

II. RECHNEN UND BAUEN.

»Die Seele von dem, was Menschen schaffen, ist die Vernunft, ihre Mittel: ihre Berechnung, und die Folgen der Anwendung von Vernunft und Berechnung kann die sicherste und reinste Schönheit sein».

Van de Velde.

Berechnungsmethoden der Stand- und Tragfähigkeit — das bedeutet, wie bei vielen verwandten Errungenschaften: Ergänzung der Praxis und Empirie durch die Theorie, Zusammenfassung vereinzelter Kenntnisse zu einem System, Erweiterung eines geistigen Sonderbesitzes zu einem Allgemeingut, Ausbildung eines »Wissens« zu einer »Wissenschaft«.

Wann und auf welchem Wege ward dieser folgenschwere Schritt beim Bauen getan?

Das Tempo der Entwicklung ist auch hier, wie bei der Geschichte des Eisens als Baustoff, ein völlig ungleiches. Jahrtausendlang bleibt sie nahezu auf dem gleichen Punkt, dann ein zunächst ruckweises Vordringen, zuletzt, im 19. Jahrhundert, ein ununterbrochenes Vorwärtseilen von Erfolg zu Erfolg, das die Ergebnisse aller früheren Zeiten weit hinter sich läßt.

* * *

Die älteste Baulehre, die wir besitzen, das Werk Vitruvs, leitet das Wesen der Architektur aus zwei Quellen ab¹: aus der »fabrica« und der »ratiocinatio«. Man hat diese Worte durch »Praxis« und »Theorie« übersetzt, und in der Tat erklärt sie Vitruv selbst in ähnlichem Sinn: »fabrica« sei die »kontinuierliche« Erfahrung, welche die handwerkliche und zweckgemäße Bautätigkeit bietet; »ratiocinatio« die Fähigkeit, »das handwerksmäßig Hergestellte durch inneres Verständnis und auf Grund der Verhältnissgesetze zu erklären und zu erörtern«: »quae res fabricatas solertia ac ratione proportionis demonstrare atque explicare potest.«

Allein als den größten Nutzen der Theorie betont Vitruv — einen gesellschaftlichen Vorteil: diejenigen Architekten, denen die theoretische Schulung fehle — »qui sine literis contenderant, ut manibus essent exercitati« —, könnten für ihre Leistungen nicht das rechte Ansehen erwerben. »Ratiocinatio« ist für Vitruv füglich etwa gleichbedeutend mit »Bildung«. Der Praxis gegenüber ist sie höchstens eine wünschenswerte Ergänzung, keineswegs eine notwendige Voraussetzung. Er nennt sie deren »Schatten«.

So dachte man in Rom zu Beginn der Kaiserzeit, am Anfang einer Epoche, die im Nutz- wie im Kunstbau zu den größten aller Zeiten gehört.

¹ De Architectura. Lib. I, Cap. I.

Jahrtausende früher war die Bautätigkeit der altorientalischen Welt auf ihren Höhepunkt gelangt, Jahrhunderte zuvor blühte die Architektur der Hellenen.

Bei diesen hatte die Wissenschaft der *Mechanik* begonnen. Die Untersuchungen des *Archytas* von Tarent sind nicht erhalten, aber *Aristoteles* erkennt und formuliert die Hebelwirkung als wissenschaftliches Problem, und mit der Schrift des *Archimedes* »De aequi-ponderantibus« beginnt die »*Statik*« in ihrer heutigen Bedeutung als »Lehre vom Gleichgewicht der unter Einwirkung von Kräften befindlichen Körper«. Allein die Blüte hellenischer Kunst ward von diesen Erfolgen wissenschaftlichen Denkens kaum berührt; ihre Architektur »reichte im großen und ganzen mit dem Instinkt und einzelnen Regeln aus«¹.

Standen doch zur Zeit des *Archytas* (400 v. Chr.) bereits die Tempel der Akropolis, und die Lehren des *Aristoteles* (287—212) konnten nicht mehr der hellenischen Baukunst nützen, sondern höchstens der hellenistischen!

Der ganzen Struktur dieser hellenistischen Zeit entspräche ein unmittelbarer Eingriff der Wissenschaft in die Kunst und eine Einwirkung der Statik auf die Wege und Ziele der Konstruktionen. Doch auch dafür fehlen bisher Belege. Völlig klar sehen wir in diese Verhältnisse während des Altertums überhaupt nicht; weder Schulung noch Praxis seiner Baumeister und Ingenieure ist uns überliefert². Allein der prinzipielle Vorgang selbst, dem die Mechanik im Altertum ihre Entwicklung zu einer Wissenschaft dankt, spricht *gegen* deren unmittelbaren, zielbewußten Einfluß auf die Praxis. Von dieser geht sie aus, aber ihre Erfahrung bleibt eine instinktive³. Das Experiment, soweit es die Griechen überhaupt verwandten, und vollends die begrifflichen Schlußfolgerungen aus ihm treten aus dem Arbeitsgebiet der Bauleute heraus.

Eine weitere Stütze für die Richtigkeit dieser Annahme bringt das Verhältnis der antiken Architektur zur *Arithmetik* und *Geometrie*. Auch sie dienen nicht der Statik, sondern — dem Veranschlagen und der Proportionslehre. »Durch die Arithmetik« — sagt *Vitruv*⁴ — »werden die Kosten der Gebäude berechnet, die Maßeinteilungen entwickelt und schwierige Fragen der Verhältnisse sowie des Ebenmaßes nach geometrischen Gesetzen und Regeln gelöst.« Die Geometrie »lehrt den Gebrauch des Richtscheites und des Zirkels, mit denen die Grundrisse der Bauten aufs leichteste verfertigt werden, ferner die Handhabung des Winkelmaßes, der Setzwage und der Schnur«⁵. Von den Hilfen der Arithmetik und Geometrie für statische Ermittlungen aber ist bei *Vitruv*, der doch beispielsweise schon die Wirkungen des Erdschubes erörtert, nicht die Rede.

¹ Vergl. F. Th. Vischer, *Ästhetik* III, I, § 516. Ähnlich urteilt auch noch Kurt Merckel a. a. O., z. B. S. 498 auch hinsichtlich der Entwässerungs- und Bewässerungsanlagen der Griechen. Daß bei den antiken Bauausführungen genaue Zeichnungen vorlagen, ist selbstverständlich. Ebenso in Rom. So schrieb *Nomius Datus*, er habe für seinen Tunnel in der Nähe von *Lambäsis* »Pläne und Schnitte des ganzen Werkes gezeichnet« (Merckel a. a. O., S. 577).

² Vergl. die dürftigen Angaben darüber bei Merckel a. a. O., Kap. VII, S. 596 ff.

³ Vergl. E. Mach, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt*. 2. Auflage Leipzig 1889.

⁴ A. a. O., Lib. I, Cap. I. »Per arithmeticon vero, sumptus aedificiorum consummantur, mensurarum rationes explicantur, difficilesque symmetriarum quaestiones geometricis rationibus et methodis inveniuntur.

⁵ Vergl. Kurt Merckel a. a. O. S. 597.

Nur auf der Praxis fußende Empirie war es, die im Altertum die Pyramiden erbaute und die Obelisken errichtete, die Tempel erdbebensicher machte, die riesigen Spannweiten überwölbte und die gewaltigen Brücken, Wasserleitungen und Hafenanlagen schuf, die sogar die Achsen eines Tunnels »einigermaßen zu bestimmen wußte«¹. Neben dem statischen Wissen bildete die statische Wissenschaft eine Welt für sich.

