

---

## Kapitel 1

---

# Eine neue Tradition: Kunst im Ingenieurbau

## Eine neue Kunstform

Während die Automatisierung rasant voranschreitet, verfallen unsere Straßen, Brücken und städtischen Bauwerke. Unsere Kinder steuern Computer, während die Erwachsenen sich zwischen Schlaglöchern hindurch schlängeln. Je kühnere Fortschritte die Hochtechnologie erzielt, desto trauriger sieht es mit der bodenständigen Infrastruktur für die Wasserversorgung, den Verkehr oder das Wohnen aus. Zivilisation basiert aber auf Bauwerken, und wenn diese zerfallen, zerfällt trotz aller Hochtechnologie auch unsere Gesellschaft. Wir vergessen gerne, dass Technik gleichermaßen Bauwerke wie Maschinen umfasst und dass Bauwerke ebenso unseren Alltag symbolisieren wie Maschinen unsere private Freiheit. Viel zu oft wird Technik mit Maschinen und Geräten gleichgesetzt – den Werkzeugen, die uns Arbeit abnehmen, unsere Kraft vervielfachen und unsere Mobilität erhöhen. In Wirklichkeit sind die Maschinen aber nur die eine – dynamische – Hälfte der Technik, die notwendig um die zweite – statische – Hälfte ergänzt werden muss: Bauwerke, die uns mit Wasser versorgen, den Verkehr fließen lassen oder in denen wir wohnen können.

Dieses Buch ist der Vorstellung gewidmet, dass Bauwerke, die vergessene Hälfte der modernen Technik, ein Schlüssel für den Aufschwung des öffentlichen Lebens sind. Der renommierte Historiker Raymond Sontag nannte sein Buch über die Zeit zwischen den beiden Weltkriegen *A Broken World* und charakterisierte die beständigen Hoffnungen dieser Zeit in seinem Schlüsselkapitel *The Artist in a Broken World* als „Vision, die gebrochene Welt durch die Einheit von Kunst und Technik zu heilen“. Dabei dachte er an Strömungen wie das vom Unglück verfolgte deutsche Bauhaus, aber er übersah wie alle anderen Historiker die Tatsache, dass eine derartige Einheit bereits lange Zeit existiert hatte. Es war eine Tradition ohne Namen, oft mit Architektur, manchmal auch mit angewandter Wissenschaft verwechselt, gelegentlich sogar fälschlich als *Machine Art* bezeichnet. Es ist die Kunst des Bauingenieurs, die sich am deutlichsten in Brücken, hohen Gebäuden und weitgespannten Dächern manifestiert.

Diese neue Tradition entstand mit der industriellen Revolution und ihrem Material, dem Industrieisen, das wiederum neue Annehmlichkeiten wie beispielsweise die Eisenbahn mit sich brachte. Diese Ereignisse führten direkt zur Entstehung einer neuen Berufsgruppe, die des modernen Ingenieurs, ausgebildet an speziellen Hochschulen, die wiederum eine Reaktion auf die Anforderungen der industriellen Revolution waren.

Diese Entwicklungen sind wohlbekannt und nahezu jedermann wird zustimmen, dass sie die westliche Zivilisation im Verlauf der vergangenen zweihundert Jahre radikal verändert haben. Weniger bekannt ist, dass diese Entwicklungen auch eine neue Kunstform hervorbrachten – ein Werk der Ingenieure und ihrer Vorstellungskraft. Mein Ziel ist in diesem Buch vor allem, diese neue Kunstform zu definieren und zu zeigen, dass manche Ingenieure diese Kunst seit dem späten 18. Jahrhundert bewusst praktizierten, dass sie parallel zur Architektur und vollständig unabhängig von dieser existiert und dass viele Ingenieur-Künstler auch in der Welt des späten 20. Jahrhunderts noch derartige Werke erschaffen. Es ist eine Bewegung, die auf eine Sprache wartet.

## **Die Ideale der *Structural Art***

Obwohl die *Structural Art* dezidiert modern ist, kann man sie nicht einfach als eine weitere Strömung in der modernen Kunst abtun. Dies einerseits deshalb, weil ihre Ideale sich nur wenig verändert haben, seit sie von Thomas Telford im Jahr 1812 erstmals formuliert wurden. Es ist kein Zufall, dass diese Ideale in Gesellschaften entstanden, die mit den Konsequenzen nicht nur industrieller, sondern auch demokratischer Revolutionen rangen. Die Tradition der *Structural Art* ist demokratisch.

In unserem eigenen Zeitalter, in dem die demokratischen Ideale stetig von den Verlockungen totalitärer Gesellschaften herausgefordert werden – sei es von kommunistischer oder faschistischer Seite –, legen die Arbeiten der *Structural Art* Zeugnis ab, dass das Leben immer dann am besten gedeiht, wenn Freiheit und Regeln im Gleichgewicht stehen. Die Regeln der *Structural Art* sind Effizienz und Wirtschaftlichkeit, und ihre Freiheit liegt in den Möglichkeiten, die sie dem Konstrukteur bietet, seinen persönlichen Stil auszudrücken, der aus der bewussten ästhetischen Suche nach Eleganz in seinen Konstruktionen entsteht. Diese drei wegweisenden Ideale der *Structural Art* – Effizienz, Wirtschaftlichkeit und Eleganz –, die ich im Verlauf des Buches erläutern werde, sollen zu Beginn kurz beschrieben werden.

Aufgrund des hohen Preises des neuen Industrieisens mussten die Ingenieure des 19. Jahrhunderts Wege finden, es so effizient wie möglich einzusetzen. Beispielsweise mussten sie für ihre Brücken Konstruktionen ersinnen, die bei minimalem Verbrauch an Metall größere Lasten – Lokomotiven – als jemals zu-

vor tragen konnten. Schon seit dem Beginn der neuen Eisenzeit war daher die erste Anforderung an die Ingenieure, so wenig natürliche Ressourcen wie möglich zu nutzen. Gleichzeitig sollten sie immer größere und längere Bauwerke erschaffen – längere Brücken, höhere Türme und noch weiter gespannte Dächer –, und all dies mit geringerem Materialeinsatz. Sie trieben ihre Konstruktionen an die Grenzen, suchten nach neuen Formen, die leicht waren und dies auch zeigten. Sie begannen, das Eisen zu strecken, dann den Stahl und schließlich den Stahlbeton, genau wie die Konstrukteure des Mittelalters den Stein gestreckt hatten, bis sie die Skelette der gotischen Kathedralen erschaffen hatten.

Nach dem Ideal der Erhaltung der natürlichen Ressourcen entstand das Ideal der Erhaltung der öffentlichen Ressourcen. In Großbritannien, dem Zentrum der frühen *Structural Art*, standen öffentliche Bauten stets unter Beobachtung des Parlaments, private Bauwerke dagegen unter Kontrolle von Aktionären oder Unternehmern. Für die Ingenieure bedeutete das, dass sie neben der Zweckmäßigkeit auch immer die Wirtschaftlichkeit im Auge haben mussten. Was die Öffentlichkeit forderte, war stets mehr Nutzen für weniger Geld. Daraus entstand das Ideal der Erhaltung der öffentlichen Ressourcen. Die großartigen Bauwerke, die ich in diesem Buch beschreiben werde, entstanden nur, weil die Baumeister lernten, sie für weniger Geld zu bauen. Des Weiteren war auch die Zusammenarbeit mit führenden Vertretern aus Politik und Wirtschaft ein entscheidender Teil der Arbeit dieser Künstler. Sie erschufen ihre Werke nicht einsam in einem Labor oder Atelier, sondern unter den rigiden wirtschaftlichen Bedingungen der Baustelle.

