bild 7, unten ersichtlich, übertragen werden. Zugkräfte können durch die negative Entasis als Quereinschnürung von Bauteilen verdeutlicht werden. Diese Art von Bauteilanformung kann insbesondere im Stahlbau mit konkav geschnittenen Zugblechen Verwendung finden. Der dynamische Ausdruck einer biegebeanspruchten Rahmenecke wird entweder durch Nachführen der Biegelinie zur Ecke (Bild 8) oder durch eine gezielte Ausrundung verstärkt.

Ausrundungen werden oft aus Vereinfachungsgründen durch ein Zusammensetzen von Radien und Geraden konstruiert. Der spanische Bauingenieur EDUARDO TORROJA wies jedoch schon in [20] auf die Unverträglichkeit der Verbindung einer Geraden mit einem Kreis als „ästhetisch schwer zu lösende Aufgabe“ hin. Hingegen wirken Konturen mit kontinuierlichen Krümmungsänderungen dynamischer und gefälliger als z. B. Korbbögen mit



**Bild 9** Unterschied der Dynamik einer Kurve zusammengesetzter Kreisbögen (links) und einer Sinuswelle (rechts)  
Difference of dynamics of a curve with connected circular arcs (left) and a sine wave (right)



**Bild 10** Gegenüberstellung der Hauptmembrankräfte an einer Rahmenecke mit kreisförmiger (links) und sinusförmiger (rechts) Ausrundung  
Comparison of the principal membrane forces at a frame edge with circular (left) and a sine smoothing (right)

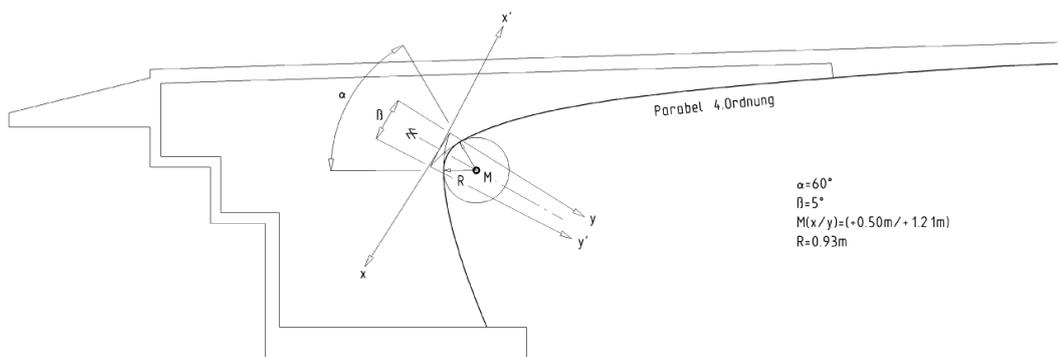
abrupten Übergängen [2, S. 28]. Als Beispiel ist der Unterschied einer Sinuswelle und einer verkehrt zusammengesetzten Abfolge von Kreisbögen in Bild 9 angeführt. LIPPS betrachtet diese Formen als „die Leichtigkeit und Mühelosigkeit im Verlauf oder Ablauf der Formen, die anstrengungslose oder gegen geringen Widerstand sich vollziehende Tätigkeit, das spielende Sichauswirken einer Kraft“ [2, S. 34]. In der Übertragung auf den modernen Brückenbau wirkt die Rahmenecke durch eine eingesetzte Sinuswelle, Parabel oder Hyperbel dynamischer als durch eingesetzte Radien. Dies führt auch zu statischen

Verbesserungen. Eine qualitative Gegenüberstellung der entsprechenden Hauptmembrankräfte einer durch Querkkräfte belasteten Rahmenecke mit einer flächengleichen kreisförmigen bzw. sinusförmigen Ausrundung wird in Bild 10 gezeigt. Diskontinuitäten und damit Spannungserhöhungen im Übergang des Kreises zur Geraden werden vermieden. MATTHIAS SCHÜLLER stellte u. a. ein Konstruktionsprinzip mit einer Parabel 4. Ordnung der Tragwerksunterkanten im Widerlagerbereich vor (Bild 11) [21]. Durch die stetig steigende Krümmung der Parabel hin zum Rahmeneck wird die Stelle der höchsten Beanspruchung visualisiert.

Kontinuierliche, gemäß LIPPS „anstrengungslose“ Formentwicklungen sind auch aus biologischen Wachstumsprozessen bekannt, die dem Axiom der gleichen Oberflächenspannung folgen und als kerbfrei und harmonisch gelten [22].

## 2.6 Interpretation des Tragverhaltens

Nicht zuletzt durch die Ausführungen von LIPPS, BÖTTCHER und ARNHEIM können verstärkte Ausdrucksmöglichkeiten des Tragverhaltens durch bewusstes Zeigen der inneren Schnittkräfte einer Brücke formdynamische Effekte erzielt werden. Als klassisches, allgemein anerkanntes Vorbild drängt sich wieder die klassische Säule auf, bei der über die Entasis als Veranschaulichung der Druckbeanspruchung hinaus die Kanneluren laut SEYLER an „Muskeln oder Muskelfasern eines angespannten Armes erinnern und erheblich zur optischen Aktivierung der ganzen Säule beitragen“ [1, S. 117]. Im Betonbau kann das Tragverhalten in vielfältiger Form verdeutlicht werden. JÖRG SCHLAICHS Überführungsbrücke bei Kirchheim/Teck ist neben der dynamischen Strebenneigung ein exzellentes Beispiel für die bildhafte Übersetzung der inneren Kraftflüsse durch Verkörpern des Biegemomentverhaltens wiederum unter ständiger Last (Bild 12). Im ersten Augenblick wirkt die Form durch den „Hängebauch“ in Tragwerksmitte überraschend-gewöhnungsbedürftig, da die Massenreduktion durch die Querschnittsauflösung in Plattenbalken nicht sofort ersichtlich ist. Letztendlich gelang SCHLAICH – bedingt auch durch Weglassen der Kappen – ein Meisterwerk puristischer Ingeni-



**Bild 11** Konstruktionsprinzip einer ausgerundeten Rahmenecke (aus [21])  
Construction principle of a rounded frame edge (out of [21])



**Bild 12** Visualisierung des Biegemomentenverlaufs bei der Überführung Kirchheim/Teck (oben). Reduktion der Masse in Tragwerksmitte durch Verwendung eines Plattenbalkenquerschnitts (unten)  
Visualisation of the bending moment distribution at the crossing Kirchheim/Teck (top). Mass reduction in the centre of the superstructure due to T-beams (bottom)

eurskunst. Dass über die optische Wirkung hinaus Masse optimiert werden konnte, liegt auf der Hand.

Ein weiteres hervorragendes Beispiel ist ROBERT MAILLARTS Brücke über die Arve bei Vessy, bei der die statische Wirkung der Querscheibeneinkerbungen als Kernform kraftvoll zur Kunstform überzeichnet wurde (Bild 13). MAILLART greift dabei als Ingenieurkünstler auf das kreative Repertoire zurück, das auch einem Ingenieur bereitsteht. Dies schließt ein Feingefühl bei der Wahl der Proportionen, beim Festlegen von Konturen und beim willentlichen Setzen von Akzenten im Einklang mit den statischen Voraussetzungen, wie MENN eingangs erwähnte, ein. Bei dieser Ausreizung des „Spielraums“ in der Formgebung ist jedoch ein ehrliches Hinterfragen der künstlerischen Fähigkeiten bei jedem Ingenieur wichtig. Im Zweifelsfall ist eine Zusammenarbeit mit künstlerisch vertrauten Berufsgruppen ratsam und förderlich.

In den folgenden Formstudien werden die o.a. Möglichkeiten der Dynamisierung an einfeldrigen Überführungsbrücken vorgestellt.

### 3 Formstudien von Überführungsbrücken

Nachdem in [23] Formentwicklungen von einfeldrigen Rahmenüberführungen aus primär funktionellen und statisch-konstruktiven Ansätzen durchgeführt wurden, wird auf diesen Ergebnissen aufgebaut und die Form zur Steigerung der visuellen Wirkung durch den Prozess des „Dy-

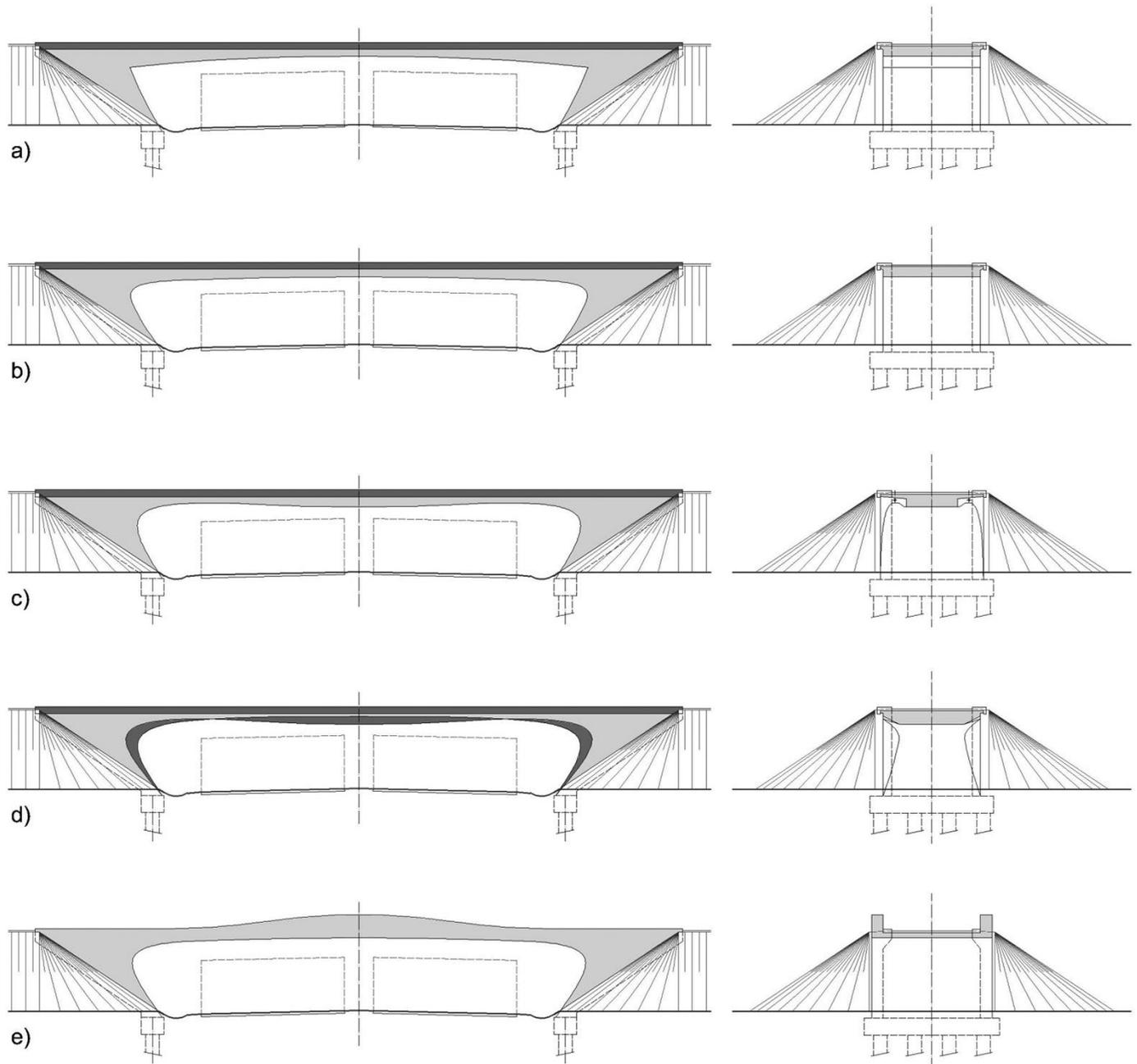


**Bild 13** Kunstvolles Überzeichnen der statischen Wirkung der Stützen bei der Brücke über die Arve bei Vessy  
Artistic exaggeration of the static performance of the columns at the bridge over the Arve at Vessy

namisierens“ weiter verfeinert. Einige dynamisierende Effekte sind schon in [23] durch die Schräglage der Widerlager infolge der positiven statischen Wirkung der Unterschneidung sowie der gezielten Masseumlagerung im Tragwerksbereich gezeigt worden. Ziel der Studien ist es, die primäre Funktion des „Überspannens“ des Tragwerks zur Lastüberbrückung möglichst authentisch durch Schärfen der Tragwerkskonturen auszudrücken. Da es sich lediglich um richtungsgebende, formbezogene Studien handelt, werden die Dimensionen anhand der Berechnungen aus [23] abgeschätzt.