Im *Mittelalter* verschwindet diese selbst: in der Geschichte der Naturwissenschaften und daher auch in der gesamten Mechanik ist hier ein fast leeres Blatt. Aber wie in der Naturkunde des Mittelalters für die Ergebnisse wissenschaftlicher Forschung mannigfache Kenntnisse der natürlichen Vorgänge Ersatz boten, so auch in der Mechanik. Die »schiefen Türme« italienischer Städte verkörpern das sichere Vertrauen zur richtigen Schwerpunktsbestimmung selbst da, wo das naive Gefühl an der Stabilität zweifeln muß. Die mittelalterlichen Gewölbekonstruktionen vollends, die von tastenden Versuchen zu höchster Kühnheit aufstiegen, sind Ergebnisse einer durch jeden Bau und jeden — Einsturz vermehrten Erfahrung, die sich in einer immer größeren Summe praktischer Regeln fortpflanzte von Geschlecht zu Geschlecht, von Land zu Land.

Selbstverständlich spielte dabei die geometrische Figur eine Hauptrolle. Die Bauhütte stand allen offen, die — wie die Formel lautet — »nach den Regeln der Geometrie arbeiteten«.

Diese »Regeln« betrafen zweifellos auch statische Verhältnisse. Einen Nachklang daran bietet beispielsweise das bekannte, Bramante zugeschriebene Gutachten über den Vierungsturm des Mailänder Domes, wo für die »forteza«, die Stabilität dieses Turmes, an Stelle des Achtecks ein Quadrat mit dem Grundsatz empfohlen wird: »Chi in sul quadro s'afonda, sul drito s'aponta«². Das klingt wie ein statischer Memorialvers. Aber die Lehre, die es enthält, und die Cesariano 1521 in seiner Vitruvübersetzung bei gleicher Gelegenheit wiederholt, ist doch keinesfalls eine Entdeckung statischer Wissenschaft! Und gerade Cesarianos geometrische Schematisierung des Mailänder Turmes, dessen Querschnitt und Aufriß er in ein Gradnetz von gleichseitigen Dreiecken einzeichnet, bezeugt, daß es sich bei diesen vielerörterten »Triangulaturen« und »Quadraturen« »more Germanico« in erster Reihe nicht um die Ermittlung statisch wirkender Kräfte handelt, sondern um die statisch überzeugender Proportionen. Auch der Nachweis der Gegenwart, daß das gleichseitige Dreieck bei einer ganzen Reihe gotischer Kirchen den Aufbau tatsächlich bestimmt hat³, will und kann nur in diesem Sinne gedeutet werden. Er ist nicht sowohl ein Beitrag zur mittelalterlichen Statik als zur mittelalterlichen Ästhetik⁴. Geometrische Hilfskonstruktionen wurden vor allem beim Steinschnitt benutzt. Von ihrer Anwendung in den mittelalterlichen Bauhütten zum Zweck statischer Ermittlungen hören wir ebensowenig wie im Altertum.

¹ Merckel a. a. O., S. 592.

² Vergl. Boito, *Il Duomo di Milano*. Milano 1889, p. 230 f.

³ Vergl. besonders Dehio, *Untersuchungen über das gleichseitige Dreieck als Norm gotischer Bauproportionen*. Stuttgart 1894.

⁴ Über die Entwicklung der wissenschaftlichen Perspektive und ihre Beziehung zum konstruktiven Zeichnen vergl. C. Winterbergs Einleitung zu seiner Ausgabe der »*Prospectiva pingendi* des Petrus Pictor Burgensis« I. Straßburg 1899, S. 39 ff.

In der *Renaissance* mußte sich das Verhältnis zur Bautheorie ändern. Das lag im Geist der Zeit selbst. Die »causarum cognitio«, die Kenntnis von den Ursachen der Dinge, erschien als des Menschen würdigste Aufgabe. »Mußt zuerst die Theorie beschreiben und hierauf die Praxis!« — mahnt Lionardo da Vinci¹ — »sonst bleibst du ein Pilot auf einem steuerlosen Schiff!« In alle Künste drang das wissenschaftliche Bewußtsein von der Gesetzmäßigkeit der darzustellenden Natur²; den Malern dünkte insbesondere die *Perspektive* ein wahrer Talisman.

Welche Stellung erhielten nun Mechanik und Statik in der Architektur?

Zuverlässige Antwort darauf gibt die erste große Baulehre, die das Wollen und Wissen der italienischen Renaissancearchitekten zusammenfaßt: *Leone Battista Albertis* »De re aedificatoria« (1452 vollendet). Sein Anschluß an Vitruv³ ist ein mehr äußerlicher und wird für die hier maßgebenden Gesichtspunkte im wesentlichen nur dadurch wichtig, daß auch Alberti gleich Vitruv bei der Gesamtanordnung des Stoffs die »firmitas« und »utilitas« der Bauten ihrer »venustas« voranstellte. Daß er den Unterschied zwischen dem »Architekten« und dem »Bauingenieur« nicht kennt, ist selbstverständlich. Der Architekt ist für ihn der König über das gesamte Gebiet baulichen und konstruktiven Schaffens »Magna est res architectura!« Unter diesem Motto behandelt Alberti nach dem Muster Vitruvs also auch den Brücken- und den Wasserbau sowie einzelne Maschinenelemente. Er verlangt daher vom Architekten mechanisches und, wie vom Maler⁴, auch mathematisches Wissen⁵. So erörtert Alberti im Anschluß an Archimedes und Vitruv nicht nur die Mittel zum Heben und Fortbewegen von Lasten⁶, wie den Hebel, den Flaschenzug, Räder, Rollen, Walzen u. s. w., sondern auch die dabei maßgebenden Grundprinzipien des Gleichgewichts — »omnium est quidem ratio ex principiis ducta librae!« — und die der Bewegung⁷. Er verwahrt sich freilich selbst ausdrücklich dagegen, mit den Theoretikern von Fach etwa wetteifern zu wollen: nicht als Mathematiker, sondern als Baumeister wolle

¹ Vergl. Lionardo da Vinci, der Denker, Forscher und Poet. Ausgabe von Marie Herzfeld. Leipzig 1904, S. 2 f.

² F. Th. Vischer a. a. O.

³ Über das Verhältnis Albertis zu Vitruv vergl. Paul Hoffmann, Studien zu L. B. Albertis zehn Büchern, »De re aedificatoria«. Leipzig. Inaugural-Dissert. 1883. Leonis Baptistae Alberti . . . libri De re aedificatoria decem. Erste Druckausgabe Florenz 1485. Im folgenden nach der Pariser Ausgabe von 1512 zitiert. Italienische Ausgabe der ersten Bücher in den Opere Volgari ed. Bonucci. (Übersetzung von Bartoli.) Die Verbreitung in Frankreich besonders durch Fortunatus Duraeus und Geoffroy Tory de Bourges, in Deutschland durch Johannes Kircher aus Schlettstadt.

⁴ Vergl. den Anfang seines Buches: Della Pittura.

⁵ Darauf weist schon am Beginn seines ganzen Werkes seine berühmte »Definition« hin, »architectus« sei, wer »durch eigenes, wundersames Wissen und Können alles erlernt habe, was durch Bewegung und Verbindung körperlicher Gebilde in schönster Weise den Bedürfnissen der Menschen entspricht«. Ed. 1512, Fol. 1 »quaecumque ex ponderum motu corporumque compactione et coagmentatione dignissimis hominum usibus bellissime commodentur«.

⁶ A. a. O., Lib. VI, Cap. VI, Fol. LXXXVI. »Quemadmodum maximorum lapidum moles ac pondera facilius moveantur aliorum prius indicio: et naturali quidem ac philosophico«, und Cap. VII: »De trocleis (Flaschenzug) vestibis rotulis rotis et earum partibus magnitudine formis et figuris aptioribus«.