Interessanterweise gedieh diese Kunst nicht, wenn die öffentliche Hand oder Unternehmer bewusst entschieden, Bauwerke zu schaffen, bei denen die Kosten zweitrangig waren. Wirtschaftlichkeit war immer eine Voraussetzung für Kreativität in der *Structural Art*. Wieder und wieder werden wir feststellen, dass die besten Konstrukteure unter der Anforderung höchster Wirtschaftlichkeit über sich hinauswuchsen. Manchmal stießen sie auf unvorhergesehene Schwierigkeiten, die zu Kostensteigerungen führten, wenn sie gegen Ende ihrer Laufbahn an die Grenzen ihrer Konstruktionen stießen. Aber ihre Vorstellungen und ihr Stil entwickelten sich immer im Wettbewerb um die geringsten Kosten. Für die *Structural Art* ist Wirtschaftlichkeit nicht Hindernis, sondern Ansporn.

Nun mögen minimaler Materialeinsatz und geringe Kosten notwendig sein, sie reichen aber selbstverständlich nicht aus. Viele hässliche Bauwerke sind die Folge schlichter Planungen, die allzu einfachen Zusammenhängen zwischen Effizienz, Wirtschaftlichkeit und Eleganz folgen. Stattdessen muss ein drittes Ideal hinzukommen, um die finale Gestaltung zu schaffen: die bewusste ästhetische Entscheidung des Ingenieurs. Es ist ein wichtiges Ziel dieses Buches, den Spielraum aufzuzeigen, den Ingenieure haben, um ihren persönlichen Stil auszudrücken, ohne die Ideale der Effizienz und der Wirtschaftlichkeit zu verletzen. Seit Telfords Essay über Brücken aus dem Jahr 1812 sind sich die Ingenieur-Künstler

der ästhetischen Ideale bewusst, die ihre Arbeiten leiten, und schrieben sie auch nieder. Die Tradition der *Structural Art* wurde daher ebenso verbal wie visuell geformt. Die Grundsätze der neuen Kunstform waren demnach Effizienz (geringer Materialeinsatz), Wirtschaftlichkeit (geringe Kosten) und Eleganz (maximale ästhetische Wirkung). Das sind die Grundsätze, die der modernen Zivilisation zu Grunde liegen.

Zivilisation bedarf des bürgerlichen oder städtischen Lebens, und das städtische Leben entwickelt sich in und um Bauwerke: für die Wasserversorgung, den Verkehr und Wohnungen. Die Qualität des öffentlichen städtischen Lebens bemisst sich daher nach der Qualität öffentlicher Bauwerke, wie z. B. der Aquädukte, Brücken, Türme, Terminals oder Konferenzgebäude: nach der Effizienz ihrer Gestaltung, der Wirtschaftlichkeit ihrer Konstruktion und der Eleganz ihrer Formen. Im besten Fall erfüllen die Bauten ihre Funktionen zuverlässig, kosten die Öffentlichkeit wenig Geld und werden – wenn sie ansprechend gestaltet sind – zu Kunstwerken. Aber leider ist unsere moderne Welt voll mit Bauwerken, die fehlerhaft, kostspielig und überdies unfassbar hässlich sind.

Das muss nicht sein. Wenn die Öffentlichkeit und die Ingenieure die Reichweite und das Potenzial der *Structural Art* erkennen, können die Bauwerke des späten 20. Jahrhunderts effizienter, wirtschaftlicher und eleganter sein als jemals zuvor.

## **Die Geschichte der *Structural Art***

Ich werde das Potenzial der *Structural Art* anhand ihrer Geschichte erläutern und habe das Buch aus diesem Grund in zwei Teile geteilt, die die beiden wesentlichen geschichtlichen Perioden der *Structural Art* reflektieren. Der erste Teil spürt der Geschichte der *Structural Art* bis zur Vollendung des Eiffelturms nach, dem letzten großen Bauwerk aus Eisen. Der zweite Teil ist dem Einsatz von Stahl und Beton gewidmet und schließt mit einer Reihe von Bauten aus dem späten 20. Jahrhundert. Unsere Reise durch die Geschichte beginnt in Großbritannien gegen Ende des 18. Jahrhunderts. Wir können hier erkennen, wie die Entstehung neuer Formen direkt mit der Anwendung neuer Materialien als Reaktion auf die von der Industrialisierung aufgeworfenen Transportprobleme zusammenhängt. Die Verkehrswege – Kanäle, Straßen und Eisenbahnen – beschleunigten die technische Entwicklung und führten zu Urbanisierung und weiteren industriellen Veränderungen. Weil die Städte beengter wurden, wuchsen die Bürogebäude in die Höhe und Bahnhöfe und Brücken mit gewaltigen Ausmaßen wurden wirtschaftlich realisierbar.

Der zweite Abschnitt der *Structural Art* begann in den 1880er Jahren mit dem Sinken der Stahlpreise und der Entwicklung des Stahlbetons. Die Ingenieure begannen schnell, mit diesen neuen Materialien und entsprechenden neuen For-



men zu experimentieren, sodass noch vor der Katastrophe von 1914 in einem schwindelerregenden Tempo eine unglaubliche Vielfalt von Gebäuden entstand. Ihre Reife erreichten diese neuen Formen in Stahl und Beton jedoch erst später, als die westliche Zivilisation von wirtschaftlicher Blüte durch Wirtschaftskrise und Inflation vom Ersten in den Zweiten Weltkrieg taumelte. Während dieser Zeit versprachen Bewegungen in Kunst und Architektur Lösungen für den Verfall der Städte, wobei sie jeweils entweder die Gefahren oder die Verheißungen der Technik betonten.

Die bekannteste dieser Bewegungen war das deutsche Bauhaus mit seinem Ziel, „die Verklavung des Menschen durch die Maschine zu verhindern“, indem es Architektur und maschinelle Produktion zusammenführte und den Künstler ebenso von der Kunst um der Kunst willen befreien wollte wie den Geschäftsmann vom Geschäftemachen als Selbstzweck.<sup>2</sup> In den Worten des Bauhausgründers Walter Gropius sollte der Architekt der Zukunft ein „koordinierender Organisator sein, dessen Aufgabe es ist, alle formalen, technischen, soziologischen und wirtschaftlichen Probleme zu lösen“ und dessen Arbeit von Gebäuden hin zu Straßen, Städten und „schließlich bis zu den weiten Feldern der regionalen und nationalen Planung“ führt.<sup>3</sup> Das Bauhaus und andere derartige Bewegungen erkannten die Tradition der *Structural Art* kaum. Beispielsweise enthielt ein klassisches Werk von Gropius über die Definition des Bauhaus 45 Illustrationen, darunter jedoch keine einzige, die ein Bauwerk der *Structural Art* zeigte. Als er die umfassende Ausbildung für den Architekten der Zukunft beschrieb, erwähnte Gropius, dass es keine Kurse über das Bauen mit Stahl oder Beton geben würde.<sup>4</sup> Obwohl Gropius und andere die Reflexion über Technik und Gestaltung förderten, taten sie dies stets aus dem Blickwinkel der Architektur, nicht aus der Sicht des Ingenieurbaus. Der große Einfluss dieser Architekten auf die Ansichten über das Bauen nach dem Zweiten Weltkrieg hat teilweise dazu geführt, dass die Tradition der *Structural Art* verschleiert wurde. Zusätzlich zu der häufigen Vermischung von *Structural Art* und Architektur entstand ein Missverständnis in Bezug auf das Verhältnis von Ingenieurwesen zu Wissenschaft einerseits und Machine Art andererseits. Aus diesem Grund muss ich zuerst erläutern, was diese neue Ingenieur-Kunst *nicht* ist, bevor ich anhand ihrer Geschichte zeige, was sie ist.