In den Bildern 14a und 14b wird die oft verwendete konkave Anformung der Tragwerksunterkante gezeigt. Die in die Form umgesetzte Systemeigenschaft des Rahmens, Biegemomente vom Feld in die Ecken zu ziehen, erzeugt bereits eine Dynamik. Diese Krümmungsform erweckt den Eindruck des Entgegenstehens gegen die Last und löst aktive Spannung im Gegensatz zum konvexen Krümmungsbild in Bild 12 aus, dessen Form eine der Beanspruchung nachgebenden Spannung suggeriert. Ergänzend zur konkaven Tragwerksunterkante wird in Bild 14a die Widerlagervorderkante leicht gekrümmt, um die Einspannung durch die in Beton materialisierte Biegelinie im Rahmeneck gemäß Bild 8 hervorzuheben. Anzumerken ist, dass in den Eckbereichen der Tragwerksunterkante aus Kompatibilitätsgründen zur Widerlagerkrümmung kleinere Radien als in der Tragwerksmitte gewählt werden. Der extrem hochbelastete eingeschnittene Eckbereich wird dadurch auch visuell hervorgehoben. Zur statischen Entlastung wird in Bild 14b das Rahmeneck in Anlehnung an das Konstruktionsprinzip aus [21] ausgerundet. Der Fokus auf die Rahmenecke als signifikante Konstruktionsstelle bleibt durch die dorthin stetig größer werdenden Krümmungen weiter aufrecht. Schon in der Antike wurde diese Technik eines bewusst gewählten Krümmungsmaximums bei der Entasis als gezielte Wirkungsrichtung der Materialelastizität beobachtet [1, S. 117].

Mittels des Herleitungsprinzips aus [23] werden weitere Formmöglichkeiten mit Tragwerksverstärkungen in Feldmitte unter Berücksichtigung eines sich zur Mitte verjün-

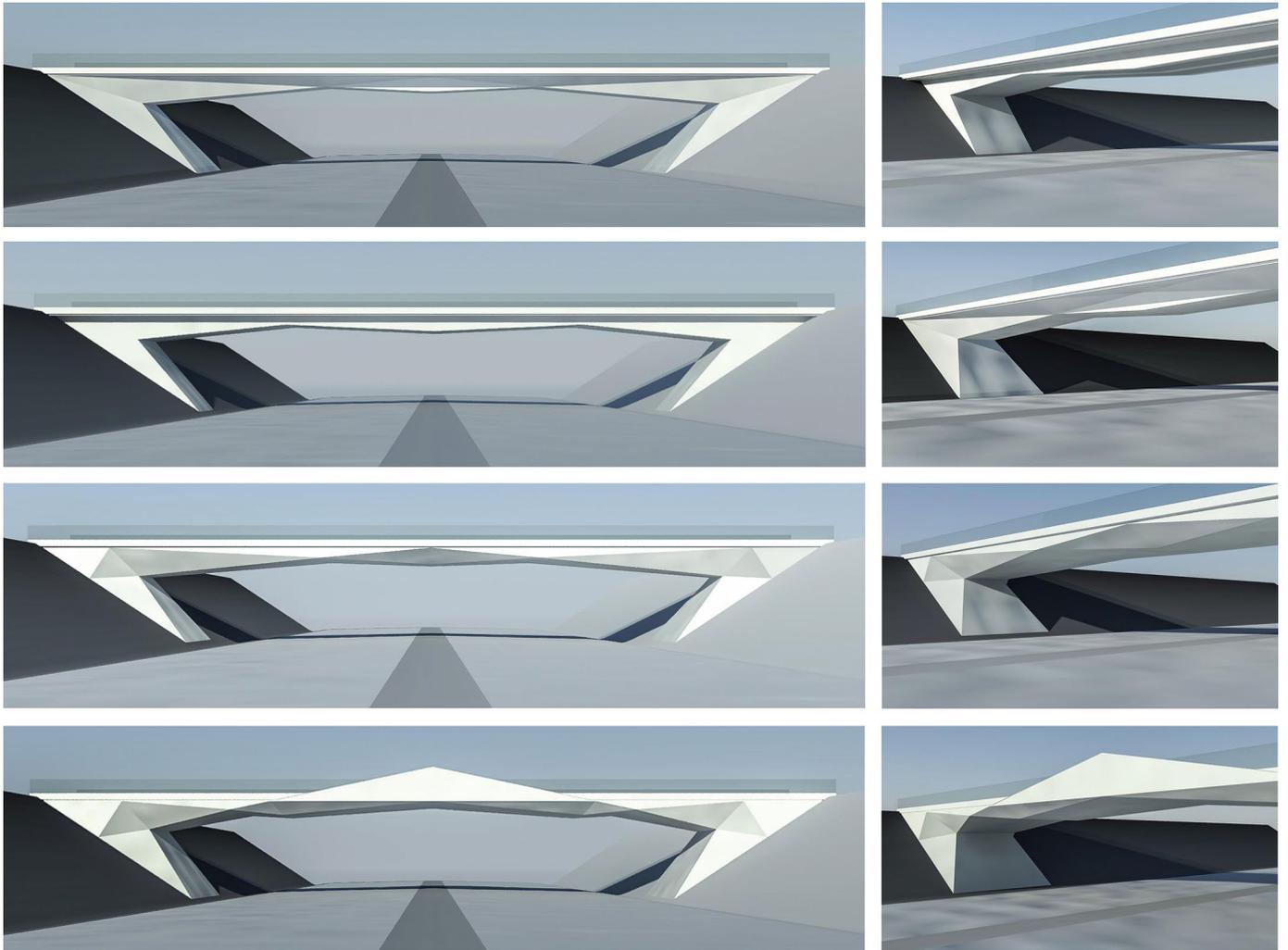


**Bild 14** Einfeldrige Formstudien von Überführungsbrücken mit gekrümmten Formverfeinerungen  
Single-span form studies of overpass bridges with curved form refinements

genden Rechteckquerschnitts in Bild 14c vorgestellt. Ziel ist wiederum eine möglichst flüssige Tragwerksunterkante. In Bild 14d werden die Querschnitte mit seitlichen Anfasungen in den Rahmenecken und in Feldmitte verändert, sodass sich eine konkav-konvexe Konturierung der Ansichtsfläche ergibt. Schließlich wird ein Vorschlag durch ein seitliches Hochziehen von Seitenwänden zu einem Trogquerschnitt in Feldmitte in Bild 14e gezeigt. Letzteres Beispiel sollte nur bei sehr schmalen Brücken sinnvoll angewandt werden, da die Beanspruchbarkeit der Trogwände auf Druck begrenzt ist. Auf eine Kappe wird in diesem Fall bewusst verzichtet, um unvorteilhafte Formunestetigkeiten in Brückenmitte zu vermeiden.

In Bild 15 wird grundsätzlich auf den Effekt von Krümmungen verzichtet. Bild 15, oben zeigt eine aus der Biege-

momentenbeanspruchung polygonal abgeleitete Form, die in Trägermitte in einen Plattenbalken aufgelöst wird. Die restlichen Formvorschläge in Bild 15 werden analog zu Bild 1f ausschließlich mit räumlich verschnittenen Ebenen erstellt, deren Kanten durch die unterschiedlichen Licht- und Schattenwirkungen sichtbar hervortreten. Um auch die Tragfunktion des „Überspannens“ visuell darzustellen, wird zur Anordnung der Kanten das statische System des Rahmens als Stabwerkmodell zugrunde gelegt und in eine konturierte Betonform gegossen (Bild 16). Damit wird experimentell versucht, einen hohen Ausdruck als Kunstform des inneren funktionalen Strukturverhaltens, der Kernform gemäß BÖTTICHER, zu zeigen. Es wird angemerkt, dass die Anwendungen der vorgestellten Formstudien aus den Bildern 14 und 15 zu unterschiedlichem Mehraufwand in der Schalung führen.

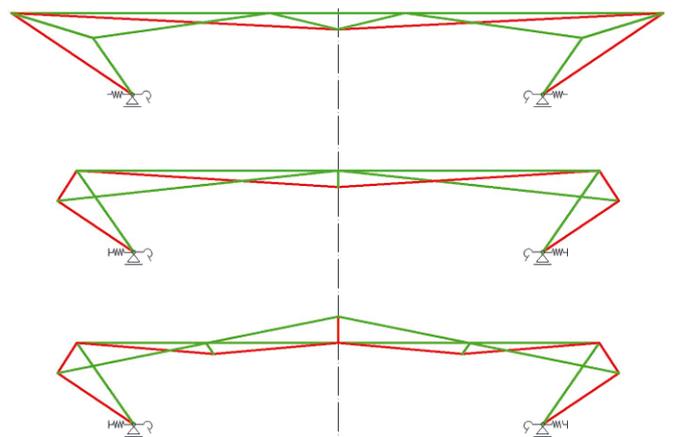


**Bild 15** Einfeldrige Formstudien von Überführungsbrücken mit geraden Konturen  
Single-span form studies of overpass bridges with straight contours

Dieser steht in der Regel jedoch einer Massenreduktion [23] und schließlich einem kostenmäßig nicht quantifizierbaren, jedoch öffentlichkeitswirksamen gestalterischen Mehrwert gegenüber.