⁷ A. a. O., Fol. LXXXVII »rerum movendarum rationes«.

er über diese Dinge reden¹, allein er sagt doch, Zeichnen (pictura) und Mathematik seien für den Architekten so unerlässlich, wie für den Dichter Laute und Silben². Wie den Traktat über die Malerei, so beginnt er auch seine Baulehre mit den Elementen der Geometrie, mit Erörterungen des Punktes, der Linien, Winkel, Flächen u. s. w.³. Die mathematischen und mechanischen Kenntnisse, die Alberti vom Architekten verlangt, werden von ihm bereits in sichtlicher Beziehung zur Baukonstruktion formuliert, in der Mechanik: die Lehre vom Gleichgewicht, von der Bestimmung der Flächen und Körper nach Maß und Gewicht⁴; in der Geometrie: die auf die Verbindung von Winkeln, Zahlen und Linien gestützte Methode — »*peritia . . . quae angulis una et numeris et lineis mista ad usum est excogitata*«⁵. Das letztere könnte auf graphische und arithmetische Berechnungsweisen anspielen. Dafür spräche auch Albertis Bemerkung, er selbst habe auf diesem Wege oft erkannt, daß sein Entwurf undurchführbar sei — »*cum ad lineas redegissem, errores inveni*«⁶. Allein auch er scheint dabei doch nicht sowohl statische Verhältnisse im Sinne zu haben, als vielmehr wiederum die Proportionslehre in ästhetischer Hinsicht. Von den Zahlen und Maßen, den Quadrat- und Kubikwurzeln spricht er vorwiegend im Hinblick auf die Grundrißgestaltungen⁷ und insbesondere auf den musikalischen Rhythmus und die Formenharmonie (concinntitas)⁸. Und was Albertis Buch unmittelbar über statische Fragen enthält, vor allem über die Tragfähigkeit der Bogen und Gewölbe sowie über ihre Widerlager, beschränkt sich meist auf sachliche Angaben des Praktikers⁹. Daß die damit verbundenen theoretischen Fragen Alberti, der von seinem vierund-

¹ A. a. O., Fol. LXXXVIII. Die gleiche Stelle am Anfang des Traktats über die Malerei. Dennoch wurde Alberti von den Zeitgenossen sogar mit Euklid verglichen, so von Ugolini Verrini (de illustratione urbis Florentiae libri tres).

² A. a. O., Lib. IX, Cap. IX, Fol. CLI verso: »Verum pictura et mathematica non carere magis poterit quam voce et syllabis poeta. Atque haud scio an sit ea satis vel mediocriter praecepisse«.

³ A. a. O., Lib. I. De Lineamentis Cap. VI, Fol. IX ff.

⁴ A. a. O., Lib. IX, Cap. IX, Fol. CLI verso »Qualia sunt quae de ponderibus, de superficiebus corporibusque metiendis traduntur: quae illi (die Mathematiker von Fach) podismata embadaque (Vitruv) nuncupant«. Emabata. cf. Embater. Vitruv. = Grundmaß modulus = $\frac{1}{2}$ U.D.

⁵ A. a. O.

⁶ A. a. O., Lib. IX, Cap. IX, Fol. CLI verso: »De me hoc profiteor, multas incidisse saepius in mentem conjectationes operum, quae tum quidem maiorem in modum probarim eas cum ad lineas redegissem, errores inveni in ea parte ipsa quae potissimum delectasset, et valde castigandos. Rursus cum perscripta pensitavi, et numero metiri adorsus sum, indiligentiam cognovi meam atque redargavi.

⁷ A. a. O., Lib. IX, Cap. III, Fol. CXXXIX und Cap. VI, Fol. CXLIV. »Numerorum in dimetiendis arcis correspondentia« vergl. die Erörterungen der Tempelgrundrisse Lib. VII, Cap. IV, Fol. XCIX.

⁸ A. a. O., Lib. IX, Cap. V, Fol. CXLIII ff.

⁹ So fordert er für die Stärke der Brückenpfeiler ohne weitere Begründung ein Drittel der Spannweite. (A. a. O., Lib. VIII, Cap. VI, Fol. CXXXVI verso: »Pilae fient inter se numero et amplitudine comparēs. Earum crassitudini dabitur apertionis tertia«. — Schon Hoffmann hat a. a. O., S. 42 hervorgehoben, daß Alberti, während er sich über Steinbrücken ziemlich ausführlich äußert, von Holzbrücken nur Caesars Beschreibung der Rheinbrücke (de bell. Gall. IV, 17) gibt: ein Beweis dafür, »wie für Alberti eine Sache durch die Berufung auf die Antike erledigt wird«. Daß der zuverlässigste und leistungsfähigste Bogen der Rundbogen bliebe, sei evident und ließe sich auch theoretisch beweisen (»ratione argumento«); er dürfe aber nicht kleiner sein als der Halbkreis vermehrt um ein Siebentel des Radius. (A. a. O., Lib. I, Cap. XII, Fol. XVI [»arcus rectus«]: »Sed omnibus apertionibus quibus arcus ducitur curandum est, ut ille quidem arcus non minor quam circuli dimidia pars parte addita semidiametri septima.« »Nam apud peritos compertum affirmant, hunc esse omnium suum ad perennitatem accomodatissimum. Ceteros vero omnes arcus esse putant imbecilles ad ferendum onus: et promptos atque expositos ad ruinam«. Vergl. a. a. O., Lib. III, Cap. XIII, Fol. XLIII.

zwanzigsten Jahre an mit Vorliebe mathematische Studien trieb, besonders stark angezogen und beschäftigt hätten, ist aus seinem Lehrbuch jedenfalls nicht ersichtlich, obschon dasselbe doch sonst so ungemein ausführlich bei technischen Dingen verweilt. Allerdings begnügt sich der »scrutator assiduus«, der im Forschen Unermüdlische, nicht mehr mit den nackten Regeln, sondern er ordnet diese dem ganzen, mit weitem Blick für den Zusammenhang der Dinge entworfenen Lehrgebäude ein; aber man spürt, daß diesen Regeln selbst doch noch immer lediglich die alten, vereinzelt, in ununterbrochener Überlieferung während des Mittelalters erhaltenen Erfahrungen zu Grunde liegen. Von der Mathematik und Mechanik bietet schließlich auch Alberti nur »das Allergewöhnlichste und Unentbehrlichste«. Das Verhältnis der Theorie zur Praxis ist auch hier noch höchstens das der Erklärung zur bekannten Tatsache, keinesfalls die Ableitung von Einzel Tatsachen aus einer allgemeinen, wissenschaftlichen Theorie. Der gebildete Humanist, der zu seinesgleichen spricht, steht ungleich höher als Vitruv und vollends als die Werkleute der mittelalterlichen Bauhütte, aber ein Zeuge für die Ausbreitung statischer Wissenschaft ist er nicht.

Ebensowenig ist es der Mann der architektonischen Tat, der auch in seinem Wissen so recht das Idealbild Albertis vom Renaissancearchitekten erfüllt: *Brunelleschi*¹, trotz seiner immer wieder gerühmten Fähigkeit, schwierige Hebevorrichtungen und Aufzugsmaschinen zu ersinnen, und trotz seiner konstruktiven Meisterleistung, der Einwölbung der Florentiner Domkuppel.