## **Ingenieurbau und Wissenschaft**

Die Vermischung der *Structural Art* mit Wissenschaft geht auf die Annahme zurück, dass das Ingenieurwesen als angewandte Wissenschaft nur die Vorstellungen und Entdeckungen des Wissenschaftlers in die Tat umsetzt. Die Anerkennung als kreatives Genie und der Vorrang der Erfindung gebührt demnach dem Wissenschaftler, dem Ingenieur bleibt nur die Rolle des Technikers, der Anweisungen von oben umsetzt. Diese Vorstellung ist ein häufiger Trugschluss des

20. Jahrhunderts. Ausgesprochen wurde er beispielsweise von Vannevar Bush, während des Krieges Direktor des *Office of Scientific Research and Development*, in seinem folgenreichen Bericht an Präsident Truman, der zur Einrichtung der *National Science Foundation* führte. Bush fasste seine Gedanken wie folgt zusammen:

Grundlagenforschung schafft neues Wissen. Sie erzeugt wissenschaftliches Kapital. Sie erschafft den Fundus, aus dem die praktischen Anwendungen des Wissens schöpfen müssen. Neue Produkte und neue Prozesse entstehen nicht in ausgereifter Form. Sie beruhen auf neuen Prinzipien und neuen Ideen, die wiederum mühsam durch Forschung in den reinsten Gefilden der Wissenschaft entwickelt werden.

Es ist heute richtiger als je zuvor, dass die Grundlagenforschung der Antrieb des technischen Fortschritts ist. Im 19. Jahrhundert konnte der amerikanische mechanische Erfindungsreichtum sich vor allem auf die grundlegenden Entdeckungen der europäischen Wissenschaftler verlassen und die Technik vorantreiben.<sup>5</sup>

Nicht nur Bushs Erklärung des amerikanischen Erfindungsgeists ist ungenau, dasselbe gilt auch für die allgemeine Aussage, dass „Grundlagenforschung der Antrieb des technischen Fortschritts“ sei. Auf einer Konferenz im Jahre 1973 präsentierten führende Technikhistoriker Arbeiten zum Thema „Die Wechselwirkung von Wissenschaft und Technik im Industriezeitalter“. Die Konferenz fasste die große Vielfalt aller damals zu diesem Thema existierenden Studien zusammen und „die Gruppe war sich geschlossen einig darin, dass sie nicht mit der konventionellen Ansicht (von Bush) übereinstimmte, wonach Technik angewandte Wissenschaft sei“.<sup>6</sup>

Es gibt einen grundlegenden Unterschied zwischen Wissenschaft und Technik. Das Ziel des Ingenieurwesens oder der Technik<sup>7</sup> ist es, Neues zu erschaffen, während Wissenschaft darin besteht, bereits lange Vorhandenes zu entdecken. Das Ergebnis der Technik sind Dinge, die nur existieren, weil Menschen sie so geschaffen haben, während das Ergebnis der Wissenschaft Beschreibungen dessen sind, was unabhängig von menschlichen Bedürfnissen existiert. Die Technik beschäftigt sich mit dem Künstlichen, die Wissenschaft mit dem Natürlichen.

Am besten betrachtet man Wissenschaft und Technik als parallele Bestrebungen, die sich beide von Zeit zu Zeit aus dem Fundus der jeweils anderen bedienen, sich im Übrigen aber überwiegend unabhängig voneinander entwickeln. Ein Beispiel für diese Unabhängigkeit ist die Tatsache, dass sich von der Unzahl der seit dem Ende des Zweiten Weltkriegs gemachten militärischen Erfindungen nur etwa 0,3 % auf wissenschaftliche Erkenntnisse zurückführen lassen. Der große Rest wurde unabhängig entwickelt und entstand durch Impulse aus der Welt der Technik selbst.<sup>8</sup> Ein führender britischer Gelehrter schloss vor kurzem, dass es „sehr wenige Indizien für eine klare oder enge Verknüpfung zwischen wissen-

schaftlicher Grundlagenforschung und der großen Masse der technischen Entwicklungen gibt“. Aus der Analyse einer großen Zahl von Fallstudien von der Chemie in Großbritannien bis zu Bauwerken in den USA folgerte er, dass sich „die Wissenschaft vor allem aus der Wissenschaft der Vergangenheit entwickelt und die Technik aus der Technik der Vergangenheit“.<sup>9</sup> In unserem aktuellen Kontext ist es wichtig, dass wir klar zwischen Wissenschaft und Technik unterscheiden, sodass wir den wahren Ursprung der Kreativität des Ingenieurs erkennen können.

Aus dem zuvor erwähnten grundlegenden Unterschied ergibt sich eine Reihe von weiteren Unterschieden. Die Wissenschaft arbeitet stets auf allgemeine Theorien hin, die das Wissen vereinheitlichen. Jedes einzelne Naturereignis muss sich letztlich aus einer allgemeinen Regel erklären lassen, damit es wissenschaftlich akzeptabel ist. Im Gegensatz dazu erschafft die Technik stets individuelle Objekte eines bestimmten Typs. Damit sie vom technischen Standpunkt aus akzeptabel ist, muss eine Konstruktion nur einzigartig sein und mit den speziellen Anforderungen für diese Art von Objekt im Einklang stehen. Es ist diese Einzigartigkeit, die die *Structural Art* möglich macht. Wären technische Objekte nur die direkte Folge allgemeiner wissenschaftlicher Entdeckungen, würden sie ihre Bedeutung als Ausdruck der Persönlichkeit ihres Konstrukteurs verlieren. Die Tatsache, dass diese Objekte nicht auf allgemeinen Theorien beruhen müssen – und dies in manchen Fällen noch nicht einmal sollten –, lässt sich anhand von konkreten Beispielen aus der Geschichte der Technik belegen. Ich will hierzu zwei Beispiele geben.

1923 entwickelte Robert Maillart, der schweizerische Brückenbauer, eine eingeschränkte Theorie für einen bestimmten Typus seiner Bogenbrücken, die grundsätzlich gegen allgemeine statische Prinzipien verstieß und daher zwischen den Kriegen viele schweizerische Wissenschaftler verärgerte. Trotzdem funktionierte Maillarts eingeschränkte Theorie für seine speziellen Formen gut. Für diesen Typus von Brücken war Maillarts Theorie nützlich und bot den zusätzlichen Vorteil großer Einfachheit. Er hatte die Theorie an die geforderten Formen angepasst, nicht die Formen an die vorhandene Theorie. In den Vereinigten Staaten verstanden dagegen viele Ingenieure die allgemeine Theorie sehr gut, aber da sie mit Maillarts spezieller Theorie nicht klarkamen, konnten sie nicht erkennen, wie sich daraus neue Formen ableiten ließen. Sie waren in einer ingenieurtechnischen Analyse gefangen, die so komplex war, dass sie neue Konstruktionsmöglichkeiten verschleierte. Heute kann das übertriebene Vertrauen auf komplexe Computeranalysen die Planung in gleicher Weise einschränken.