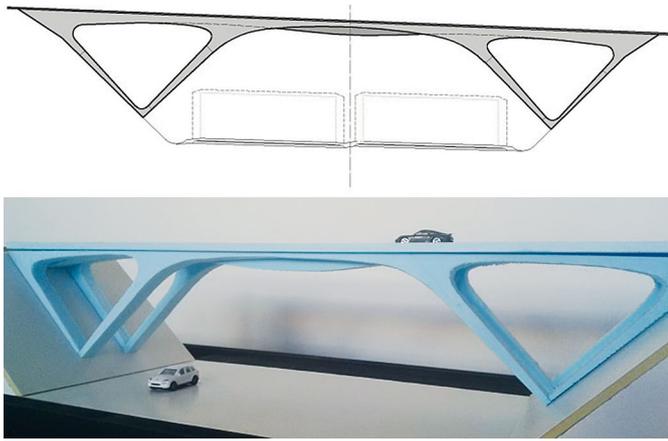
#### 4 Praxisanwendung

Ein Praxisbeispiel eines Überführungsbauwerks entsteht derzeit entlang der Verlängerung der Weinviertler Autobahn A5 im Norden Wiens. Die Grundüberlegung bestand darin, eine Überführungsbrücke als integrales Bauwerk mit höchstmöglicher Dynamik als sichtbare Streckenmarke im Zentrum der Neubaustrecke zu positionieren. Nach einer Variantenbetrachtung – zwei Varianten sind auch in Bild 7 ersichtlich – wurde die letztlich gewählte Variante mittels eines Arbeitsmodells auch auf die dreidimensionale Wirkung des in Zwillingstützen aufgelösten Bauwerks untersucht (Bild 17). In Anlehnung an SCHLAICHS Brücke bei Kirchheim/Teck aus Bild 12 wird die Lage eines Einschnitts ausgenutzt und eine Schrägstielrahmenbrücke mit einer Ausformung des Mittelfelds analog zur Biegemomentenverteilung vorgesehen. Als



**Bild 16** Zugrunde gelegte Stabwerkmodelle für Bild 15  
Strut-and-tie models as a basis for figure 15

Erweiterung wird jedoch das Biegemoment visuell in einen Zugstrang und einen Druckbogen zerlegt, wobei das expressive Element des Bauches als Zugelement im Schattenbereich des Hauptfelds verläuft und zwischen



**Bild 17** Konturen im Längsschnitt (oben) und das Arbeitsmodell (unten) der A5.Ü20  
Contours in the longitudinal section (top) and the working model (bottom) of the A5.Ü20

den Zwillingsstreben in die Randfelder übergeht. Durch die Überlagerung der konvexen und konkaven Form entsteht nach GRÜTTER eine besondere Reizkonfiguration [7, S. 202]. Da die Bodenverhältnisse eine komplette Abtragung der Horizontalkräfte aus den Schrägstreben nicht zulassen, leiten sichtbare Böschungstreben eine entsprechende Horizontalkraft zum Widerlager ab. Hervorzuheben ist die flüssige und kerbbarme Formkontur, die beziehungsweise auf die Dauerhaftigkeit Vorteile hat und somit teilweise die erhöhten Schal- und Rüstungskosten rechtfertigt. Die Form ist funktional und nach den o.a. Kriterien dynamisch wahrzunehmen. Das Bauwerk wird im November 2017 fertiggestellt.

## 5 Zusammenfassung

Der Ingenieur gestaltet insbesondere im Infrastrukturbau zwangsläufig und unausweichlich durch die Wahl von Bauformen und Geometrie und hat es dadurch in der Hand, dem menschlichen Bedürfnis nach Wohlgefallig-

keit Genüge zu tun. Aufbauend auf einer stringenten Formlogik, die zum Grundrepertoire des Ingenieurs zählen soll, werden weitere formdynamische Effekte andiskutiert und an Überführungsbrücken aus Beton angewendet. Dabei wird auf Grundsätze der Gestaltpsychologie zurückgegriffen, die maßgebend durch die Psychologen THEODOR LIPPS und RUDOLF ARNHEIM geprägt wurden. Beide verweisen auf die Vollkommenheit der klassischen antiken Säule, die als allgemein anerkanntes Vorbild das Tragverhalten dynamisch nach außen visualisiert und dadurch Harmonie und Wohlgefallen erzeugt. Eine essenzielle Erkenntnis aus der Gestaltpsychologie ist die vorhandene Wirkung von statischen Zusammenhängen auf den Menschen und dessen subtiles Empfinden in Form von dynamischen Wahrnehmungsprozessen. Damit ist eine entscheidende Verbindung der Gestaltungspsychologie zum Ingenieurwesen gegeben. Neben der statisch vorteilhaften Berücksichtigung von dynamischen Effekten wie Schrägen und Krümmungen ergeben sich für den Ingenieur durch ein Herausarbeiten und Präzisieren des statischen Tragverhaltens in der äußeren Formbildung immense kreative Möglichkeiten, den Ausdruck des Bauwerks zu steigern und zu optimieren.

In diesem Aufsatz wird versucht, anhand von Formbeispielen die o.a. Herangehensweise einer Steigerung der Ausdruckskraft auf den heutigen Brückenbau zu übertragen. Dadurch wird einmal mehr auf den kreativen Entwürfsraum des Ingenieurs hingewiesen. Der Ingenieur PIER LUIGI NERVI, dessen Bauten auch von ARNHEIM als hervorragende Beispiele dynamischen Ausdrucks erwähnt werden, widmet in [24] ein eigenes Kapitel der konstruktiven Freiheit, die auch ein Ingenieur in seinem angelernten Wissensspektrum in Anspruch nehmen kann. Die daraus entstehende Gestaltungsverantwortung darf der Ingenieur als Chance wissen, gestalterisch in das Baugeschehen einzuwirken. Eine Beschäftigung mit der Form und ihrem visuellen Ausdruck ist deshalb dringend notwendig und sollte auch in den Lehrplänen des angehenden Brückenbauingenieurs stets Berücksichtigung finden.

## Literatur

- [1] SEYLER, A.: *Wahrnehmen und Falschnehmen – Praxis der Gestaltpsychologie*. Anabas-Verlag, 2003, S. 108.
- [2] LIPPS, T.: *Raumästhetik und geometrisch-optische Täuschungen*. E. J. Bonset, 1966, Nachdruck der Ausgabe Leipzig, 1897.
- [3] KLEISER, M.: *Formlogik an Brücken Teil 1 – Überlegungen zur authentischen Formbildung von integralen Brückenelementen*. Bautechnik 93 (2016), H. 2, S. 49–58.
- [4] KLEISER, M.: *Formlogik an Brücken Teil 2 – Überlegungen zur authentischen Formbildung von fugenlosen Stützenanschlüssen*. Bautechnik 94 (2017), H. 2, S. 83–92.
- [5] JESBERG, P.: *Bauen zwischen Gesetz und Freiheit*. Friedr. Vieweg & Sohn, 1987, S. 9.
- [6] BILLINGTON, D. P.: *Robert Maillart und die Kunst des Stahlbetonbaus*. Verlag für Architektur Artemis, Zürich und München, 1990, S. 122.
- [7] GRÜTTER, J. K.: *Grundlagen der Architekturwahrnehmung*. Springer Vieweg Verlag, 2015, S. 195.
- [8] ARNHEIM, R.: *Kunst und Sehen – Eine Psychologie des schöpferischen Auges*. Überarbeitete Version der Originalausgabe „Art and Visual Perception – A psychology of the creative eye“ aus 1974, de Gruyter, Berlin, New York, 2000.
- [9] WERSIN, W. v.: *Das Buch vom Rechteck*. Otto Maier Verlag Ravensburg, 1956.
- [10] BÖTTICHER, K.: *Die Tektonik der Hellenen*. Potsdam, 1852, S. XV.

- [11] WALRAVEN, J. C.: *Neue Entwicklungen im Brückenbau in den Niederlanden*. Aus dem Tagungsband des Internationalen Brückenbausymposiums, Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Massivbau, 2003.
- [12] ARNHEIM, R.: *Die Macht der Mitte*. DuMont Buchverlag, Köln, 1996, S. 28ff.
- [13] ARNHEIM, R.: *Die Dynamik der architektonischen Form*. DuMont Buchverlag, Köln, 1980.
- [14] KÖSTER, B.: *2600 Jahre klassische Architektur*. Reimer Verlag, 2011, S. 247.
- [15] LEONHARDT, F.: *Brücken – Ästhetik und Gestaltung*. Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart, 1982, S. 44.
- [16] MENN, C.: *Stahlbetonbrücken*. Springer Verlag, Wien, New York, 1986, S. 86.
- [17] PAUSER, A.: *Massivbrücken – ganzheitlich betrachtet*. Österreichische Zementindustrie, Österreichische Vereinigung für Beton und Bautechnik, Wien, 2002.
- [18] TIEDJE, W.: *Formprobleme im Brückenbau*. Karl Krämer Verlag Stuttgart, 1966, S. 10.
- [19] NEUTRA, R.: *Wenn wir weiterleben wollen ... – Erfahrungen und Forderungen eines Architekten*. Claasen Verlag Hamburg, 1956, S. 73.
- [20] TORROJA E.: *Logik der Form*. Verlag Georg D.W. Callwey, München, 1961, S. 254.
- [21] SCHÜLLER M.: *Konzeptionelles Entwerfen und Konstruieren von Integralen Betonbrücken*. Beton- und Stahlbetonbau 99 (2004), H. 10, S. 774–789.
- [22] MATTHECK, C.: *Design in der Natur – der Baum als Lehrmeister*. Rombach Verlag, 3. Auflage, 1998.
- [23] KLEISER, M.: *Formentwicklung einfeldriger Rahmenüberführungen anhand statisch-konstruktiver Überlegungen*. Beton- und Stahlbetonbau 112 (2017), H. 5, S. 272–281.
- [24] NERVI, P. L.: *Structures*. F.W. Dodge Corporation, New York, 1956.

### Anmerkung

Dieser Aufsatz entstand aus einer Eigenrecherche des Autors, die unter anderem in den Bibliotheken des Instituts für Tragkonstruktionen – Betonbau der Technischen Universität Wien durchgeführt worden ist. Die Inhalte des Beitrags stellen ausschließlich die persönliche Meinung des Autors dar. Ansprüche gegenüber der ASFINAG sind dadurch nicht ableitbar.

### Autor



Dipl.-Ing. Michael Kleiser  
c/o ASFINAG Baumanagement GmbH  
Modecenterstraße 16  
1030 Wien  
michael.kleiser@asfinag.at

## 8 Resümee

Infrastrukturbauten und insbesondere Brücken sind heute oft auf das zweckmäßig Erforderliche und ausführungstechnisch Vorteilhafte reduziert. Gestaltungsmaßnahmen, sofern überhaupt erwogen, werden häufig mit übergeworfenen Konzepten durchgeführt. Die Trennung der Konstruktion zur „Technikform“ und der Komposition zur „Kunstform“ und somit die Spaltung der Aufgabenbereiche des Ingenieurs und des Architekten sind weithin erkennbar [Meissner 2015].

Die Form einer Brücke steht jedoch seit jeher im unmittelbaren Zusammenhang mit ihrer Funktion und kann durch ihren inhärenten Ausdruck gestalterisch überzeugen, wie schon der Architekt Friedrich Tamm näher erläuterte: „Die dafür notwendige Konstruktion ist in sich selbst alles, was erforderlich ist, und somit das einzige Mittel, um einen baulichen Ausdruck zu erreichen“ (zitiert in [May 2011, S. 28]). Nicht nur, dass zusätzliche Gestaltungsmaßnahmen dadurch entbehrlich werden, wird das Ziel einer zweckbestimmten und wirtschaftlichen Infrastruktur verfolgt.

Für die primäre Funktion von Brücken als Ausdruck des „Überspannens“ eines Hindernisses von A nach B wird das statische Tragverhalten herangezogen. Aus diesem Grund ist der Ingenieur als federführender Planer gefordert, das Tragverhalten in einer adäquaten Form darzustellen, da für diese gestaltende Aufgabe ein Beherrschen der Statik Voraussetzung ist. Zur Umsetzung einer konstruktiven Gestaltfindung werden ihm Hilfestellungen durch eine streng einzuhaltende Formlogik als Authentizitätsbezug und einer optionalen, freiwillig anzuwendenden Formdynamik für eine Steigerung des Formausdrucks aufbereitet. Als Übersicht der Vorgangsweise wird ihm die Pyramide des Formausdrucks als Stufenschema zur Verfügung gestellt.