Brunelleschi ist vor allem Konstrukteur und Baumeister, Alberti Humanist; das Forschen als Selbstzweck dagegen verkörpert sich in *Lionardo da Vinci*. Durch die ungeheure Gedankenwelt seiner aphoristischen Aufzeichnungen rauscht der Geist der Zukunft. Auch er geht von der Empirie aus, aber »er erhebt sie zu einer Methode, und damit beginnt die moderne Zeit, die moderne Wissenschaft«². Und gerade bei Lionardo erhalten die »mathematischen Wissenschaften« eine Stellung wie nie zuvor. »Wo man sie nicht anwenden kann«, gibt es für ihn überhaupt »keine Gewißheit«³. Die Probleme des Gleichgewichts und der Bewegung durchdenkt er als Ergebnisse von Naturgesetzen und löst sie in einer ganzen Reihe von Einzelfragen vor Stevinus, Ubaldi, Galilei. Er setzt sie bei seinen Maschinen auch in die Praxis um⁴. Wenn irgend einer unter den Forschern und Künstlern der Renaissance, so wäre Lionardo zum Begründer einer »statischen Wissenschaft« berufen gewesen. Allein tatsächlich erörterte er nur einige ihrer Grundlagen. Der Weg, der von diesen

De flexilinea tectis, arcibus, eorum differentia et extruptione. Mit Berufung auf den Ausspruch Varros: »in arcuatis operibus dextra non magis stare ex sinistris quam sinistra ex dextris). »Beim Halbkreisbogen seien Zugstangen unnötig.) Doch betont auch Alberti schon, daß die Tragkraft des Spitzbogens durch die Belastung wachse. (»Tam etsi compositi arcus istiusmodi ponderibus confirmantur superadiectis magis quam opprimantur.«) Bei Albertis Erörterung der verschiedenen Gewölbearten, bei der er von Vitruv ganz unabhängig bleibt, tritt der statische Gesichtspunkt überhaupt wenig hervor. (A. a. O., Lib. III, Cap. XIV, Fol. XLIV ff., vergl. auch Hoffmann a. a. O., S. 49, wo Albertis Selbständigkeit betont wird.)

¹ Vergl. C. v. Fabriczy, Filippo Brunelleschi. Stuttgart 1892. Kap. VIII, Brunelleschi als Ingenieur und Mechaniker, S. 339 ff.

² Marie Herzfeld a. a. O., Einleitung S. CX.

³ A. a. O., Text S. 3.

⁴ Vergl. neben den Schriften Paul Müller-Waldes besonders: Hermann Grothe, Lionardo als Ingenieur und Philosoph.

zu den statischen Aufgaben der Baukonstruktionen führt, lag abseits der Pfade Lionardos, dessen Allseitigkeit ohnehin gerade die Architektur das fernste Gebiet blieb, und der jede nur formelhafte Fassung eines wissenschaftlichen Ergebnisses verschmähte. Ferner aber: seine Kenntnisse waren das Sonderwissen eines Begnadeten, der seiner Zeit mit den Riesenschritten des Genies vorausgeeilt war und seine Entdeckungen für sich selbst machte und behielt. Aus Lionardos mathematischen und mechanischen Erörterungen auf das Allgemeinwissen der Architekten seiner Zeit zu schließen, wäre ebenso verfehlt, wie etwa aus dem Gesichtskreis Dantes die gleichzeitige Durchschnittsbildung ermitteln zu wollen.

Etwa 120 Jahre nach dem Werk Albertis erhielten die italienischen Renaissancearchitekten ein neues »Lehrbuch«, diesmal von einem Baukünstler, dessen höchste Bedeutung gerade auf der inneren Gesetzmäßigkeit seines Schaffens beruht. *Andrea Palladio* ward der Gesetzgeber der Baukunst für Jahrhunderte¹. Aber seine Lehre ist im wesentlichen Formenlehre. Der humanistische Zug zu allumfassender Wissenschaftlichkeit, der Alberti bestimmt, tritt bereits zurück. Zu seiner Befriedigung genügte das nun allgemein verbreitete Werk Vitruvs. Und in *Palladios* Lehrbuch der Architektur, dessen dritte Abteilung als »Öffentliches Bauwesen« den Straßen- und insbesondere den Brückenbau sehr ausführlich behandelt, der bei dem letzteren als Rekonstruktionen² und Entwürfe Palladios selbst einige der wichtigsten Beispiele der hölzernen Hänge- und Sprengwerke der Renaissance zeigt, ist von statischen Grundsätzen und überhaupt von statischen Gesichtspunkten weitaus weniger die Rede als in dem Buch Albertis. Auch das ist ein Zeichen der Zeit! Die Hochrenaissance betrachtete die wissenschaftlichen Kenntnisse nicht mehr als Entdeckerin, sondern schon als Besitzende. Das konstruktive Können des Architekten wird vorausgesetzt. Die Hauptkunst ist auf das Formale eingestellt. In Vignolas Lehre von den Säulenordnungen gewinnt dies völlig die Oberhand. Ähnlich wie die Italiener dachte in Frankreich *Philibert de l'Orme*, ja er sieht in dem Anwachsen theoretischer Studien eine Grundgefahr für die Architektur: »Il nous faut penser, qu'il y a aujourd'hui peu de vrais architectes, il en est qui se sont arrêtés aux lettres seules et démonstrations géométriques, ce qui fait que seulement ils ont suivi l'ombre de ce beau corps d'architecture, sans aucunement parvenir à la vraie connaissance de l'art!«

So erscheint also die gesamte Baukunst der Renaissance auch im Spiegel ihrer Lehrbücher mehr als eine Glanzzeit konstruktiven und künstlerischen Könnens als theoretischen Wissens.

Das bezeugen auch ihre Werke selbst. Die heutige wissenschaftliche Statik kann die Kuppelkonstruktionen des Florentiner Domes und der Peterskirche nicht in jeder Hinsicht gut heißen, aber diese Riesenwölbungen, ihrem Umriß nach die schönsten der Welt, stehen noch heute, und ihre Spalten, Verbeulungen und Verzerrungen sind weniger die Folgen schlechter konstruktiver Maßnahmen als schlechter Ausführung. Dennoch kommt auch der beste heutige Kenner dieser Konstruktionen, Joseph

¹ Erste Ausgabe: I quattro libri dell' architettura. Venezia 1570.

² Dabei spielt, wie bei allen Gelegenheiten dieser Art, Caesars Rheinbrücke eine Hauptrolle. Vergl. zu ihr auch Merckel a. a. O., S. 286 f.

Durm¹, zu dem Schluß, daß diese Renaissancemeister wohl nicht »gerechnet« haben, daß sie sich auch »über gewisse Kräftewirkungen nicht immer im klaren waren«. Aber »ihr sicheres statisches Gefühl, gebildet an den Konstruktionen ihrer Vorfahren, die sie auf Herz und Nieren prüften, und die ihnen in Fleisch und Blut übergingen, hat sie nie im Stiche gelassen«. Freilich waren sie eher zu vorsichtig als zu kühn. Sie vervielfältigten die statisch wirksamen Mittel und erreichten den Schein leicht aufsteigender Wölbung mit einem großen Aufwand von Material. »Rationelle Konstruktionen« sind diese Steingewölbe der Renaissance nicht!

Eher noch sind es die *hölzernen Dachstühle* und die als Hänge- und Sprengwerke zusammengesetzten Baugerüste. An ihnen ließen sich die *Wirkungen der Zug- und Druckkräfte* unmittelbarer erproben und studieren.

Allein um solche Erwägungen vom Bau- und Zimmerplatz in die Studierstube des Gelehrten hinüberzutragen zu wissenschaftlich systematischer Durcharbeitung, dazu bedurfte es einer vollständigen Wandlung des ganzen geistigen Lebens. Was der Genius Lionardos einst in seiner verschwiegenen Riesenwerkstatt begonnen hatte, gewann in *Galilei* und *Newton* die werbende Kraft reformatorischer Gedanken und drang mit unaufhaltsamer Macht vorwärts. Und gerade die Gesetze der Körperwelt hatten dabei die ersten und höchsten Probleme geboten und die am gewaltigsten nachwirkenden Lösungen gefunden. Daran mußten auch die spezielleren »statischen« Grundlehren teilnehmen. Nun in der Tat beginnt seit dem Altertum die zweite Hauptperiode ihrer wissenschaftlichen Theorie². An ihrer Spitze steht das von *Galilei* selbst behandelte und nach ihm benannte statische »Problem« des Balkens, dessen eines Ende in eine Wand eingemauert ist und der durch sein eigenes oder ein hinzugefügtes Gewicht zum Bruch kommt: die erste »Theorie der Biegefestigkeit«³.