Ein zweites, noch dramatischeres Beispiel lieferte die Konstruktion von Hängebrücken etwa zu derselben Zeit. In den 1920er Jahren entstand eine neue, allgemeinere Methode zu ihrer Analyse. Durchdrungen von der Vorstellung, dass eine allgemeinere Theorie automatisch auch einen umfassenderen Einblick in das Verhalten einer Brücke liefern müsse, verwendeten damals alle führenden Kon-

strukture diese Theorie, die in Wahrheit jedoch das Verständnis eher behinderte als beförderte. Sie führte so indirekt zu den fehlerhaften Konstruktionen einer ganzen Reihe von wichtigen Brücken in den 1930er Jahren und zum Einsturz der Tacoma-Narrows-Brücke im Jahr 1940.<sup>10</sup>

Solche Beispiele zeigen, dass die neue Auffassung des Ingenieurbaus als eine von der Grundlagenwissenschaft unabhängige Disziplin auch zu einer neuen Art von Forschung führt. Sie ist die Grundlage eines neuen Typs von Konstrukteuren und in ihr sind geschichtliche und soziologische Untersuchungen ebenso wichtig wie die Entwicklung wissenschaftlicher Analysen.

## **Bauwerke und Maschinen**

Eng mit dem Trugschluss, Technik sei nur angewandte Wissenschaft, ist ein weiterer Trugschluss verwandt, nämlich dass Technik immer mit Maschinen zu tun haben müsse. Diese einseitige Sicht herrschte in Jacques Elluls oft zitiertem Werk *La technique ou l'enjeu du siècle* („Die Technik oder das Thema des Jahrhunderts“) vor, was es dem Autor ermöglichte, die moderne Welt als mechanistisch und dämonisch, frei von Persönlichkeit, Kunst oder Hoffnung zu beschreiben.<sup>11</sup> Entscheidend für Elluls Argumentation war dabei, dass er die Technik als „den einzigen, idealen Weg“ definierte, den ausschließlich und durchgängig rationalen Pfad zu der eindeutigen und optimalen Lösung einer gegebenen Aufgabe. Es gibt für die Menschen nach dieser Auffassung keine Möglichkeit, ihre Individualität auszudrücken, außer – wie Elluls es formuliert – durch Hinzufügen nutzloser Verzierungen zu der Maschine. Demzufolge kann der Ingenieur nur durch Einschränken der Leistungsfähigkeit oder Steigerung der Kosten (zwei Seiten derselben Medaille) künstlerische Elemente hinzufügen. Ellul spottete heftig über die Vorstellung einer Machine Art, die zwischen den Kriegen von Künstlern, Architekten und Kritikern vertreten wurde. Wie viele andere argumentierte Ellul, dass diese Kunst nur das Symbol eines maschinellen Zeitalters sei und keinesfalls die Effizienz des „einzigen, idealen Wegs“ widerspiegeln.

Aber die Technik besteht nicht nur aus Maschinen. Die Technik hat zwei Seiten: Bauwerke (statische, lokale und permanente Objekte) und Maschinen (dynamische, allgemeine und vergängliche Objekte). Der Eiffelturm (Abb. 1.1), das überdachte Stadion in Seattle (der Kingdome) und die Brooklyn Bridge (Abb. 1.2) sind Bauwerke; sie wurden dafür konstruiert, dass sie Lasten mit minimalen Bewegungen widerstehen können und so lange überdauern, wie die Gesellschaft selbst überdauert. Im Gegensatz dazu sind Aufzüge, Klimaanlage oder Autos Maschinen; ihre Funktion ist stets mit Bewegung verbunden und sie werden kontinuierlich ersetzt, wenn sie abgenutzt oder neue Modelle verfügbar sind. Technik umfasst stets Bauwerke *und* Maschinen; sie sind zwei Seiten derselben Medaille.<sup>12</sup>



**Abb. 1.1**

Der Eiffelturm (Paris/Frankreich, 1889) von Gustave Eiffel. Bei seiner Fertigstellung für die Pariser Weltausstellung von 1889 war dieser eiserne Turm mit seiner Höhe von 300 m das höchste von Menschen errichtete Objekt der Welt. Seine Form bringt das Ziel des Konstrukteurs, den Turm gegen alle Windlasten zu sichern, optisch zum Ausdruck.



**Abb. 1.2**

Die Brooklyn Bridge über den East River (New York/USA, 1883) von John A. Roebling. Bei ihrer Fertigstellung war diese davon aus, wie eine flexible Brücke versteift werden muss, um ein Versagen durch Schwingungen aufgrund von Wind zu



---

stählerne Hängebrücke das Bauwerk mit der größten Spannweite der Welt. Ihre Schrägseile drücken Roebblings Vorstellung vermeiden.

---

Zivilisation erfordert beide Seiten der Technik. Bauwerke symbolisieren Kontinuität, Tradition und Schutz, Maschinen dagegen Veränderung, Mobilität und Risiko. Zwischen beiden Seiten existiert eine konstante Spannung – zwischen einer erstarrten Gesellschaft, die von Bauwerken dominiert wird, und einer hektischen Gesellschaft, in der die Maschinen den Rhythmus vorgeben. Allerdings werden Bauwerke meist von Maschinen erbaut, und die Mehrzahl von ihnen kann überhaupt nur wegen Maschinen erbaut werden. Die modernen Gebäude in unseren Städten wären ohne Aufzüge weitgehend nutzlos, und nur wenige unserer Brücken würden existieren, gäbe es nicht die Anforderungen des Auto- und Eisenbahnverkehrs. Ebenso erfordern viele Maschinen Gebäude zu ihrem Schutz und wären nutzlos ohne Bauwerke, in denen oder an denen sie arbeiten können.

Obwohl sie eng miteinander verknüpft sind, funktionieren Bauwerke und Maschinen ganz unterschiedlich, entstehen aus unterschiedlichen sozialen Beweggründen, und repräsentieren unterschiedliche Gestaltungsprinzipien. Bauwerke dürfen sich nicht wesentlich bewegen, sind speziell für eine bestimmte Umgebung erbaut und werden in der Regel von einem einzelnen Konstrukteur geplant. Bei Maschinen ist Bewegung dagegen ein fester Bestandteil ihrer Funktion, sie werden in wechselnden Umgebungen eingesetzt, und werden im späten 20. Jahrhundert meist von Teams von Ingenieuren konstruiert. Allgemeine Aussagen über Technik sind meist bedeutungslos, wenn diese grundlegende Unterscheidung dabei nicht beachtet wird.