Integrale Betonbrücken werden besonders in den Mittelpunkt gestellt, da dort die meisten Fehlentwicklungen in der Formbildung zu beobachten sind. Mit Überlegungen zu einer der Funktion entsprechenden Formlogik werden in den ersten zwei wissenschaftlichen Aufsätzen das Brückenende und der biegesteife Stützenanschluss behandelt. Dabei werden praxisnahe Vorschläge für Formansätze präsentiert und auf unbedingt zu vermeidende Formkonfigurationen, wie z.B. der Voute in Verbindung mit einer Rundstütze, hingewiesen.

Im dritten und vierten Aufsatz werden die Möglichkeiten von Formlogik durch das ingenieureigene Werkzeug, der Berechnung bzw. durch wahrnehmungspsychologische Effekte für eine ausdrucksverändernde Formdynamik am Beispiel von integralen Überführungsbrücken vorgestellt.

Im Anhang werden zehn ausgeführte Überführungsbrücken und zehn weitere Brücken aus Beton als Anregung für gelungene Formlogik und Formdynamik gezeigt. Einige davon verfügen über das Potential der Formkunst zugerechnet zu werden.

Es wird in dieser Arbeit dargelegt, dass das ingenieurtechnische Wirken im Brückenbau Einfluss auf die Bauwerksästhetik hat. Der Ingenieur ist mit seiner Ausbildung und seinem erlernten Wissen sehr wohl imstande mit dem nötigen Feingefühl aus der Konstruktion eine Formensprache zu entwickeln, die als schön, ausgewogen und ästhetisch empfunden wird. Der Nutzen dieser Gestaltungskraft durch den Prozess der konstruktiven Gestaltfindung birgt ein großes

Potential für die Verbesserung von Infrastrukturprojekten und selbstverständlich für den Ingenieur selbst.

Dafür ist es notwendig, an den entsprechenden Ausbildungsstätten den Gestaltungswillen des Ingenieurs zu fördern und eine ingenieure Denkwiese über seine Kernkompetenz hinaus zu schulen. Nur dort kann eine Veränderung in der Gestaltungspraxis zu einer Vereinigung von „Technikform“ und „Kunstform“ herbeigeführt werden, die sich auch in der gesamten Bauwelt, vom Bauherrn über den Planer bis hin zu den Bauausführenden und letztlich auch in der öffentlichen Akzeptanz niederschlagen wird. Als Vorbild einer interdisziplinären Ausbildung darf Großbritannien gelten, wo zumindest elf Studienlehrgänge des Bauingenieurwesens mit einer kombinierten künstlerischen bzw. architektonischen Ausbildung angeboten werden [Smith 2017].

Es ist jedoch nicht nur ein Umdenken in der Lehre und Praxis eines Ingenieurs notwendig, sondern auch beim Bauherrn, sowie in den Abläufen der Bauplanung und Bauausführung. Heute wird meistens für Vertragsverhandlungen, Bietergespräche und Begutachtungen von Firmenalternativen mehr Zeit in Anspruch genommen als für die initiale Entwurfsfindung des Amtsentwurfs selbst. Vergleichsvarianten mit einer gestalterischen Gegenüberstellung werden aus Zeitgründen selten, 3D-Arbeitsmodelle zur visuellen Begutachtung in der Regel nie durchgeführt. Um bessere, ganzheitliche Ergebnisse in der Entwurfsplanung zu erzielen, die auch als Amtsentwurf den Risiken von Firmenalternativen weniger ausgesetzt sind, ist der Entwurfsprozess entscheidend zu verlängern. Es wird empfohlen, dass die Ideenfindung der Konstruktionsform und die Aspekte der Gestaltung auch ständiger Bestandteil eines Technischen Berichts werden sollten, um die initiale Entwurfsidee zu dokumentieren und verteidigen zu können.

Schließlich ist zu erwähnen, dass formlogische und formdynamische Betrachtungen noch für die zukunftssträchtige Bauweise des integralen Fertigteilbaus in Beton, aber auch für den Stahl- und Verbundbau erforderlich sind, um die Thematik rundum abzuschließen. Bezüglich der Anwendung neuer Materialien darf gespannt in die Zukunft geblickt werden, welche Formen aus den Eigenschaften neuer Kompositwerkstoffe, wie z.B. ultrahochfesten Faserbetonen entwickelt werden, die das Wesen des Baustoffs vollends nach außen wiedergeben.

Nicht zuletzt nach Erfahrung des Autors sind auch viele Architekten und Kunstschafernde offen für den Dialog mit gestaltungswilligen Ingenieuren, mit dem gemeinsamen Ziel, die Konstruktion wieder an der ästhetischen Vorstellung Anteil nehmen zu lassen (z.B. [Flury et al. 2010]). Vielleicht gelingt es, Ingenieure dafür zu gewinnen, ihre Scheu abzulegen und die neuen Horizonte ihres Handels zu erkennen.

## Anhang: Konstruktive Gestaltfindung - Beispiele

### A.1 Überführungsbrücken aus Beton

#### A.1.1 Überführungen auf der S6 und A3

Ort: Niederösterreich

Bauherr: Land Niederösterreich



Abbildung A.1-1: Einfache, formlogische Stützenanschlüsse als getrennte Funktionseinheiten.

### A.1.2 Franz-von-Sales Steg über die A23

Ort: Wien  
Bauherr: Stadt Wien, Magistratsabteilung 29  
Baujahr: 1968  
Entwurf: Ingenieurbüro A. Pauser

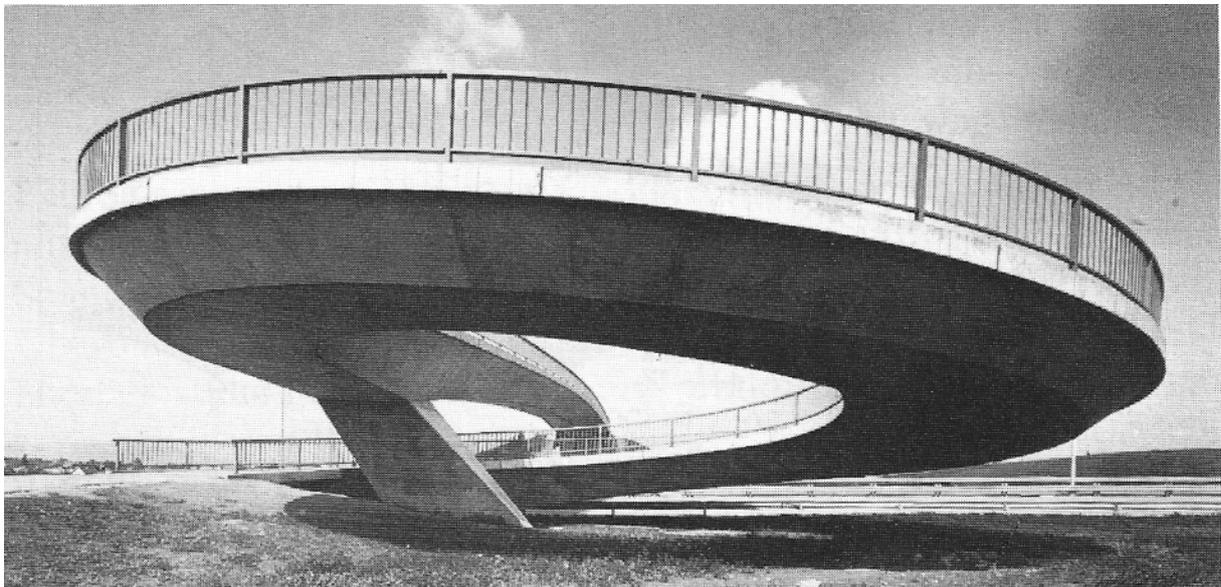


Abbildung A.1-2: Aus Gründen der Setzungsempfindlichkeit wurde nur eine Stütze gewählt. Durch dessen Schrägstellung wird Spannung erzeugt, aber auch eine weitgehende Balance zur auskragenden Wendel gefunden. Frühere Fotografie aus [Pauser 1987] | © Foto Gerlach

### A.1.3 Überführung über die A2

Ort: Loipersdorf, Burgenland  
Bauherr: ASFINAG  
Baujahr: 1985  
Entwurf: Ingenieurbüro A. Pauser



Abbildung A.1-3: Die kraftflussorientierte Ausformung der Platte zu den Streben einschließlich der Sichtkante zeugen von hoher individueller Qualität.

### A.1.4 Überführung über die A1, A001.113

Ort: Kasten, Oberösterreich  
Bauherr: ASFINAG  
Baujahr: 1963  
Entwurf: Ingenieurbüro Wenzel



Abbildung A.1-4: Formlogischer Übergang der Plattenbalken in die Stiele. Hohe dynamische Ausdruckskraft durch die Schrägstellung, Ausrundung und der leichten Beugung der Stiele. Leider vermindern die nachträglich ergänzten Wasserableitungen den Formfluss.

## A.1.5 Überführung über die B37

Ort: Großmotten, Niederösterreich  
Bauherr: Land Niederösterreich  
Baujahr: 1996  
Entwurf: Ingenieurbüro Kidery



Abbildung A.1-5: Die Rahmenwirkung wird durch den Versatz zu den Widerlagerflügeln in der Form abgebildet.

## A.1.6 Überführung A5.Ü20

Ort: Wilfersdorf, Niederösterreich  
Bauherr: ASFINAG  
Baujahr: 2017 (derzeit noch in Bau)  
Entwurf: ASFINAG, Öhlinger und Partner



Abbildung A.1-6: Hohe Dynamik durch Schrägstiele und verschnittene konvexe und konkave Krümmungen im Überbau.

### A.1.7 Überführung über die A1, A001.118

Ort: Schörfling, Oberösterreich  
Bauherr: ASFINAG  
Baujahr: 2009  
Entwurf: Kirsch Muchitsch & Partner



Abbildung A.1-7: Verbundrahmen mit einer expressiven Rahmeneckausbildung. Das statische System wird in der Form exakt wiedergespiegelt.