Galilei ward auch zum Förderer rationaler Konstruktion; er fand, daß Hohlkörper den Biegekräften wesentlich besser widerstehen als gleich schwere Vollkörper.

1. Statische Theorien.

Die Grundprinzipien der eigentlichen *Statik* als der Lehre vom Gleichgewicht sind in den Zeiten Galileis bereits vollständig erkannt. Ihre weitere wissenschaftliche Entwicklung geht derjenigen der *Dynamik*, als der ebenfalls mit Galilei beginnenden Lehre von der Bewegung der Körper, parallel.

Die Vervollkommnung der Elastizitätslehre, insbesondere der Theorie der Biegefestigkeit, durch *Hooke* und *Mariotte* bis zu den von *Euler* aufgestellten Gleichungen

¹ Vergl. Zwei Großkonstruktionen der italien. Renaissance. Zeitschr. f. Bauwes. XXXVII, 1887, Heft VII—IX und: Die Kuppel der Kirche Sa. Maria dell' Umiltà in Pistoja a. a. O., 1902.

² Die folgende geschichtliche Skizze stützt sich insbesondere auf G. Chr. Mehrrens, Vorlesungen über Statik der Baukonstruktionen und Festigkeitslehre. I. Bd. Leipzig 1903, S. 77 ff. — Vergl. G. Winkler, Abriß der Geschichte der Elastizitätslehre in Techn. Blätter. 1879. — Navier-Saint-Venant, L'application de la mécanique. III^e. édit. Paris 1864. S. XC ff. »Historique abrégée des recherches sur la résistance et sur l'élasticité des corps solides.« — Cantor, Geschichte der Mathematik.

³ Fortgesetzt für den auf beiden Enden unterstützten Balken durch Blondel (1661), Marchetti (1669), Fabri und Grandi (1660—1700), vergl. Mehrrens a. a. O., S. 77.

für die Knickfestigkeit förderte auch die Berechnung der Stabwerke. Im letzten Drittel des 18. Jahrhunderts gibt *Coulomb* die richtige Lage der Gleichgewichtachse (der »neutralen Linie«), berechnet die in ihrer Bedeutung schon von *Lionardo* erkannten »Momente« der statischen Kräfte und berücksichtigt zum ersten Male die in der Querschnittsebene auftretenden »inneren Kräfte«, die Scherspannungen.

Hand in Hand mit diesen Entdeckungen selbst hatten sich auch die analytischen und synthetischen Methoden ihrer Darstellung vervollkommen. Zum numerischen Rechnen trat — besonders durch *Vieta* (1540—1603) — das Buchstabenrechnen mit abstrakten Größen, die Algebra; »der Ausdruck für die Beziehungen zwischen Ursache und Wirkung, zwischen dem Ganzen und seinen Teilen wurde die »Gleichung«. Derselbe *Vieta* führte der Analysis die graphische Darstellung zu, die dann im »*Traité de Gnomonique*« des *de la Hire* 1682 zur systematischen Begleitung und Ergänzung der arithmetischen Operation und der algebraischen Formel wurde. Die Stabilitätsuntersuchungen ließen sich also nach Formeln in numerischen Tabellen und nach verhältnismäßig einfachen graphischen Darstellungen ausführen, und in der Tat folgten sich nun Tabellen und Hilfsbücher solcher Art sehr schnell. Am bekanntesten und verbreitetsten wurden die französischen Werke eines *de la Hire*, *Parent*, *Fresier*, dann eines *Bélibor* und *Bossut*.

Dennoch blieb bis zum Ende des 18. Jahrhunderts in den Kreisen der Architekten und der Bauingenieure noch immer die praktische Erfahrung die einzige als zuverlässig erkannte und verwandte Macht. Belege dafür bieten wie in der Renaissance die übrigens auch damals noch sehr vereinzelt *theoretischen Baulehren*, insbesondere für den Brückenbau. Sie verwenden bereits jene genau detaillierten Pläne und Tabellen für die Stärke der Hölzer, wie sie beispielsweise *de la Hire* in seinem »Traktat von Zimmerwerken« für verschiedene Trägerlängen aufgestellt hatte. *Leupold*, der seinem 1726 im Anschluß an den französischen Ingenieur *Gautier* veröffentlichten »*Theatrum pontificale*« oder »Schauplatz der Brücken und Brückenbauer« die *La Hiresche* Tabelle beifügt¹, rühmt: »Es ist nun soweit gekommen, daß man weiß, wie dick und lang die geschnittenen Hölzer sein müssen, eine gewisse Gewalt bei einer Brücke oder einem anderen Werk zu erhalten. Die Extrema soll man vermeiden, wozu die Praxis gute Vorteile lehret. So man die Dicke und Länge der Hölzer nach einer gewissen Einteilung machet, ist man vor das Einfallen sicher. Diese Einteilung oder dieser Entwurf soll deutlich zeigen, wieviel Holz nötig, ihre Maße, seine Natur, Unterschied und Eigenschaften und endlich ein jedes Stück zu seinem Gebrauche bemerken«. Alle diese Angaben sind noch Erfahrungswerte, ohne Erläuterung der Berechnungsmethoden, und wie weit man darin noch zurück war, lehrt beispielsweise die ebendort abgedruckte Bemerkung *Gautiers* über die Widerlager steinerner Brücken: »Die alten gaben den Pfeilern von den Brücken zu ihrer Dicke den dritten Teil von der Weite des Bogens, welche Dicke sie zuweilen bis auf die Hälfte der Weite vergrößerten; heutzutage hat man gefunden, daß diese Dicke zu groß und hat sie kleiner angenommen als $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{5}$ der Weite des Bogens. Weder die Alten noch die Neuen wissen *raison* darin zu geben, und so sie heutzutage gefordert würde, dürfte man in eben der Not stecken.«

¹ Vergl. Merckel, Zur Geschichte der Technik. Deutsche Bauztg. 1888, Nr. 46.

Um die Ausnützung dieser »raison« für die praktische Baukunst hatten sich die *Mathematiker* im 18. Jahrhundert selbst überhaupt nur wenig bemüht, und die Sprödigkeit der Architekten ihren Lehren gegenüber fand einen Hauptgrund in ihrer fast ausschließlich praktischen und formalen Schulung, von denen die letztere im wesentlichen auf die antik-klassischen Stile eingeschränkt blieb. Dieses Verhältnis betont schon 1789 der Mathematiker *Franz Gerstner*, wenn er in seiner als Doktor-dissertation der Prager Universität gedruckten kleinen »Einleitung in die statische Baukunst« sagt: »Bei den Fortschritten welche die mechanischen Künste seit einem Jahrhundert mit Hilfe der höheren Mathematik machten, traf die Baukunst das unverdiente Schicksal, ziemlich weit hinter den übrigen zurückzubleiben. Leibnitz und die Bernoulli hatten zwar auch einigen Samen zu ihrer Vervollkommnung gestreut, indem sie die Kettenlinie für die schicklichste zu Gewölben erklärten. Allein außerdem, daß sich diese Linie *mit dem guten Geschmack der Alten nicht vertragen wollte*, konnten oder wußten die Baumeister von derselben keinen vorteilhaften Gebrauch zu machen, weil sie mehr die Schwerpunkte der Gewölbesteine als die Lehrbögen anzugehen schien.« Auch die seitens der Mathematiker — wie 1793 von *Helpfenrieder*, Professor der Mathematik und Doktor der Theologie (!) an der Universität in Ingolstadt, mit seinen »Beiträgen zur bürgerlichen Baukunst« — in mehr populärer Form unternommenen Annäherungsversuche zwischen Mathematik und Praxis blieben erfolglos. Sie wurden von den Baupraktikern zuerst sogar mit größter Heftigkeit zurückgewiesen.