Man kann die Technik nicht nur nach den beiden Arten von Objekten unterteilen, sondern auch nach den zwei Arten von Systemen, die sie enthält: Netzwerke und Prozesse, die wir als Erweiterung von Bauwerken beziehungsweise Maschinen auffassen können. Netzwerke wie beispielsweise Kanäle, Straßen, Gleise, Stromleitungen oder Luftwege sind unbewegliche Einrichtungen der Infrastruktur, die dem Transport von Dingen dienen. Ein Netzwerk organisiert die Verteilung von Dingen, nicht ihre Umwandlung. Prozesse dagegen verändern den Zustand von Dingen, beispielsweise durch Verbrennung, die Raffination von Erdöl, Wasseraufbereitung oder Erzeugung von Elektrizität. Es handelt sich hierbei um dynamische Systeme, deren Kennzeichen die Veränderung ist und die eng mit Maschinen, wie z. B. Motoren, Pumpen, Reaktoren oder Turbinen, zusammenhängen. Dagegen sind Netzwerke statische Systeme, deren Kennzeichen ihre Unveränderlichkeit ist und die für ihre Funktion Bauwerke, wie Aquädukte, Brücken, Dämme, Flughäfen, Kraftwerke oder Sendemasten, benötigen.<sup>13</sup>

Ich werde in diesem Buch nur Bauwerke betrachten, aber es sollte klar sein, dass diese ihre Bedeutung verlieren, wenn wir ihre komplementäre Beziehung zu Maschinen außer Acht lassen. Der Eiffelturm wäre ohne seine Aufzüge für die Öffentlichkeit weitgehend verloren, und die Brooklyn Bridge wurde nur gebaut, um von verschiedenen Arten von Maschinen befahren zu werden; sie dient heute als Hauptverkehrsader für Autos.



## Ingenieurbau und Architektur

Die moderne Welt bezeichnet Türme, Stadien und sogar Brücken häufig als Architektur. Das ist ein weiterer, wenn auch subtilerer Trugschluss ähnlich dem, Technik mit angewandter Wissenschaft oder mit Maschinen zu verwechseln. In diesem Fall beginnt das Problem schon bei dem Wort „Architekt“, das aus dem Griechischen kommt und so viel wie „oberster Baumeister“ bedeutet. Aber seit dem Beginn der industriellen Revolution hat sich der Ingenieurbau zu einer von der Architektur getrennten Kunst entwickelt. Die sichtbare Gestalt des Eiffelturms, des Kingdome oder der Brooklyn Bridge entstand direkt aus technischen Motiven und der Erfahrung und Vorstellungskraft der einzelnen Planer. In manchen Fällen haben die Ingenieure dazu mit Architekten zusammengearbeitet, genau wie sie mit Maschinenbauern oder Elektroingenieuren zusammengearbeitet haben, aber die Gestalt der Bauwerke entsprang trotzdem den Ideen der Bauingenieure.

Tragwerksplaner im Konstruktiven Ingenieurbau beschäftigen sich mit der Gestalt von Objekten, die relativ groß sind und die zu einem einzigen Zweck konstruiert werden. Dabei betrachten sie die Form als Mittel, die Naturkräfte zu kontrollieren, die auf das Bauwerk einwirken. Architekten entwerfen dagegen relativ kleine Objekte, die von Menschen auf vielfältige und komplexe Weise genutzt werden, und sie betrachten die Form als Mittel zur Gestaltung der von den Menschen genutzten Räume. Das prototypische Bauwerk des Ingenieurs – die öffentliche Brücke – benötigt keinen Architekten. Das prototypische Bauwerk des Architekten – das private Eigenheim – benötigt keinen Ingenieur. Wir haben gesehen, dass Architekten und Ingenieure ihre Ideen parallel zueinander und manchmal in gemeinsamen Diskussionen entwickeln und dass Bauingenieure die Hilfe der Maschinenbauingenieure brauchen, um ihre Bauwerke zu realisieren. Auch Bauingenieure und Architekten lernen voneinander und arbeiten oft produktiv zusammen, insbesondere wenn, wie bei Hochhäusern, große Maßstäbe auf komplexe Verwendungszwecke treffen. Aber im Wesentlichen arbeiten die beiden Arten von Entwerfenden in verschiedenen Welten.

Die Bauten der *Structural Art* entstammen der Vorstellungskraft von Ingenieuren, die überwiegend an einer neuen Art von Hochschule ausgebildet wurden – der technischen Hochschule, die vor dem späten 18. Jahrhundert völlig unbekannt war. Die Ingenieure organisierten sich in neuen Berufsverbänden, arbeiteten mit neuen Materialien und brachten Politiker dazu, über neue Modelle für die Gesellschaft der Zukunft nachzudenken.<sup>14</sup> Die Lehrpläne der neuen Hochschulen kappten alle Verbindungen, die zuvor zwischen der architektonischen Gestaltung und der Konstruktion – aus Industrieisen und später Stahlbeton – der Ingenieurbauten, an denen wir heute überall die Moderne erkennen, existiert haben mochten. Für diese Bauten waren die alten Prinzipien, die aus der Welt der Steinmetze der Antike übernommen worden waren, nicht mehr angemessen. Das Bauen mit

den neuen Materialien erforderte neue Ideen. Weil diese Ideen aber radikal mit dem konventionellen Geschmack brachen, wurden sie vom kulturellen Establishment abgelehnt. Natürlich ist das ein klassisches Problem in der Geschichte der Kunst: Neue Formen stoßen die Wissenschaft häufig vor den Kopf. In diesem Fall hieß das Duell *Beaux Arts* gegen *Structural Arts*. Die Metallskelette des 19. Jahrhunderts empfanden die meisten Architekten und kulturellen Meinungsführer als Ärgernis. Neue Gebäude oder Stadtbrücken litten unter bemühten Versuchen, ihre Tragwerksstruktur zu verstecken oder zu einem Abbild einer Steinstruktur zu verzerren. Obwohl manche das Potenzial des neuen Materials für mehr Leichtigkeit und neue Formen erkannten, versuchten die meisten Architekten verzweifelt, Beton wie Stein wirken zu lassen – oder später wie die in der modernen Kunst aufkommenden Abstraktionen. Man hatte das Gefühl, dass die Ingenieurtechnik alleine zu wenig war.

Die konservativen, schwerfälligen Techniker mochten ja, wie Le Corbusier es formulierte, „gesund und kräftig, aktiv und nützlich, ausgeglichen und zufrieden in ihrer Arbeit“ sein, „... aber nur der Architekt kann durch seine Anordnung der Formen eine Ordnung erkennen, die ausschließlich eine Kreation seines Geistes ist ... das ist der Moment, in dem wir wahre Schönheit empfinden.“<sup>15</sup> Der Glaube, dass der glückliche Ingenieur uns wie ein edler Wilder nützliche Dinge schenkt, die aber nur der Architekt in Kunst verwandeln kann, ignoriert jedoch die zentrale Bedeutung der Ästhetik für den Ingenieur-Künstler. Natürlich ist die Tragwerksplanung nur ein Teil der Gestaltung von architektonischen Bauten, wie Privathäusern, Schulen oder Krankenhäusern, aber auch bei Türmen, Brücken, freitragenden Dächern oder vielen Arten von Industriegebäuden spielen ästhetische Überlegungen eine wichtige Rolle in den Entscheidungen des Ingenieurs. Die besten dieser Ingenieurbauten sind Beispiele für *Structural Art*, und von diesen gibt es mehr als genug, um die *Structural Art* als ausgereifte Tradition mit einem einzigartigen Charakter aufzufassen. Dieser Charakter hat drei Dimensionen.