## A.1.8 Überführung über die B10, Anschlussstelle Öde

Ort: Göppingen, Deutschland  
Bauherr: Stadt Göppingen  
Baujahr: 2008  
Entwurf: Leonhardt Andrä und Partner

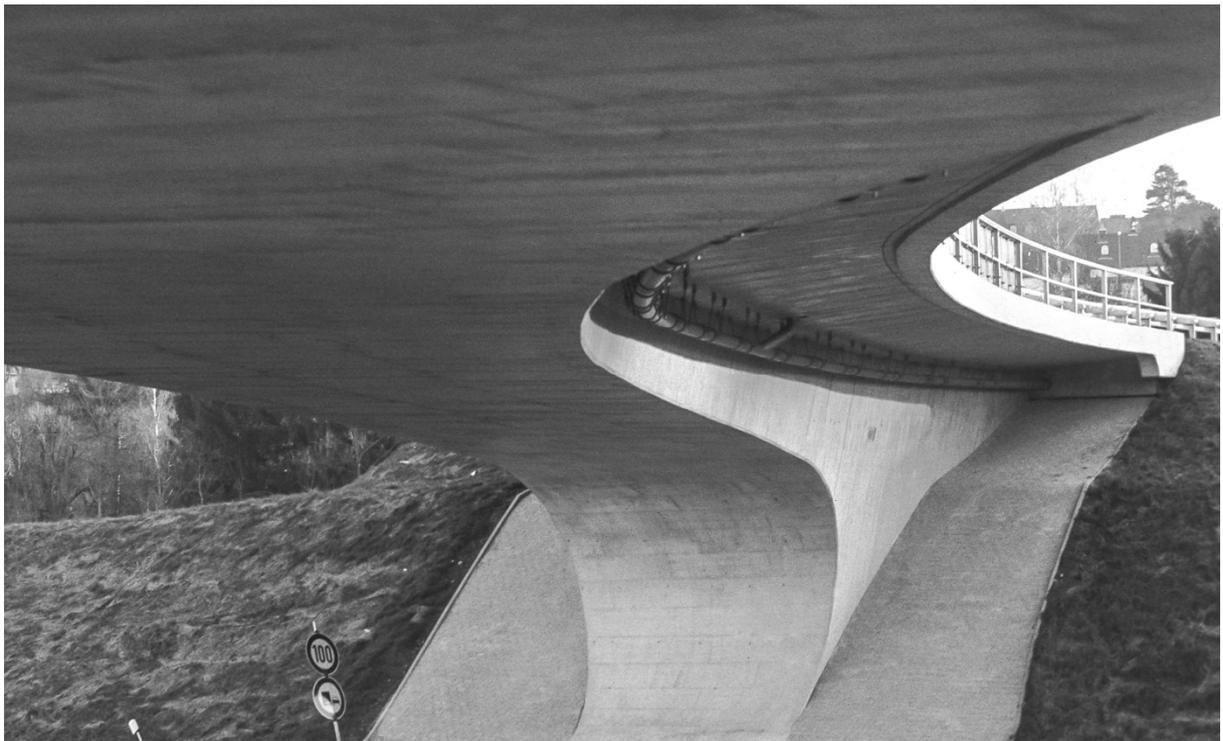


Abbildung A.1-8: Hoher dynamischer Ausdruck durch Krümmungen im Grundriss und der Ansicht | © Leonhardt, Andrä und Partner.

## A.1.9 Brücke über die Auerbachstraße

Ort: Stuttgart  
Bauherr: Stadt Stuttgart  
Baujahr: 2003  
Entwurf: Schlaich Bergermann und Partner

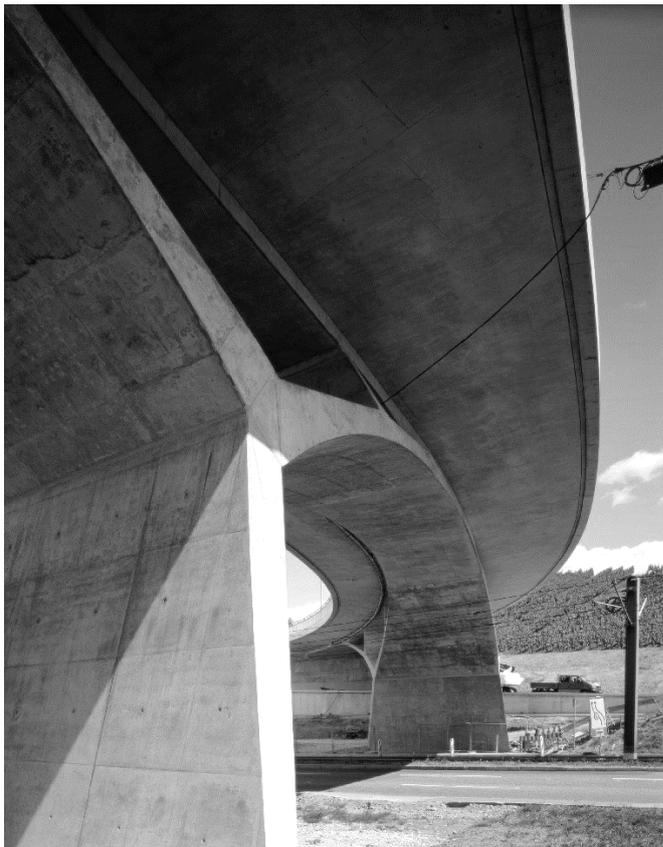


Abbildung A.1-9: Integrales, im Grundriss doppelgekrümmtes Bauwerk. Nahtloser Übergang vom Überbau in die Pfeiler als deutlich hervorgehobene Funktionseinheit. | © sbp/Gert Elsner

### A.1.10 Überführung über die R3508 bei Olmütz

Ort: Olmütz, Tschechien  
Baujahr: 2007  
Entwurf: Jiri Strasky



Abbildung A.1-10: Spannbandbrücke, bei der die Zug- und Druckelemente sowie der Kraftschluss an den Widerlagern deutlich in der Form herausgezeichnet wurden.

## A.2 Sonstige Brücken aus Beton

### A.2.1 Stützenanschlüsse

Ort: Niederösterreich

Bauherr: Diverse

Entwurf: Diverse

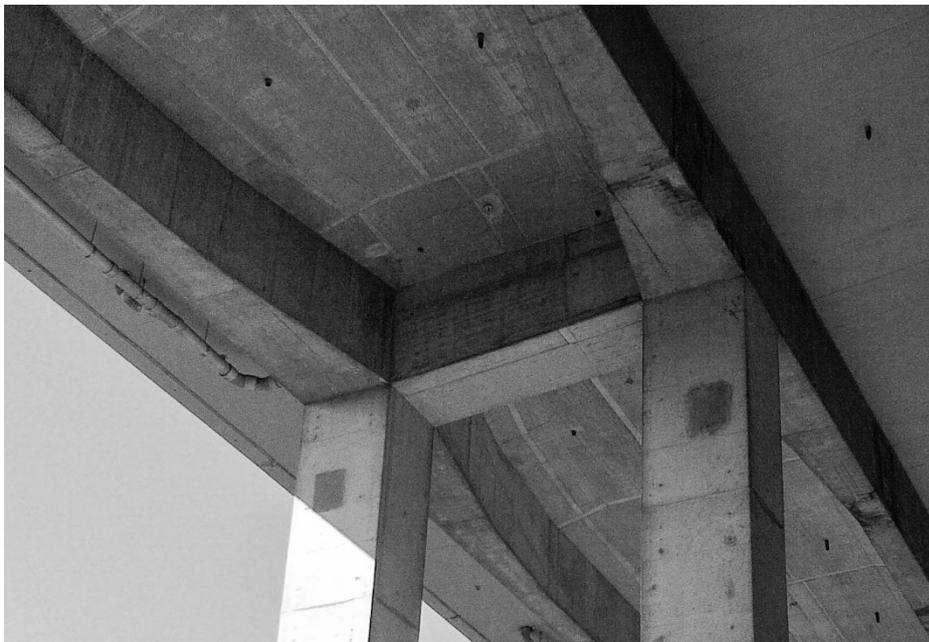
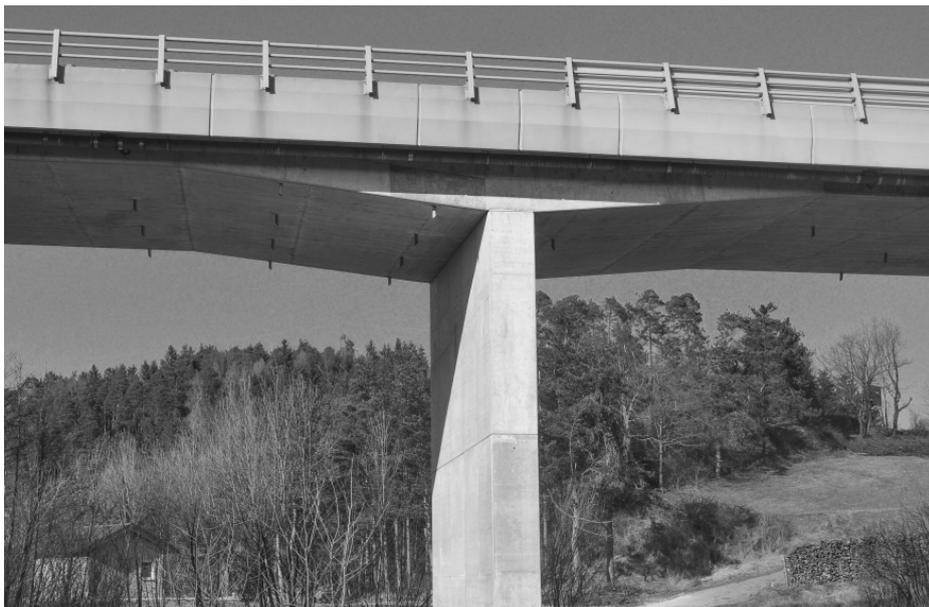


Abbildung A.2-1: Einfache, absatzlose und dadurch formlogische Stützenanschlüsse.

## A.2.2 Rampe über den Altmannsdorfer Ast, B2309

Ort: Wien  
Bauherr: ASFINAG  
Baujahr: 2016  
Entwurf: Ingenieurbüro ste.p



Abbildung A.2-2: Die Stützen der gekrümmten, ca. 120 m langen integrale Brücke wurden absatzlos an die Voute als homogene Funktionseinheit angeschlossen.

### A.2.3 Seitenhafenbrücke

Ort: Wien  
Bauherr: Stadt Wien, Magistratsabteilung 29  
Baujahr: 2011  
Entwurf: Ingenieurbüro PCD, Architekt Holzbauer, Zeininger Architekten



Abbildung A.2-3: In der Form nachvollziehbarer Kraftfluss durch Auflösung der Platte über die Anschlusskonsolen in einen Plattenbalkenquerschnitt (siehe auch Kapitel 7.2).

## A.2.4 Entflechtungsbauwerk Knoten Prater

Ort: Wien  
Bauherr: ASFINAG  
Baujahr: 2016  
Entwurf: Ingenieurbüro ste.p, Architekt Wallmann, ASFINAG



Abbildung A.2-4: Gekrümmter Hohlkasten mit V-förmiger Aufständerung als getrennte Funktionseinheit: Die steileren Stiele sind breiter gewählt, um dort Horizontalkräfte aus z.B. Erdbeben abzutragen.

## A.2.5 Brücke über den Satzengraben A5.24

Ort: Wilfersdorf, Niederösterreich  
Bauherr: ASFINAG  
Baujahr: 2017 (derzeit noch in Bau)  
Entwurf: Ingenieurbüro FCP, ASFINAG

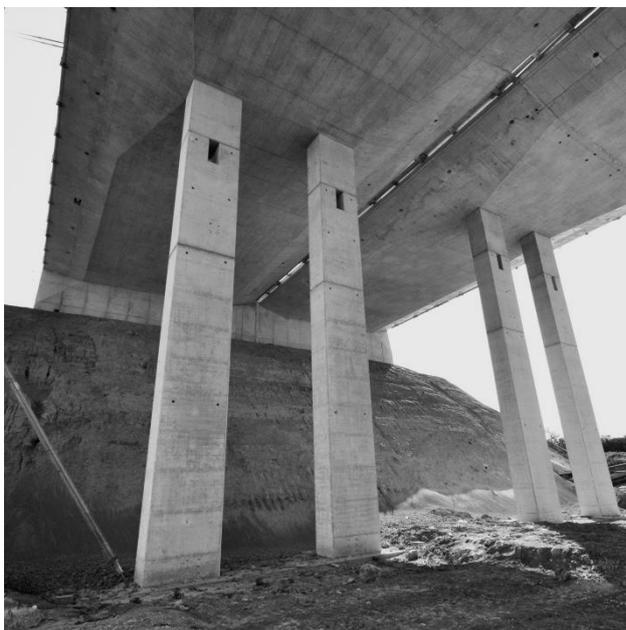


Abbildung A.2-5: Die formale Ausbildung der derzeit längsten geraden integralen Brücke Österreichs wurde mit einem gevouteten Trapezquerschnitt gelöst, der sich in den Widerlagern fortsetzt.