Der klassische Boden für diesen heute schon vergessenen und doch recht denkwürdigen Kampf ist wiederum Paris, und zwar unmittelbar vor und nach der Revolution. Der beredteste Gegner der Theoretiker war damals der tüchtige, aber bis zur Beschränktheit einseitige Architekt *Charles François Viel*, Baumeister der Pariser Hospitäler, Mitglied des »conseil des travaux publics« etc. Er veröffentlichte schon 1797 in seinem Hauptwerk: »Principes de l'ordonnance et de la construction des bâtiments«, neben den heftigsten Angriffen auf Soufflots teilweise von Mathematikern berechnete Konstruktionen an St. Geneviève (dem jetzigen Pantheon) und auf die Seinebrücke Peronnets, ein »Des dangers et de l'abus de la science du trait« überschriebenes Kapitel¹. Aber dort beschränken sich seine Einwände im wesentlichen noch auf *ästhetische* Bedenken gegen Konstruktionen die dem »emploi des masses« widersprächen. Später, nachdem insbesondere der Gewölbeeinsturz des Pantheons 1804 die Zuverlässigkeit der Berechnungen auch vor der öffentlichen Meinung erschüttert hatte, schrieb Viel sein voluminöses Buch: »De l'impuissance des mathématiques pour assurer la solidité des bâtiments. 1805« und ging in einer ganzen Reihe von Gelegenheitsbroschüren zu einer immer heftigeren Tonart über, die sich während des Baues der Madeleinekirche in heute besonders ergötzlichen Tiraden äußerte: »En architecture, pour la solidité des édifices, les calculs compliqués, hérissés de chiffres et de quantités algébriques, avec leurs ,puissances', leurs ,radicaux', leurs ,exposans', leurs ,coefficients' ne sont nullement nécessaires.« »Il faut se défendre d'autant plus aujourd'hui de l'influence funeste des machinistes des savans en x , y , z (!) pour les constructions.«

Das ließ Viel 1818 drucken, sieben Jahre nach der Vollendung des ersten, großen, lediglich durch statische Berechnung ermöglichten Eisenhochbaues! Es war die

¹ A. a. O., S. 199 ff. (Kap. XXXIV).

1809—1811 ausgeführte Kuppel der *Halle au blé* in Paris. Das einst von Philibert de l'Orme entworfene, 1783 von Roubo erneuerte Bohlendach dieser Halle war bereits 1802 durch Brand zerstört worden, und die Frage, wie es feuersicher zu ersetzen sei, stand jahrelang im Vordergrund aller beteiligten Interessen. Sie schürte den Gegensatz der alten und der neuen Schule zu hellen Flammen an. Projekt folgte auf Projekt. Auch Viel¹ beteiligte sich daran mit dem Entwurf eines mächtigen Steingewölbes. Zuletzt aber drang 1809 der kühne Entwurf des Architekten *Bellanger* durch, die 40 m Spannweite erfordernde Kuppel aus gußeisernen Rippen zu errichten und mit Kupferplatten einzudecken, und für diesen Entwurf lieferte der Ingenieur *Brunet*² nur auf *rechnerischem Wege* die *genaue* Detaillierung, die Bestimmung der Gesamt konstruktion und die Angabe aller Maße³. Das ist nicht nur in der Geschichte des Eisenbaues ungemein wichtig — große eiserne Brücken waren schon zuvor errichtet worden —, es ist vor allem der Anfang jener Machtstellung, den das *statische Rechnen* im heutigen Eisenbau einnimmt. Der Tragweite des ganzen Ereignisses war man sich in Paris übrigens wohl bewußt, und der Einweihung des Baues 1811 wohnte sogar der Kaiser Napoleon bei. Aber der persönliche Streit zwischen den »Statikern« und »Praktikern« bestand fort. Er war nur die Sonderform jenes seit dem Ende des 18. Jahrhunderts ausgebildeten Gegensatzes der »constructeurs« und »ingénieurs« zu den »architectes«. Über das rechte Ziel schossen beide hinaus. Jene behaupteten, in der Architektur »beruhe *alles* auf Geometrie«, die ganze Baukunst sei eine »Tochter der mathematischen Wissenschaften«, deren »naturalisation scientifique« (!) unerlässlich werde — die »architectes« dagegen leugneten die Zuverlässigkeit der Theorien, stellten — wie Viel — ganze Listen der Bauten auf, die »trotz der Berechnung eingestürzt seien«, und wiesen auf die bei jedem Kunstwerk entscheidende Macht des »persönlichen Genies«⁴.

Inmitten dieser Streitrufe aber arbeitete einer der besten Baupraktiker und zugleich ein zum Lehren ungewöhnlich begabter Theoretiker, Soufflots größter Schüler *Rondelet*, an seinem noch heute berühmten und brauchbaren »*Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*« (Paris 1812—1817), wo die statische Berechnung zum ersten Male als ein wesentlicher Teil der Konstruktionslehre behandelt ist⁵, und gleichzeitig wurden die gesamten statischen und dynamischen Theorien seitens der mathematischen Wissenschaft selbst nicht nur von neuem geprüft und verbessert, sondern ebenfalls zu einem großen Lehrgebäude verbunden. Auch dies geschah durch einen Franzosen: durch den als Gelehrter und Praktiker gleich bedeutenden Ingenieur *Louis Navier* (1785—1836). Sein Hauptwerk »*L'application de la mécanique*«

¹ Viel, Dissertation sur la Halle au blé à Paris.

² Brunet, Dimensions des fers qui doivent former la coupole de la Halle au blé. 1809.

³ Vergl. Benoit a. a. O., S. 22 ff.

⁴ Vergl. Benoit a. a. O., S. 24. Dieses Mißtrauen währte in den Pariser Kreisen bis in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts. Besondere Nahrung erhielt es durch den Einsturz der zum Teil aus Schmiedeeisen konstruierten großen basilikalen Markthallen von Paris 1842. Vergl. Försters Bauzeitung 1838, S. 30, Bl. 185; 1840, S. 280; 1844, S. 165.

⁵ Rondelets Werk wurde 1823 ins Deutsche übertragen, in Deutschland selbst aber hatte bereits David Gilly seit 1797 mit seinem »Handbuch der Landbaukunst« (3. Bde., Berlin-Halle; der 3. Bd. 1811 von Friederici) erfolgreich einen ähnlichen Weg beschritten.

à l'établissement des constructions et des machines«¹ (1. Ausg. 1826, Paris) ist ein Markstein in der Geschichte aller hier in betracht stehenden Fragen. Sein Hauptzweck war, der »herrschenden Praxis« eine wissenschaftliche Lehre an die Seite zu stellen. In der Vorrede heißt es noch 1826: »La plupart des constructeurs déterminent les dimensions des parties des édifices ou des machines d'après les usages établis et l'exemple des ouvrages existants; ils se rendent compte rarement des efforts que ces parties supportent et des résistances qu'elles opposent . . . L'objet de ces „Résumés“ — unter diesem Titel erschien das Naviersche Werk zunächst als Leitfaden seiner Vorlesungen an der École des ponts et chaussées — »est d'exposer les conditions de l'établissement des constructions que les ingénieurs dirigent, et de mettre à même de vérifier le degré de résistance de chacune de leurs parties.«

In Naviers Werk ist der Theorie der hölzernen und eisernen Stabwerke der letzte Abschnitt gewidmet, er behandelt aber fast ausschließlich die Sprengwerke. Die Berechnung und Theorie des *gegliederten Trägers*, des im heutigen Eisenbau wichtigsten Faktors, hat die schon durch den Herausgeber Naviers *Saint Venant* beschleunigten Fortschritte der Elastizitätslehre während der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts zur Voraussetzung, gehört aber als selbständige, den in ihnen gegebenen statischen Bedingungen entsprechende Methode erst der zweiten Hälfte an. Bahnbrechend waren dafür die Arbeiten der Theoretiker, des Deutschen *Culmann* und des Italieners *Cremona* 1851. Das erste allgemeine einfache und praktische Verfahren der Berechnung von durchgehenden Trägern stammt aus dem Jahre 1857 von dem Ingenieur *Clapeyron*, der es damals »beim Bau großer Eisenbrücken verwandte«. (Mehrtens).