## Die drei Dimensionen von Bauwerken

Die erste Dimension ist die wissenschaftliche. Jedes Bauwerk und jede Maschine muss im Einklang mit den Naturgesetzen funktionieren. In diesem Sinn ist die Technik Teil der Natur. Die Analysemethoden, mit denen Wissenschaftler Naturphänomene untersuchen, können auch dem Ingenieur helfen, das Verhalten seiner künstlichen Objekte zu beschreiben. Genau diese Ähnlichkeit der eingesetzten Methoden leistet dem Trugschluss Vorschub, dass die Ingenieurtechnik nur angewandte Wissenschaft sei. Dabei suchen die Wissenschaftler nach existierenden Strukturen, deren Verhalten sie mit neu aufgestellten Gleichungen beschreiben, während Ingenieure neue Strukturen erdenken, deren Aufbau sie anhand existierender Gleichungen kontrollieren. Da die von den Wissenschaftlern

untersuchten Strukturen sich sehr von denen der Ingenieure unterscheiden, unterscheiden sich auch die Methoden zu ihrer Analyse. Aber da beide in derselben Welt existieren, müssen sie auch beide denselben Naturgesetzen gehorchen. Das Maß für diese wissenschaftliche Dimension ist die Effizienz.

Technische Strukturen existieren auch in einer sozialen Umgebung. Ebenso wie den Gesetzen der Natur unterliegen sie den Regeln der Politik und der Ökonomie. Die zweite Dimension von Bauwerken ist die soziale. In der Vergangenheit oder in primitiven Gesellschaften der Gegenwart konnten Bauwerke oder Maschinen zumindest in ihrer einfachsten Form das Werk eines einzelnen Konstrukteurs sein; in der modernen Zivilisation sind die Werke der Technik jedoch stets Werke einer Gesellschaft. Sie müssen von der Öffentlichkeit unterstützt werden, entweder über öffentliche Steuern oder durch privaten Handel. Das Maß für die soziale Dimension der Technik ist ihre Wirtschaftlichkeit.

Technische Objekte dominieren unsere industrielle, urbane Umgebung schon optisch. Sie gehören zu den kraftvollsten Symbolen des modernen Zeitalters. Bauwerke und Maschinen definieren unsere Umgebung. Die Lokomotive des 19. Jahrhunderts wurde von den Autos und den Flugzeugen des 20. verdrängt. Gewaltige Komplexe aus Bauwerken und Maschinen werden zu öffentlichen Angelegenheiten. Kraftwerke, Waffensysteme, Raffinerien und Flussbauten – sie alle wurden zu Symbolen für die Verheißungen und Probleme unserer industriellen Zivilisation.

Die Golden-Gate-, die George-Washington- und die Verrazano-Brücke setzen die von der Brooklyn Bridge begonnene Tradition fort. Das John Hancock Center und der Sears Tower in Chicago, das Woolworth Building, das Empire State Building oder die Türme des World Trade Centers in New York – sie alle verbinden das Versprechen des Eiffelturms mit der Zweckmäßigkeit urbaner Büro- oder Wohngebäude. Der Astrodome, der Kingdome und der Superdome transportieren die Vision gewaltiger geschlossener Versammlungsräume, wie sie 1851 vom Crystal Palace in London und 1889 vom Palais des Machines in Paris verheißen wurden, in das späte 20. Jahrhundert.

Nahezu jeder Amerikaner kennt diese gewaltigen Bauwerke des 20. Jahrhunderts, und moderne Städte vermarkten sich immer wieder durch visuelle Bezüge auf diese Bauten. Wie Montgomery Schuyler, der erste amerikanische Konstruktionskritiker, im 19. Jahrhundert zur Eröffnung der Brooklyn Bridge (Abb. 1.2) schrieb, „So geschieht es, dass ein Werk, das mit einiger Wahrscheinlichkeit unser dauerhaftestes Vermächtnis ist und das etwas über uns an unsere entfernteste Nachwelt übermitteln wird, ein Werk der bloßen Zweckmäßigkeit ist; es ist kein Schrein, keine Festung, kein Palast, sondern eine Brücke. Diese Tatsache ist selbst ein Kennzeichen unserer Zeit.“<sup>16</sup> Die dritte Dimension der Technik ist eine symbolische, und es ist offensichtlich diese Dimension, die die Möglichkeit eröffnet, die neue Ingenieurtechnik zu *Structural Art* zu machen.

Obwohl es kein Maß für diese symbolische Dimension gibt, erkennen wir ein Symbol doch an seiner Eleganz und seiner Ausdruckskraft.

Es gibt drei Arten von Gestaltern, die mit Formen im Raum arbeiten: Ingenieure, Architekten und Bildhauer. Sie alle müssen bei der Planung einer Form die drei erwähnten Dimensionen oder Kriterien berücksichtigen. Das erste Kriterium, das wissenschaftliche, besagt im Wesentlichen nur, dass sie das gewünschte Objekt mit minimalem Materialeinsatz so erschaffen müssen, dass es den auftretenden Lasten und den Einwirkungen der Umwelt widerstehen kann und dauerhaft ist. Diese Analyse von Effizienz und Haltbarkeit wird auch durch Sicherheitsüberlegungen beeinflusst. Das zweite Kriterium, das soziale, führt zu einer Analyse der Kosten des Objekts im Vergleich zu seinem erwarteten Nutzen für die Gesellschaft. Eine solche Kosten-Nutzen-Analyse findet auf dem Feld der Politik statt. Das dritte Kriterium, das symbolische, umfasst die Untersuchung der äußeren Erscheinung und die Überlegung, wie unter den durch die wissenschaftlichen und sozialen Kriterien gesetzten Randbedingungen Eleganz zu erreichen ist. Auf dieser ästhetisch-ethischen Grundlage erschafft der Gestalter sein Werk.

Für den Ingenieur ist das wissenschaftliche Kriterium entscheidend (ebenso wie das soziale Kriterium für den Architekten und das symbolische Kriterium für den Bildhauer). Er muss dieses Kriterium jedoch gegen die beiden anderen Kriterien abwägen.<sup>17</sup> Alle *Structural Art* entspringt aus dem zentralen Gedanken, dass künstliche Formen die Kräfte der Natur kontrollieren. Es wird jedoch nie ein Bauwerk erbaut werden, das keine soziale Akzeptanz gewinnt. Der Wille des Konstrukteurs reicht niemals aus. Er muss schließlich auch ästhetische Argumente bedenken, damit aus einem einfachen Bauwerk *Structural Art* entsteht. Alle führenden Ingenieur-Künstler haben sich um das Aussehen ihrer Entwürfe Gedanken gemacht. Die Ingenieure trafen bewusste ästhetische Entscheidungen, um zu ihren endgültigen Entwürfen zu gelangen. Ihre Schriften über Ästhetik zeigen, dass sie ihre Entwürfe keineswegs nur auf den wissenschaftlichen und sozialen Kriterien von Effizienz und Wirtschaftlichkeit aufbauten. Innerhalb der so gesetzten Randbedingungen fanden sie die Freiheit, bewusst zu gestalten. Gerade die strenge Disziplin der Optimierung von Materialeinsatz und Kosten gab ihnen die Freiheit, neue Visionen zu erdenken, die realisierbar und dauerhaft waren.