## A.2.6 Huyck-Brücke

Ort: Gloggnitz, Niederösterreich  
Bauherr: Österreichische Bundesbahnen  
Baujahr: 2013  
Entwurf: Ingenieurbüro PCD, ÖBB



Abbildung A.2-6: Der vorgespannte Trogquerschnitt spannt über 40 m als zusammenhängende Funktionseinheit über den Fluss Schwarza. Die Gurtoberflächen sind abgeschrägt, um ein Befahren zu verhindern.

## A.2.7 Traunbrücke AL 19 „Die Welle“

Ort: Linz Ebelsberg  
Bauherr: Österreichische Bundesbahnen  
Baujahr: 2004  
Entwurf: Erhard Kargel



Abbildung A.2-7: Formgebung in Anlehnung an den Biegemomentenverlauf. Durch das dynamische „Eindrücken“ wird das Brückengewicht an den Auflagerpunkten deutlich. | © Erhard Kargel

## A.2.8 Mainbachtalbrücke

Ort: Nürnberg, Nordbayern  
Bauherr: Deutsche Bahn  
Baujahr: 1999  
Entwurf: ssf Ingenieure



Abbildung A.2-8: Exzellente formale Ausbildung des Rahmenecks und der Stützeinspannung als werkstoffgemäßes Pendant zur Natursteinbrücke nebenan. | © ssf

## A.2.9 Sunniberg Brücke

Ort: Klosters-Serneus, Graubünden, Schweiz  
Bauherr: Kanton Graubünden  
Baujahr: 1998  
Entwurf: Christian Menn



Abbildung A.2-9: Materialeffiziente und funktionsgerechte Umsetzung der Tragwirkung in der Form. | © Nicolas Janberg, structurae

## A.2.10 Brücke über den Großen Belt

Ort: Fünen, Dänemark  
Bauherr: A/S Storebælt  
Baujahr: 1998  
Entwurf: COWI Consult, Architekt Dissing+Weitling



Abbildung A.2-10: Die Kraftableitung wird in einer schlichten und fein ausformulierten Formensprache wiedergegeben.  
| © Wolfhard Schmidt, structurae

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Automobil um 1920 (links   © goldpix, fotolia) und das Palais des machines in Paris, 1889 (rechts).....	13
Abbildung 2:	Jörg Schlaich, Christian Menn und Alfred Pauser in Innsbruck 2008   © Menn .....	14
Abbildung 3:	Von der Struktur abgesetzte, unabhängige Gestaltung durch Dekoration .....	21
Abbildung 4:	Kaiserbrücke in Mainz (links) und das Bahnhofsgebäude in Köln (rechts) (aus [Jesberg 1996]).....	23
Abbildung 5:	George-Washington Brücke jetzt (links   © rabbit75, fotolia) und ihre ursprüngliche Intention (rechts – aus [Whitney 1929]).....	24
Abbildung 6:	Reine Zwecklösung (links) versus Architekturmonument (rechts   © Mohannad Khatib/flickr) .....	25
Abbildung 7:	Unterschiedliche Bauteilkonfigurationen als Experiment zur Beurteilung des Empfindens von Tragen und Lasten [aus Seyler 2003].....	29
Abbildung 8:	Innbrücke bei Zuoz (links oben) und Brücke über den Rhein bei Tavanasa (links unten und rechts) (aus [Billington 1990])   rechts: © ETH Bibliothek Zürich .....	31
Abbildung 9:	Pyramide des Formausdrucks .....	32
Abbildung 10:	Natürlich entwickelte Strukturen als Vorbilder für Formauthentizität   links © StarfredCreation, fotolia; rechts © creativix, fotolia .....	34
Abbildung 11:	Die klassische Säulenordnung als vollkommene Einheit von Funktion und Form   © zenzaetr, fotolia .....	34
Abbildung 12:	Griechisches Gefäß, 6. Jh. v. Chr.   © Kunsthistorisches Museum Wien.....	36
Abbildung 13:	Verdeutlichung der Torsionseinspannung des Bogens durch die richtige Steifenanordnung [Kleiser et al. 2006] .....	38
Abbildung 14:	Dynamische Wirkungsweisen der dorischen Säulenordnung.....	38
Abbildung 15:	Zusätzliche dynamische Richtungsverstärkung durch die schräge und gekrümmte Zuspitzung .....	39
Abbildung 16:	Entwurf des Eiffelturms in der formlogischen (links) und formdynamischen Form (2.v. links), dynamische Kräfte beim Eiffelturm (2.v. rechts), Kochertalbrücke (rechts   © Fritz Zühlke, pixelio).....	39
Abbildung 17:	Unterschiedliche Ausdrucksmöglichkeiten einer Schrägseilbrücke.....	40
Abbildung 18:	Unterschiedliche Ausdrucksmöglichkeiten einer Überführungsbrücke ..	40
Abbildung 19:	Salginatobelbrücke   © Nicolas Janberg, structurae .....	41
Abbildung 20:	Entwurf einer Brücke über den Fluss Astico durch Sergio Musmeci (aus [Giovannardi 2012]) (oben), die Brücke über den Fluss Basento einschließlich Modell (unten)   © Giovannardi .....	42
Abbildung 21:	Brückenanzahl (links) und Brückenflächen (rechts) abhängig vom Baustoff im Netz der ASFINAG .....	44

Abbildung 22:	Brückenanzahl von Stahlbeton- und Spannbetonbrücken abhängig von der Länge im Netz der ASFINAG .....	45
Abbildung 23:	Zu untersuchenden Detailbereiche der integralen Bauweise .....	46
Abbildung 24:	Musterbrücken von Überführungen im Zuge der Planung der Reichsautobahn (aus [May 2011, S. 547]).....	47
Abbildung 25:	Gegenüberstellung von Überführungsvarianten und deren Wirkung (aus [Tiedje 1966]) .....	48
Abbildung A.1-1:	Einfache, formlogische Stützenanschlüsse als getrennte Funktionseinheiten.....	103
Abbildung A.1-2:	Aus Gründen der Setzungsempfindlichkeit wurde nur eine Stütze gewählt. Durch dessen Schrägstellung wird Spannung erzeugt, aber auch eine weitgehende Balance zur auskragenden Wendel gefunden. Frühere Fotografie aus [Pauser 1987]   © Foto Gerlach .....	104
Abbildung A.1-3:	Die kraftflussorientierte Ausformung der Platte zu den Streben einschließlich der Sichtkante zeugen von hoher individueller Qualität. ....	105
Abbildung A.1-4:	Formlogischer Übergang der Plattenbalken in die Stiele. Hohe dynamische Ausdruckskraft durch die Schrägstellung, Ausrundung und der leichten Beugung der Stiele. Leider vermindern die nachträglich ergänzten Wasserableitungen den Formfluss. ....	106
Abbildung A.1-5:	Die Rahmenwirkung wird durch den Versatz zu den Widerlagerflügeln in der Form abgebildet.....	107
Abbildung A.1-6:	Hohe Dynamik durch Schrägstiele und verschnittene konvexe und konkave Krümmungen im Überbau.....	108
Abbildung A.1-7:	Verbundrahmen mit einer expressiven Rahmeneckausbildung. Das statische System wird in der Form exakt widergespiegelt.....	109
Abbildung A.1-8:	Hoher dynamischer Ausdruck durch Krümmungen im Grundriss und der Ansicht   © Leonhardt, Andrä und Partner. ....	110
Abbildung A.1-9:	Integrales, im Grundriss doppelgekrümmtes Bauwerk. Nahtloser Übergang vom Überbau in die Pfeiler als deutlich hervorgehobene Funktionseinheit.   © sbp/Gert Elsner.....	111
Abbildung A.1-10:	Spannbandbrücke, bei der die Zug- und Druckelemente sowie der Kraftschluss an den Widerlagern deutlich in der Form herauszeichnet wurden. ....	112
Abbildung A.2-1:	Einfache, absatzlose und dadurch formlogische Stützenanschlüsse.....	113
Abbildung A.2-2:	Die Stützen der gekrümmten, ca. 120 m langen integrale Brücke wurden absatzlos an die Voute als homogene Funktionseinheit angeschlossen. ....	114
Abbildung A.2-3:	In der Form nachvollziehbarer Kraftfluss durch Auflösung der Platte über die Anschlusskonsolen in einen Plattenbalkenquerschnitt (siehe auch Kapitel 7.2). ....	115
Abbildung A.2-4:	Gekrümmter Hohlkasten mit V-förmiger Aufständigung als getrennte Funktionseinheit: Die steileren Stiele sind breiter gewählt, um dort Horizontalkräfte aus z.B. Erdbeben abzutragen. ....	116

- Abbildung A.2-5: Die formale Ausbildung der derzeit längsten geraden integralen Brücke Österreichs wurde mit einem gevouteten Trapezquerschnitt gelöst, der sich in den Widerlagern fortsetzt. .... 117
- Abbildung A.2-6: Der vorgespannte Trogquerschnitt spannt über 40 m als zusammenhängende Funktionseinheit über den Fluss Schwarza. Die Gurtoberflächen sind abgeschrägt, um ein Befahren zu verhindern..... 118
- Abbildung A.2-7: Formgebung in Anlehnung an den Biegemomentenverlauf. Durch das dynamische „Eindrücken“ wird das Brückengewicht an den Auflagerpunkten deutlich. | © Erhard Kargel..... 119
- Abbildung A.2-8: Exzellente formale Ausbildung des Rahmenecks und der Stützeinspannung als werkstoffgemäßes Pendant zur Natursteinbrücke nebenan. | © ssf..... 120
- Abbildung A.2-9: Materialeffiziente und funktionsgerechte Umsetzung der Tragwirkung in der Form. | © Nicolas Janberg, structurae ..... 121
- Abbildung A.2-10: Die Kraftableitung wird in einer schlichten und fein ausformulierten Formensprache wiedergegeben. | © Wolfhard Schmidt, structurae ..... 122

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht über Aussagen zu den Entwurfszielen im Bauwesen bzw. im Brücken- und Ingenieurbau .....	19
Tabelle 2:	Gegenüberstellung einiger Kriterienkataloge aus der Literatur, die sich auf Brückenästhetik beziehen .....	28

## Literaturverzeichnis

**ASTRA (2011):** Konstruktive Einzelheiten von Brücken, Kapitel 3: Brückenende. Bundesamt für Straßen, Richtlinie, 2011

**Ammann, W. (1998):** Baustilkunde. Band 2: Vom Klassizismus bis heute, Benteli Verlag Bern, 4., verbesserte Auflage

**Ammann, W. (2001):** Baustilkunde. Band 1: Griechische Baukunst bis Rokoko, Benteli Verlag Bern, 11. Auflage

**Arnheim, R. (1980):** Die Dynamik der architektonischen Form. DuMont Buchverlag, Köln

**Arnheim, R. (1996):** Die Macht der Mitte. Titel der Originalausgabe: „The power of the center.“ aus 1988, DuMont Buchverlag, Köln