2. Graphische Darstellungsmethoden.

Bald darauf gesellte sich diesen Theorien und Berechnungsmethoden ein bedeutender, auch auf ihre Erweiterung zurückwirkender Fortschritt ihrer *Darstellungsmethoden*. Das geschah durch den Bund der analytischen Untersuchung mit der synthetischen, die im wesentlichen von geometrischen Anschauungen ausgeht.

Auch dafür war der Boden schon im 16. und 17. Jahrhundert bereitet worden², vor allem durch *Simon Stevinus* (1548—1603), der zuerst die Größe der Kräfte als Längen ihr parallel laufender gerader Linien darstellte. Erst von da an ward das Dreieck auch als statisch wichtigste Figur des Baues wissenschaftlich erkannt. Stevinus selbst fand 1576 auf graphischem Wege: »daß drei auf einen Punkt wirkende Kräfte sich das Gleichgewicht halten, wenn sie parallel und proportional den drei Seiten eines rechtwinkligen Dreiecks sind«³.

1687 veröffentlichte dann *Newton* den Satz vom »Parallelogramm der Kräfte« und gleichzeitig *Varignon* das »Kräftepolygon« und das »Seilpolygon«: die Fundamente der »graphischen Statik«. Allein in der mit *Leibnitz'* Infinitesimalrechnung

¹ Zuerst 1824 nur für seine Hörer, dann 1826 unbeschränkt veröffentlicht; viele neue Bearbeitungen und Übersetzungen. (III. Ed. von Barbé de Saint-Venant. Paris 1864; dort S. XXXIX ff. Biographie und Bibliographie Naviers). Die »Résistance des corps solides« ist im ersten Band behandelt.

² Zum Folgenden vergl. besonders J. J. Wehrauch, Über die graphische Statik. Leipzig 1874.

³ De Beghinselen der Weegkonst s. Statica. 1586.

beginnenden Hauptepoche der *analytischen* Methoden, wie sie für die Mechanik Lagrange 1788 in seiner »Mécanique analytique« zusammenfaßte, lagen die rein geometrischen Probleme brach. Das änderte sich erst, als *Monge* die Grundzüge der »darstellenden Geometrie« gegeben hatte¹, doch kam diese praktisch nur dem Bauzeichnen zugute. Die Anwendung graphischer Methoden auf die Baustatik, die »geometrische Statik«, wurde zunächst durch *Poinsot* (*Eléments de Statique*, Paris 1804), vorbereitet. Beim Bogen- und Gewölbebau sowie auch bei der Tischlerei hatten die geometrischen Hilfskonstruktionen und insbesondere die Ausmittlung der Kurven schon seit dem 17. Jahrhundert eine große Rolle gespielt². An der Pariser Académie d'Architecture bildete vor der Revolution die »Ecole de trait« eine eigene Sektion. Zwei Jahrzehnte später (1818) gliederte sich der Unterricht in die Abteilungen: 1. Architecture, 2. Mathématique, 3. Stéréotomie, Construction. Man behandelte also die vom Steinschnitt ausgehenden geometrischen Methoden innerhalb der Konstruktionslehre — zu großer Unzufriedenheit Viels³, der darin eine Herabwürdigung des »constructeur« zum »appareilleur« (Steinmetz) sah. Selbst noch Poncelet bediente sich der geometrischen Konstruktionen im wesentlichen nur als einer Hilfe bei der Ableitung schwieriger analytischer Formeln und als Ergänzung zu deren Ergebnissen. Lamé und Clapeyron zeichneten 1827 die Kettenlinien der über 300 m langen Kettenbrücke für St. Petersburg nach dem Kräfte- und Seilpolygon. Die ersten, die rein geometrische Stabilitätsbestimmung der Bauwerke als allgemein gültige Hauptmethode empfahlen, waren der Deutsche *Möbius* (1827) und der Franzose *Cousinery*, der in seinem »Calcul par le trait«, Paris 1839, das System und praktische Beispiele des »graphischen Rechnens« gab. Cousinery bediente sich dabei der Perspektive, noch nicht der »Neueren Geometrie«, der durch Poncelet begründeten und von v. Staudt zu einer besonderen Wissenschaft erhobenen »Geometrie der Lage«. Darauf erst beruht die von dem Schweizer *Culmann* geschaffene »Graphische Statik« (1. Aufl. Zürich 1866), ein »Versuch«, »die einer geometrischen Behandlung zugänglichen Aufgaben auf dem Gebiete des Ingenieurfaches mit Hilfe der neueren Geometrie zu lösen.«

Sie bietet die wissenschaftliche und zugleich praktische Ausnutzung der zwischen dem Kräfte- und Seilpolygon bestehenden Beziehungen, und in dieser Hinsicht einen Schlußstein des mit Newton und Varignon beginnenden Ausbaues der ganzen geometrischen Statik. Was Culmann selbst 1866 bescheiden nur einen »Versuch« genannt hatte, ist heute eine anerkannte und unentbehrliche Hilfswissenschaft der Konstruktionslehre, an deren Weiterbildung neben Culmann selbst besonders *Cremona*, *Maxwell*, *Mohr* und *Müller-Breslau* beteiligt sind.

Durch die innigere Fühlung der mathematischen Wissenschaft mit der Praxis wurden dieser aber auch wissenschaftlich zuverlässige und auch bei nicht höherer mathematischer Schulung doch leicht anwendbare Methoden zur Verfügung gestellt. Eine solche ist vor allem die »Elementare Theorie und Berechnung eiserner Dach-

¹ Géométrie descriptive. Paris 1788.

² Wie vielseitig diese »art du trait« insbesondere bei den Holzkonstruktionen angewendet wurde, zeigt am besten wohl Roubos großes Lehrbuch der Tischlerei: »L'art du menuisier«. Paris 1769—1775.

³ Vergl. besonders: De la chute imminente de la science de la construction des bâtiments etc. 1818. S. 25.

und Brückenkonstruktionen« von *August Ritter* (1. Aufl. Hannover 1862), welche die Bestimmung der Spannungen analytisch nur auf die Methode der »statischen Momente«, also nur auf die elementarsten Kenntnisse in der Mechanik zurückführt. — Auch der Behandlung »statisch unbestimmter« Fachwerke, deren »analytische Bestimmung seit Navier besonders durch *Clapeyron* und *Castigliano* auf neue Bahnen geführt worden war, gab die graphische Statik einfache und zuverlässige Methoden an die Hand. Neuerdings ist sie insbesondere an der Arbeit gewesen, mit Hilfe der 1835 von Ampère begründeten geometrischen Bewegungslehre (Kinematik) das allgemeinste Gesetz der Statik, das Prinzip der »virtuellen Verschiebungen«, auf das Fachwerk anzuwenden.