## ***Structural Art und die Gesellschaft***

Die meisten Menschen würden zustimmen, dass die Ideale der *Structural Art* mit denen einer urbanen Gesellschaft übereinstimmen: die Erhaltung der natürlichen Ressourcen, die Minimierung der öffentlichen Ausgaben und die Erschaffung einer optisch ansprechenderen Umgebung. Wie die Geschichte der *Structural Art* zeigt, haben manche Ingenieure diese Ideale schon in die Praxis umgesetzt. Noch

sind dies aber Einzelfälle. Wie könnte man diese Ausnahmen zur Regel werden lassen? Dieser Frage wollen wir uns historisch nähern, indem wir die zentralen Gedanken herausarbeiten, die für die *Structural Art* charakteristisch sind. Diese Gedanken spiegeln die drei erwähnten Dimensionen wider: die wissenschaftliche, die soziale und die symbolische.

Der zentrale wissenschaftliche Gedanke kann als Reduktion der Analyse ausgedrückt werden. In der *Structural Art* bestand dieser Gedanke neben der gegenteiligen Tendenz, die Analyse überzubetonen, wie dies auch heute noch im intensiven Einsatz von Computern für statische Berechnungen zum Ausdruck kommt. Ein prägnantes Beispiel ist die Konstruktion von dünnen Betongewölben – dünnen Schalen. Hierbei wurden die entscheidenden Fortschritte in der Zeit von 1955 bis 1980 – einer Periode intensiver analytischer Entwicklungen – nicht durch komplexe Berechnungen mithilfe von Computern erreicht, sondern dadurch, dass man auf der Grundlage des beobachteten physikalischen Verhaltens sehr einfache Analysemodelle schuf. Schalenbauten bezeugen diesen Fortschritt und sind das beste Argument für den zentralen wissenschaftlichen Gedanken der *Structural Art*: Es ist der Schöpfer einer Form, der auch ihre Analyse durchführt, daher hat er die Möglichkeit, die Form so zu wählen oder zu verändern, dass die Komplexität der Analyse verschwindet.

Die Form steuert die Kräfte, und je klarer der Konstrukteur sich jene Kräfte veranschaulichen kann, desto sicherer ist er sich seiner Form. Die großen Ingenieur-Künstler Anfang und Mitte des 20. Jahrhunderts wie Robert Maillart oder Pier Luigi Nervi haben sich alle energisch gegen den Drang gestemmt, die Analyse zu komplizieren. Dieselben Argumente hören wir auch von den besten Konstrukteuren im späten 20. Jahrhundert. Wenn die Form gut gewählt ist, wird ihre Analyse verblüffend einfach. Natürlich spart der Computer bei Routine-Berechnungen des Entwurfs viel Zeit. Auch als Unterstützung der Konstrukteure durch die Erstellung von Computergrafiken ist er von großem Wert. Doch wie jede Maschine kann er dem Menschen zwar Arbeit abnehmen, aber nicht die menschliche Kreativität ersetzen.

Ein entscheidender Gedanke, der im Hinblick auf die soziale Dimension aus der *Structural Art* folgt, hängt mit etwas zusammen, das man die Ökonomie öffentlicher Wettbewerbe nennen könnte. Gestalterische Qualität ergibt sich hier aus dem Wettbewerb konkurrierender Entwürfe für dasselbe Projekt und nicht durch komplexe Regularien für einen einzigen Planer. Regierungen können bessere Entwürfe erhalten, indem sie auf einen Teil ihrer Kontrolle über den Planungsprozess und die gewählte Gestaltung verzichten und diese an eine informierte Öffentlichkeit abgeben. Öffentliche Proteste gegen den Bau von hässlichen, teuren Entwürfen reichen nicht aus. Es ist wichtig, den Menschen eine positive Teilnahme zu ermöglichen, und das ist nur möglich, wenn die Öffentlichkeit auch die alternativen Entwürfe für ein Projekt kennt. Das Konzept und die Bedeutung von alternativen Entwürfen las-

sen sich am besten durch die Geschichte der modernen Brücken illustrieren, aber es gilt auch für alle anderen Bauwerke.

Zwar gibt es in den Vereinigten Staaten kaum eine Tradition für Entwurfswettbewerbe bei Ingenieurbauwerken, aber in anderen Ländern ist eine solche Tradition fest verwurzelt und liefert Ergebnisse, die sowohl politisch als auch ästhetisch überzeugen. Die Schweiz hat die längste und stärkste Tradition von Entwurfswettbewerben für Brücken, und es ist kein Zufall, dass nach nahezu einhelliger Meinung die beiden großartigsten Brückenbauer des 20. Jahrhunderts Schweizer waren: Robert Maillart (1872–1940), der in Beton baute, und Othmar Ammann (1879–1965), der Konstrukteur der George-Washington- und der Verazano-Brücke, die in Stahl ausgeführt wurden. Dass die Schweiz mit einem Sechstel der Größe von Colorado und weniger Einwohnern als New York City eine solche Weltgeltung erreichen konnte, hängt damit zusammen, dass Wirtschaftlichkeit und Ästhetik sowohl für die Ausbilder als auch für die Konstrukteure in der Praxis eine zentrale Stellung einnahmen und dass diese Bedeutung durch die öffentlichen Wettbewerbe noch gefördert wurde. Maillarts dünne Betonbögen in der Schweiz waren die preisgünstigsten Vorschläge in den Wettbewerben, lange bevor sie zum Schwerpunkt der ersten Ausstellung in einem Kunstmuseum wurden, die ausschließlich der Arbeit eines einzigen Ingenieurs gewidmet war, der Ausstellung des *New York Museum of Modern Art* über Maillarts Bauwerke aus dem Jahr 1947. Othmar Ammann wurde ähnlich geehrt. Sein 100. Geburtstag wurde mit Symposien in Boston und New York sowie mit einer Ausstellung in der Schweiz gefeiert. Sowohl Maillart als auch Ammann äußerten sich sehr deutlich über das Aussehen und die Wirtschaftlichkeit von Brücken. Sie sind Paradebeispiele für Ingenieur-Künstler.

Bis heute setzt eine große Zahl von markanten neuen Betonbrücken diese schweizerische Brückentradition fort, die im Prinzip – wenn nicht sogar im Detail – Maillarts Vorbild folgen. Die beeindruckendsten Nachkriegsbauwerke stammen von Christian Menn, dessen weitgespannte Bögen und Ausleger die neue Technik der Vorspannung an ihre Grenzen treiben, ebenso wie dies Maillarts dreigelenkige bzw. durch die Fahrbahnplatte versteifte Bögen Jahre zuvor für Stahlbeton getan hatten. Öffentliche Wettbewerbe trieben diese Ingenieure zu Spitzenleistungen und erzogen gleichzeitig die Öffentlichkeit. Solche Wettbewerbe müssen von den Behörden akzeptiert, von Ingenieuren, deren Meinungen in der Presse diskutiert werden, beurteilt und durch sorgfältig formulierte Regeln gesteuert werden.