**Arnheim, R. (2000):** Kunst und Sehen – Eine Psychologie des schöpferischen Auges. Überarbeitete Version der Originalausgabe „Art and Visual Perception – A psychology of the creative eye“ aus 1974, de Gruyter, Berlin, New York

**Baumeister, R. (1866):** Architektonische Formenlehre für Ingenieure. Hoffmann'sche Verlags-Buchhandlung, Stuttgart

**Beschorner, K.; Biberschick, P.; Güldner, M.; Klenovec, H.; Kolbitsch, A.; Lahofer, R.; Pauser, M.:** Alfred Pauser zum 60. Geburtstag. Jubiläumsbroschüre, Wien, 1990

**Bill, M. (1949):** Robert Maillart. Verlag für Architektur AG, Erlenbach Zürich

**Billington, D. P. (1990):** Robert Maillart und die Kunst des Stahlbetonbaus. Verlag für Architektur Artemis, Zürich und München

**Billington, D. P. (2014):** Der Turm und die Brücke. Deutsche Übersetzung der Originalausgabe „The Tower and the Bridge“ aus 1983, Ernst und Sohn Verlag, Berlin

**Boaga, G.; Boni B. (1965):** The concrete architecture of Riccardo Morandi. Alec Tiranti, London

**Bonatz, P. (1934):** Die Form der Brücken der Reichsautobahn. In: Die Straße 1

**Bögle, A.; Schmal, B. C. (2004):** Leicht Weit – Light Structures: Jörg Schlaich Rudolf Bergemann. Prestel, München, Berlin, London, New York

**Bötticher, K. (1852):** Die Tektonik der Hellenen. Verlag von Ferdinand Riegel, Potsdam

**BMVIT (2011):** Bundesministerium für Verkehr Innovation und Technologie: Dienstanweisung zur Erarbeitung und Vorlage von Bundesstraßenprojekten („Projektierungsdienstanweisung“), Fassung 2011

**Bradshaw, R. R. (2007):** Structural Elegance. Proceedings, IASS Konferenz, Venedig

**Dicleli, C. (2010):** Zur Geschichte der Gestaltung von Brückenbauten. Bautechnik 87, Heft 10, S. 630-635

**Doczi, G. (1984):** Die Kraft der Grenzen - Harmonische Proportionen in Natur, Kunst und Architektur. Titel der Originalausgabe: „The Power of Limits“ aus 1981, Dianus-Trikont Buchverlag GmbH, München

**Dooley, S. C. (2004):** The Development of Material-Adapted Structural Form. Dissertation, École Polytechnique Fédéral de Lausanne

**Duden (2001):** Das Fremdwörterbuch. Band 5, 7. neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Dudenverlag

**Eberl, G.; Kleiser, M. (2013):** Highway Construction under architectural standards in Austria. CCC-Kongress, Wrocław

**Eibl, J.; Pauser, A.; Schambeck, H.; Schlaich, J.; Stiglat, K.; Walther, R.; Wolff, H.-J.; Zellner, W. (2006):** Zwischenruf: Verantwortung und Ansehen der Bauingenieure – ein Aufruf. Bautechnik 83, Heft 10, S. 737-738

**Eichwalder, B. (2017):** Fugenlose Fahrbahnübergangskonstruktion für lange integrale Brücken. Dissertation an der Technischen Universität Wien, Institut für Tragkonstruktionen, Forschungsbereich für Stahlbeton- und Massivbau

**Eisert, D.; Ruth, J. (2005):** Neue Hilfsmittel zur Bewertung der ganzheitlichen Qualität von Bauwerken. Beton- und Stahlbetonbau 100, Heft 5, S. 426-431

**Emperger, F. (1911):** Handbuch für Eisenbetonbau: Bd Brückenbau, 2. Auflage, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin

**Engelsmann, S.; Schlaich, J.; Schäfer, K. (1999):** Entwerfen und Bemessen von Betonbrücken ohne Fugen und Lager. DaStB, Heft 496, Beuth Verlag

**Eurocode:** Harmonisierte europäische Normen für das Bauwesen, ÖNORMEN EN 1991 bis EN 1999 mit den entsprechenden nationalen Festlegungen, Austria Standards Institute

**Faber, O.; Holden, C.; Inglis, C. E.; Abercrombie, P.; Jellicoe, G. A.; Wadsworth, E. (1945):** The Aesthetic Aspect of Civil Engineering Design. The Institution of civil Engineers, London

**Finsterwalder, R. (2011):** Form Follows Nature. Springer-Verlag, Wien

**Flury, A.; Ehrensperger, L.; Roserens, A. (2010):** Dialog der Konstrukteure. Architekturforum Zürich

**Frank, G.; Frank D. (2008):** Architektonische Qualität. Edition Akzente, Carl Hanser Verlag, München

**FSV (2003):** RVS 15.01.11: Qualitätskriterien für die Planung von Brücken. Forschungsgemeinschaft Straße Schiene Verkehr, Merkblatt

**Giovannardi, F. (2012):** Formen aus Kräften und Spannungen. TEC21, Ausgabe 18

**Grütter, J. K. (2015):** Grundlagen der Architekturwahrnehmung. Springer Vieweg Verlag, Wiesbaden

- Hartmann, F. (1928):** Ästhetik im Brückenbau. Franz Deuticke Verlag, Leipzig, Wien
- Holgate, A. (1997):** The Art of Structural Engineering. Edition Axel Menges, Stuttgart/London
- Hoshino, K. (1972):** Gestaltung von Brücken. Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart
- Iori, T.; Poretti, S. (2009):** The Golden Age of „Italian Style“ Engineering. Proceedings of the Third International Congress on Construction History, Cottbus
- Jesberg, P. (1987):** Vom Bauen zwischen Gesetz und Freiheit. Friedr. Vieweg&Sohn, Braunschweig/Wiesbaden
- Jesberg, P. (1996):** Die Geschichte der Ingenieurbaukunst aus dem Geist des Humanismus. Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart
- Jormakka, K.:** Geschichte der Architekturtheorie. Edition selene, 3. Auflage, 2007
- Kleiser, M.; Foller, G. (2006):** Structural and Aesthetic Challenges – A 3-Arch Footbridge in Vienna. Proceedings, SECON, Dubrovnik
- Kleiser, M. (2016):** Formlogik an Brücken Teil 1 - Überlegungen zur authentischen Formbildung von integralen Brückenenden. Bautechnik 93, Heft 2, S. 49-58
- Kleiser, M. (2017a):** Formlogik an Brücken Teil 2 - Überlegungen zur authentischen Formbildung von fugenlosen Stützenanschlüssen. Bautechnik 94, Heft 2, S. 83-92
- Kleiser, M. (2017b):** Formentwicklung einfeldriger Rahmenüberführungen anhand statisch-konstruktiver Überlegungen. Beton- und Stahlbetonbau 112, Heft 5, S. 272-281
- Kleiser, M. (2017c):** Formdynamik an Überführungsbrücken. Beton- und Stahlbetonbau 112, Heft 7, S. 402-411
- Kühn, C. (1998):** Stilverzicht. Bauwelt Fundamente 116, Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden
- Kunsmann, J. (2015):** Brücken schlagen - Neue Namen für eine anonyme Architektur. Bau-netzwoche#409, Ausgabe April
- Kultermann, U. (1959):** Dynamische Architektur. Lucas Cranach Verlag, München
- Le Corbusier (1964):** When the Cathedrals Were White. Titel der Originalausgabe: “Quand les cathédrales étaient blanches” aus 1937, McGraw-Hill Book Company, New York, Toronto, London, Paperback edition
- Le Corbusier (1969):** Ausblick auf eine Architektur. Titel der Originalausgabe: “Vers une architecture” aus 1922, Bauwelt Fundamente, Bertelsmann Fachverlag, Gütersloh/Berlin
- Le Corbusier (1986):** Towards a New Architecture. Ungekürzte und unveränderte Wiederauflage der Originalausgabe aus 1931, Dover Publications, Inc., New York
- Leonhardt, F. (1982):** Brücken - Bridges. Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart
- Lipps, T. (1966):** Raumästhetik und geometrisch-optische Täuschungen. Nachdruck der Ausgabe Leipzig aus 1897, E. J. Bonset, Amsterdam

- Lux, J. A. (1910):** Ingenieurästhetik. Verlag von Gustav Lammers, München
- Mattheck, C. (1998):** Design in der Natur – der Baum als Lehrmeister. Rombach Verlag, 3. Auflage
- May, R. (2011):** Pontifex Maximus - der Architekt Paul Bonatz und die Brücken. MV-Wissenschaft, Münster
- Meissner, I. (2015):** Schönheit und Konstruktion. BDA-Informationen 3.15 zum Thema „Schön“, Bund deutscher Architekten, Landesverband Bayern
- Menn, C. (1986):** Stahlbetonbrücken. Springer Verlag, Wien, New York
- Menn, C. (2008):** Überlegungen beim Entwurf von Brücken am Beispiel von Bogen- und Hängbrücken. Aus dem Tagungsband des Festkolloquiums zum 75. Geburtstag Prof. Manfred Wicke, Technische Universität Innsbruck
- Naredi-Rainer, P. v. (1999):** Architektur und Harmonie: Zahl, Maß und Proportion in der abendländischen Baukunst. DuMont, 6. überarbeitete Auflage, Köln
- Nervi, P. L. (1956):** Structures. Titel der Originalausgabe: „Construire Correttamente“ aus 1955, F. W. Dodge Corporation, New York
- Nervi, P. L. (1965):** Aesthetics and technology in building. Cambridge, Mass.
- Oechslin, W. (1994):** Stilhülse und Kern. gta Verlag, Zürich, Ernst&Sohn, Berlin
- Pahl, J. (1999):** Architekturtheorie des 20. Jahrhunderts. Prestel Verlag, München, London, New York
- Pauser, A. (1987):** Entwicklungsgeschichte des Massivbrückenbaues. Österreichischer Betonverein, Wien
- Pauser, A. (2002):** Massivbrücken – ganzheitlich betrachtet. Verlag Bau und Technik, Wien
- Pauser, A. (2007):** Eisenbeton in der ersten Jahrhunderthälfte. Beitrag in „100 Jahre Beton- und Bautechnik – Vom Beton-Eisen zum Spannbeton“, Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, Wien
- Poerschke, U. (2014):** Funktionen und Formen – Architekturtheorie der Moderne. Transcript Verlag, Bielefeld
- Pötzl, M.; Schlaich, J.; Schäfer, K. (1996):** Grundlagen für den Entwurf, die Berechnung und konstruktive Durchbildung von lager- und fugenloser Brücken. DaStB, Heft 461, Beuth Verlag
- Resch, F. (2010):** Integrale Brücke – Ein Kostenvergleich über den Lebenszyklus mit konventionellen Brücken, Technische Universität Wien, Diplomarbeit
- Rukwied, H. (1933):** Brückenästhetik. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin
- Schaechterle, K.; Leonhardt, F. (1937):** Die Gestaltung der Brücken. Volk und Reich Verlag, Berlin