Wieder einmal sind es falsche Vorstellungen von Ingenieurbau, die uns davon abhalten, auf unsere Instinkte zu vertrauen und offene Wettbewerbe abzuhalten. Die amerikanische Praxis bei öffentlichen Bauvorhaben vergleicht den planenden Ingenieur fälschlicherweise entweder mit einem Arzt oder einem Bauunternehmer. Die Anhänger des ersten Vergleichs argumentieren, dass man auch keine Ausschreibung machen würde, um zu entscheiden, von welchem Arzt man

sich den Blinddarm entfernen lässt. Stattdessen würde man einen guten Arzt anhand seiner professionellen Reputation auswählen und ihn dann tun lassen, wofür er ausgebildet ist. Oder wenn eine existierende Brücke Risse bekommt, gilt entsprechend, dass man einen Gutachter mit einem guten Ruf für die Diagnose und Reparatur solcher Schäden sucht und anheuert. Aber das Entwerfen ist eine völlig andere Art von Tätigkeit als Diagnose oder Reparatur. Es muss viel häufiger geübt werden, als es Gelegenheiten gibt, tatsächlich zu bauen, und Wettbewerbe können als Ansporn wirken. Wenn es auch frustrierend sein kann, eine Ausschreibung zu verlieren, so ist dies doch eine gesunde und lehrreiche Erfahrung, vor allem, wenn – wie es in der Schweiz häufig der Fall ist – auch die Verlierer eine finanzielle Entschädigung erhalten.

Die Anhänger des zweiten falschen Vergleichs sehen Entwurfswettbewerbe nur als eine Spielart von Bauwettbewerben. Ihrer Ansicht nach sollte das niedrigste Angebot für die Entwurfskosten den Zuschlag für die Planung erhalten. Im amerikanischen System für öffentliche Bauten sind Entwurf und Bau eines Bauwerks rechtlich völlig separate Schritte. Die Kosten für den Entwurf liegen in der Regel deutlich unter 10 % der Baukosten. Daher könnte ein guter Ingenieur durchaus mehr für den Entwurf ausgeben, wenn dafür – was häufig vorkommt – die Gesamtkosten für den Bauherren deutlich reduziert werden. Umgekehrt könnte ein Ingenieur seine Entwurfskosten drücken, um den Auftrag zu bekommen, dafür aber einen einfacheren Entwurf abliefern, der den Bauherrn am Ende wesentlich mehr kostet. Auf diese Weise wird ein großes Potenzial für die Einsparung öffentlicher Gelder durch eine törichte Politik vertan, die einseitig auf kleine Einsparungen in der ersten Phase eines Projekts setzt.

Bei einer Art von Entwurfswettbewerben in der Schweiz wird eine kleine Anzahl von Planern eingeladen, sich an dem Wettbewerb zu beteiligen. Sie bekommen auf jeden Fall einen Teil ihrer Kosten erstattet und zusätzliche Preisgelder in der von der Jury festgelegten Reihenfolge. Der Gewinner erhält in der Regel den Auftrag für die Detailplanung. Nur einige wenige solcher Wettbewerbe pro Jahr reichen schon aus, um die gesamte Branche anzuspornen und der Öffentlichkeit zu zeigen, welche vielfältigen Lösungsmöglichkeiten es für ein bestimmtes Problem gibt. Dieses Verfahren der öffentlichen Ausschreibung öffnet den politischen Prozess für die lokale Bevölkerung weitaus mehr als der umständliche und überwiegend negative Prozess aus Protest, rechtlichen Schritten und Ablehnung der Baumaßnahme, der das Bild im Amerika des späten 20. Jahrhunderts dominiert.

Wohldefinierte Entwurfswettbewerbe enthüllen Wahrheiten über eine Gesellschaft, die ansonsten nur schwer greifbar sind. Die finalen Entwürfe werden deshalb oft charakteristische Symbole ihrer Zeit und ihres Ortes. Dies führt uns zu der dritten Leitidee, die mit großer *Structural Art* verknüpft ist – der Idee, dass Materialien und Formen eine besondere symbolische Bedeutung besitzen. Empfindsame Maler, Dichter und Schriftsteller haben in Bauten der *Structural Art*

neuartige Symbole – anfangs aus Metall, später dann aus Beton – erkannt, die auf geheimnisvolle Weise sowohl die technischen Möglichkeiten als auch die inneren Werte der Demokratie treffend repräsentieren. Die Leichtigkeit und Offenheit des Eiffelturms, der Brooklyn Bridge oder von Maillarts Bögen sowie der starke Kontrast zwischen ihren Formen und ihrer Umgebung korrespondieren tiefgreifend mit den politischen Traditionen und den Zeiten, in denen sie entstanden sind. Sie symbolisieren eher Kunst als Natur, eher Demokratie als Autokratie und eher Transparenz als Undurchdringlichkeit.

Der entscheidende Grund dafür, dass der Eiffelturm und die Brooklyn Bridge zu so dominanten Symbolen wurden, war, dass ihre Formen neu, transparent und für die allgemeine Öffentlichkeit verständlich waren. Betrachten Sie zum Vergleich das Washington Monument von 1884 oder die London Bridge von 1831, zwei massive Bauwerke, die in ihrer aufwändigen und monumentalen Bauweise an vorindustrielle imperiale Epochen erinnern und nicht an die demokratischen Zeiten, in denen sie tatsächlich gebaut wurden. Stein ist ein natürliches Material. Seit der industriellen Revolution impliziert seine Verwendung für Ingenieurbauwerke hohe Kosten und Exklusivität. Außerdem führen seine Festigkeit, seine Unfähigkeit, ohne Weiteres veränderliche Lasten aufzunehmen, und die daraus folgende Massivität zwangsläufig zu schweren, festungsartigen Entwürfen.<sup>18</sup> Metall und Beton sind – richtig eingesetzt – in jeder Hinsicht das komplette Gegenteil von Stein. Sie sind künstliche Materialien, und die mit ihnen realisierten Formen spiegeln direkt die Quellen der Kreativität moderner Industriegesellschaften wider.

Diese Formen implizieren ein demokratisches Leben, kein autokratisches. Wenn Struktur und Form eins werden, ist das Ergebnis eine Leichtigkeit oder sogar eine Fragilität, die präzise das Wesen einer freien und offenen Gesellschaft widerspiegelt. Die Abläufe in einer demokratischen Regierung sind transparent und für die Öffentlichkeit sichtbar, und selbst wenn eine Demokratie alles andere als perfekt ist, sind doch ihre Form und ihre Funktion (ihre Struktur) unzertrennlich. Die Öffentlichkeit muss die Arbeit der Regierung kontinuierlich überprüfen; laufende Wartung und periodische Erneuerung der exponierten Strukturen sind unerlässlich. Politiker sind nicht auf Lebenszeit im Amt; sie müssen von Zeit zu Zeit überprüft, getadelt und geläutert werden. Sie gehören ausgetauscht, falls sie als korrupt oder unfähig erkannt werden. Ähnliches gilt für die Werke der *Structural Art*. Diese werden durch die allgemeine Nutzung verschlissen und abgenutzt. Sie erinnern uns daran, dass unsere Institutionen uns und nicht irgendeiner Elite gehören. Wenn wir sie verkommen lassen, wie z. B. unsere Städte und Verkehrsnetze, dann verweist dieses äußere Zeichen in einer freien demokratischen Gesellschaft auf einen innerlichen Verfall des öffentlichen Lebens.

Diese Gedanken über Politik, Wissenschaft und Kunst werden die historische Darstellung der Ingenieurskunst, der wir uns nun im Hauptteil dieses Buches zuwenden wollen, gleichermaßen beseelen wie zusammenhalten.