- Schlaich, J. (2000):** Der Bauingenieur und die Baukultur. Schriftenreihe der Stiftung Bauwesen zu „Der Bauingenieur und die Gesellschaft“, Heft 6 „Der Bauingenieur und seine kulturelle Verantwortung“, Stuttgart
- Schlaich, J., et. al. (2008):** Leitfaden Gestalten von Eisenbahnbrücken. DB Netze, im Auftrag des Brückenbeirats der DB AG, 1. Auflage
- Schlaich, M. (2015):** Elegant Structures. Proceedings, IABSE Conference, Nara
- Schopenhauer, A. (1986):** Die Welt als Wille und Vorstellung. Band 1, §43, Suhrkamp Verlag, 12. Auflage
- Schulitz, H. C. (2014):** Entfesselung der Architektur. Jovis Verlag, Berlin
- Seyler, A. (2003):** Wahrnehmen und Falschnehmen – Praxis der Gestaltpsychologie. Anabas-Verlag, Frankfurt/Main
- Seyler, A. (2016):** Persönliches Schreiben an den Autor am 20.01.2016, unveröffentlicht
- Smith, P. F. (1981):** Architektur und Ästhetik. Titel der Originalausgabe: „Architecture and the Human Dimension“ aus 1979, Julius Hoffman Verlag, Stuttgart
- Smith, M. (2017):** Transdisciplinary Practice. Proceedings, IABSE Conference, Bath
- Sofistik (2017):** Finite Elemente & CAD Software für den Ingenieurbau. Bruckmannring 38, 85764 Oberschleißheim
- Steiner, M.; Kleiser, M. (2014):** Leitkonzept Gestaltung Brücke. ASFINAG, Version 2.01
- Straub, H. (1992):** Die Geschichte der Bauingenieurkunst. Birkhäuser Verlag, 4. Auflage, Basel, Boston, Berlin
- Svensson, H. (2009):** Was macht Ingenieurbaukunst aus? Beitrag aus „Eisenbahnbrücken - Ingenieurbaukunst und Baukultur“, DVV Media Group/Eurailpress
- Tiedje, W. (1966):** Formprobleme im Brückenbau. Karl Krämer Verlag, Stuttgart
- Torroja, E. (1961):** Logik der Form. Verlag Georg D.W. Callwey, München
- UK Highways Agency (2003):** The Design of Integral Bridges. Design Manual for Roads and Bridges, Volume 1, Section 3, Part 12, BA 42/96 Amendment No. 1
- Venturi, R. (1993):** Komplexität und Widerspruch in der Architektur. Titel der Originalausgabe: „Complexity and Contradiction in Architecture“ aus 1966, Bauwelt Fundamente 50, Nachdruck
- Vischer, F. T. (1852):** Aesthetik oder Wissenschaft des Schönen, 3.1.2: Die Baukunst. Carl Macken Verlagsbuchhandlung, Stuttgart
- Vitruv (1991):** Zehn Bücher über Architektur. Übersetzt und mit Anmerkungen versehen von Curt Fensterbusch, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt
- Vogel, T.; Stempfle, H. (2006):** Untersuchungen zu V-Stiel-Brücken, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich

**Wersin, W. v. (1956):** Das Buch vom Rechteck. Otto Maier Verlag, Ravensburg

**Whitney, C. S. (1929):** Bridges – A Study in their Art, Science and Evolution. William Edwin Rudge, New York

**Ziegler, F. (1985):** Technische Mechanik der festen und flüssigen Körper. Springer-Verlag, Wien, New York

## Begriffserklärung

Einzelne Begriffe werden nochmals in Kurzform nach Verständnis und Verwendung des Autors in der Arbeit erklärt:

- Ästhetik:** Ästhetik wird hierin generell als Begriff der Wahrnehmungsempfindung von Schönheit und Gefälligkeit verwendet. Für den Infrastrukturbau gelten dabei die fundamentalen, unveränderlichen ästhetischen Werte nach Smith [Smith 1981, S. 208]. Stil-, Mode-, und Geschmacksfragen werden in dieser Arbeit bewusst nicht behandelt.
- Ausdruck:** Unter dem Begriff, der in dieser Arbeit auch als „Formausdruck“ verwendet wird, versteht Arnheim die Fähigkeit der visuellen Dynamik, durch Formeneigenschaften die Dynamik menschlichen Erlebens darzustellen [Arnheim 1996, S. 244].
- Authentizität:** Echtheit, Zuverlässigkeit, Glaubwürdigkeit [Duden 2001]. Ein Tragwerk ist authentisch, wenn es schlüssig [Frank et al., S. 137] und wahrhaftig seine zugewiesenen Funktionen nach außen in der Form widerspiegelt. Formauthentisch werden die in der Natur vorhandenen optimierten Formfindungsprozesse empfunden.
- Dynamik:** Im gestaltpsychologischen Kontext: „Die zielgerichtete Spannung, die in visuellen Gegenständen wahrgenommen wird. Träger der Dynamik sind Kräfte (Wahrnehmungskräfte - Anm. Autor), die durch Formen und Anordnungen visueller Gegenstände erzeugt werden“ [Arnheim 1996, S. 244 ff.]. Arnheim verwendet auch den Begriff der Anschauungsdynamik [Arnheim 2000, z.B. S. 418].
- Eleganz:** Eleganz beschreibt Ästhetik im Sinn von Schönheit und Wohlgefälligkeit, verbunden mit dem visuellen Ausdruck der Anstrengungslosigkeit [Schlaich 2015]. Eleganz soll im Bauwesen u.a. das Gefühl der Zweckmäßigkeit und Materialeffizienz vermitteln [Bradshaw 2007].
- Formkunst:** Verwirklichung einer technischen Idee zu einer Form, die eine außergewöhnliche individuelle Ausdrucksstärke der dem Bauteil oder der Bauteilkonfiguration zugewiesenen funktionalen Eigenschaften besitzt.
- Formlogik:** Formlogik ist die folgerichtige Verkörperung der inneren Strukturabsicht, die bei Ingenieurbauwerken wie Brücken mit dem Tragverhalten gleichzusetzen ist, in die äußere, wahrnehmbare Form.
- Formdynamik:** Durch eine Form erzeugte Dynamik (siehe Begriff). Hierin ist der Bereich definiert, wo Ingenieure in ihrem täglichen Tun Formverfeinerungen mit Feingefühl vornehmen können, um den Ausdruck über die Formlogik hinaus bewusst zu steigern.
- Funktion:** Für den Brückenbau kann für die primäre Funktion das Tragverhalten in Anlehnung an Andrea Memmos Funktionsbegriff der „Wirkungsweise der Kräfte in Material und Bauteil, ihre Elastizität und Energie, quasi ihr immanentes Gesetz, ...“ [Poerschke 2014, S. 70]

- herangezogen werden. Daneben haben einzelne Bauteile einer Brücke auch funktional unterschiedliche Grundaufgaben wie z.B. die Kappen und die Flügelwände des Widerlagers zu erfüllen.
- Funktionseinheit:** Einheit aus Bauteilen, die aus statisch-konstruktiven Abhängigkeiten zueinander und ranggleicher funktionaler Grundaufgaben ableitbar ist.
- Gestalt:** Gestalt ist die Ausführung einer Idee, eines wesenhaften Inhalts durch eine zur Übertragung der Idee geeignete Form [Pahl 1999, S. 16]. Lt. Arnheim ist die Gestalt „ein Feld, dessen Kräfte (Wahrnehmungskräfte - Anm. Autor) ein in sich geschlossenes, ausgewogenes Ganzes bilden“ [Arnheim 1996, S. 245].
- Ingeniöse Tätigkeit:** Diese Aufgabe inkludiert neben der Lösung statisch-konstruktiver und funktionaler Problemstellungen im Rahmen einer angemessenen Wirtschaftlichkeit auch die kreativen, erfinderischen und gestaltgebenden Tätigkeiten, ein Bauwerk nicht nur zur Zweck- sondern auch zur Sinnerfüllung aus konstruktiven Denkansätzen heraus zu entwickeln.
- Konstruktive Gestaltfindung:** Der Prozess Form bzw. Gestalt aus einer ingeniösen Tätigkeit zu entwickeln.
- Structural Shaping:** „Shape“ wird im Englischen als Umriss und Übersetzung einer zweidimensionalen Form verwendet, die weder die Dreidimensionalität noch die wesensbezogene Aussage einer „Gestalt“ einschließt. Da es für das Wort „Gestalt“ jedoch kein gleichwertiges englisches Pendant gibt, wird „Structural Shaping“ als direkte Übersetzung für „Konstruktive Gestaltfindung“ definiert.

## Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Dissertation selbständig angefertigt habe. Es wurden nur die in der Arbeit ausdrücklich benannten Quellen und Hilfsmittel benutzt. Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift

## Curriculum Vitae

### Persönliche Daten

Name: Dipl.-Ing. Michael Kleiser  
Geburtsdatum: 1. April 1967  
Geburtsort: Wien, Österreich  
Staatsbürgerschaft: Österreich

### Ausbildung

1981 - 1986: Höhere Technische Lehranstalt, Fachrichtung Tiefbau, Wien  
1987: Bundesheer  
1987 - 1994: Diplomstudium Bauingenieurwesen an der Technische Universität Wien, Zweig: Konstruktiver Ingenieurbau  
2009: Ziviltechnikerprüfung für Bauingenieurwesen  
2013 - 2017: Doktoratsstudium an der Technische Universität Wien

### Forschung

1994 - 1996: Werkvertragsassistent am Institut für Allgemeine Mechanik, Technische Universität Wien  
1995: EU-Forschungsprojekt an der Technischen Universität in Aalborg, Dänemark  
1996 - 1997: Forschungsassistent an der University of California, San Diego, Beziehung eines Gödel-Stipendiums

### Berufslaufbahn

1998 - 2004: Ingenieurbüro Schlaich Bergermann und Partner, Stuttgart  
2004 - 2011: Ingenieurbüro Pauser/PCD ZT GmbH, Wien  
seit 2011: Brückenexperte in der Abteilung für Technik, Innovation und Umwelt, ASFINAG Baumanagement GmbH

### Lehre

2010: Universitätslektor am Institut für Tragwerkslehre und Ingenieurholzbau, Technische Universität Wien  
seit 2014: Lektor an der Fachhochschule FH Campus Wien  
seit 2017: Universitätslektor am Institut für Tragkonstruktionen – Stahlbeton- und Massivbau

### Mitgliedschaften

2008 - 2011: International Association for Shell and Spatial Structures IASS  
seit 2013: Österreichischer Ingenieur- und Architektenverein  
seit 2013: Verein für Ingenieur Baukunst e.V., Berlin

**realisierte  
Brückenentwürfe  
(Auswahl)**

c/o Schlaich Bergermann und Partner:

2002 - 2004: Eisenbahnüberführung und Straßenüberführung Überseestadt Bremen (federführend)

c/o Pauser/PCD:

2005 - 2006: Mauerbachsteg, heute Erich-Arth-Steg, Wien (federführend)

2008 - 2010: U-Bahn Wien, Steg Station Donaustadtbrücke, Wien (federführend)

2008 - 2010: U-Bahn Wien, Tragwerk V, Wien (federführend)

2006 - 2011: Seitenhafenbrücke, Wien (federführend)

2011: Huyckbrücke, Gloggnitz (federführend)

c/o ASFINAG:

2014 - 2016: Erdbergerbrücke Knoten Prater, Wien (mitwirkend)

2014 - 2016: Entflechtungsbauwerk Knoten Prater, Wien (mitwirkend)

2015 - 2017: Integralbrücke A5.24, Wilfersdorf (mitwirkend)

2015 - 2017: Überführungsbrücke A5.Ü20, Wilfersdorf (federführend)