Die wissenschaftliche Zusammenfassung aller heut maßgebenden »Methoden der Festigkeitslehre und der Statik der Baukonstruktionen« ist das Verdienst eines Deutschen, der diese Methoden selbst außerordentlich bereichert hat: *Müller-Breslaus*. Seine beiden groß angelegten Lehrbücher schließen in der Geschichte der statischen Wissenschaft diese zweite, glänzende Periode ab, deren Beginn das Lebenswerk des Franzosen Navier bezeichnet.

* * *

Die theoretische Festigkeitslehre ist auch heute ihren Zielen noch fern. In der Statik des Hochbaues harren noch viele aktuelle Probleme der Lösung, und jede Großkonstruktion kann sie vermehren. Vor der Schärfe der heutigen wissenschaftlichen und ökonomischen Ansprüche halten die alten Festigkeitsberechnungen nicht immer stand, indem sie das Material unzweckmäßig auf die einzelnen Glieder des Bauwerkes verteilen. Daß sie gleichwohl in Hunderten von Fällen sich »bewährt« haben, erklärt der Statiker sehr hübsch als eine Folge der »Schlauheit des Materiales«, womit gemeint ist, »daß dort, wo eine statisch unbestimmte Konstruktion am starrsten und widerstandsfähigsten ist, auch die angreifenden Kräfte aufgenommen werden, und die schwächeren Teile eines Bauwerkes gerade wegen ihrer Nachgiebigkeit kleinere Beanspruchung erfahren«.

Allein im Vergleich mit allen früheren Jahrhunderten der Baugeschichte darf man sagen, daß das Bauen im 19. Jahrhundert im statischen Rechnen ein neues, großes sicheres und fortan unentbehrliches Mittel zur Lösung seiner konstruktiven Aufgaben erhielt. Und dieses Mittel ist seit einem Menschenalter auch Allgemeingut der Fachkreise. Die Riesenliteratur der Baukunde überliefert es in allen Formen, vom streng theoretischen Lehrbuch bis herab zum tabellarischen Handbüchlein. An den technischen Hochschulen, die in ihrem stolzen Lehrgebäude jetzt Bau- und Maschineningenieurwesen und Architektur vereinen, wird die Mechanik in ihrer Beziehung zur gesamten Ingenieur Tätigkeit als Sonderdisziplin behandelt. Jeder Baubeamte muß mit der Berechnung einfacher Hochbauten vertraut sein; die staatliche Aufsicht über die Bauprojekte und Bauausführungen verfährt nach fest formulierten statischen Gesetzen. Für den Hochbau der Bauingenieure ist die Statik eine Fundamentalwissenschaft. Wo die Architektur vor größere, schwierigere Konstruktionsaufgaben gestellt wird, vertraut sie die statischen Probleme verantwortungslos der fachwissenschaftlichen Arbeit des Bauingenieurs an, etwa wie die Heilkunde die mikroskopische Unter-

suchung zu einer Sonderdisziplin gemacht hat, auf deren Ergebnisse sie sich sicher stützen kann. —

Dieses ganze Verhältnis ist ein neues, grundverschieden von der Art, wie bis zum 19. Jahrhundert statische Regeln beim Bau angewandt wurden. Mögen solche auch früher entschieden haben, und nicht nur das »statische Gefühl«, mögen in der »Triangulatur« und »Quadratur« wirklich auch statische Gesetze ausgesprochen, mancherlei Erfahrungen schon früher formelhaft zusammengefaßt worden sein: sie waren lediglich den Fachgenossen bekannt, sie wurden als Sonder- und Zunftbesitz sorgsam gehütet. In dieses Halbdunkel von Kenntnissen und Erkenntnis trug erst das 19. Jahrhundert die Leuchte der Wissenschaft hinein, und unter ihrem hellen Strahl schwanden die spukhaften Formen der Geheimlehre vor der freien Forschung, die allen offen steht, in jedem Augenblick bereit, Kontrolle zu üben und zu dulden. —

Damit trat dann freilich in die praktische Baukunde ein theoretisches, in systematischer Form übermitteltes Wissen.

Was bedeutet das für das »Bauen« als schöpferische Tätigkeit, für den »Bau« als deren Schöpfung? —

Die Antwort ist je nach deren Gattung verschieden. Auch dabei entscheidet in erster Reihe der Zweck.

Dem *reinen Nutzbau* hat zu allen Zeiten das konstruktiv Notwendige genügt. Wenn sich dieses jetzt auf feste Normen von wissenschaftlicher Zuverlässigkeit stützen kann, die ihm zahlenmäßig oder in geometrischen Figuren bestimmt vorliegen, so erfüllt es seinen nächsten Zweck vollkommen, indem es den gegebenen Fall diesen Normen anpaßt. Das geschieht in Hunderten von Stein-, Holz- und Eisenbauten. Schon dabei aber nehmen die letzteren eine Sonderstellung ein. Sie sind dem Material nach die weitaus jüngsten, also auf Kontrolle besonders angewiesen. Die Methoden dieser Kontrolle, die wissenschaftlichen sowohl wie die praktischen (der »Probebelastung«), haben sich mit und an den Eisenbauten selbst entwickelt, gehören also gleichsam zu deren eigenen Lebensbedingungen. Vor allem aber: das Wesen des Eisenbaues beruht ja auf der »rationellen Konstruktion«, durch die er der Beanspruchung mit weitaus geringerem Materialvolumen zu genügen vermag, als alle anderen Baustoffe. Ist doch eine Eisenkonstruktion schon an sich eine besonders sinnfällige Verkörperung der im Bau wirksamen statischen Kräfte; sie steht dadurch gewissermaßen nur am Ende jenes synthetischen Weges, der die Probleme der Mechanik aus dem Bereich arithmetischer Operationen und algebraischer Formeln in die Anschauung graphischer Gebilde überträgt.

Nun aber vergegenwärtige man sich einmal, *wie* dieses Ziel des ganzen Weges, den die Empirie eröffnete, die Theorie beschritt, von der Praxis des Eisenbaues heute im Einzelfall erreicht zu werden pflegt!

Der letztere habe dabei einen ganz gewöhnlichen Nutzzweck, es handle sich um den einfachsten eisernen Dachstuhl.

Gegeben ist im Bauprogramm die zu überdeckende Grundfläche, also die Spannweite der »Dachbinder«. Deren Zahl und Gestalt ist das gesuchte »x«. Die Zahl der Dachbinder — das heißt also auch ihr Abstand — wird in einer ersten Skizze schätzungsweise bestimmt, wobei, insbesondere hinsichtlich der Verteilung der Druck- und Zugbeanspruchung, neben dem speziellen Zweck zunächst nur Erfahrung und

statisches Gefühl entscheiden. Ob sie dabei im vorliegenden Falle das Richtige trafen, erkennt man später aus dem Gewicht — das heißt also auch aus den Kosten — der übermittelnden Zwischenkonstruktionen (Pfetten). Man dividiert dann die pro Quadratmeter erfahrungsmäßig bekannte Gesamtlast des Daches (Winddruck und Schneelast) durch die projektierte Anzahl der Binder und erhält so die Beanspruchung, der jeder *einzelne* von ihnen ausgesetzt ist. Die weiteren Ermittlungen können sich füglich auf diesen *allein* beschränken. Sie beginnen wiederum mit einer Rechnung, die nun die Verteilung der den einzelnen Binder treffenden Last zu untersuchen hat. Dieselbe wirkt zunächst auf die »Auflager«, und es gilt deren »Reaktionen« zu prüfen. Das sind die »äußeren Kräfte« des Binders. Die folgende Hauptfrage betrifft seine »inneren«, die in den Gurten, Diagonalen und Vertikalen auftretenden »Spannungen«, die im Projekt ihrer Größe und Richtung nach als Druck oder Zugkräfte schätzungsweise angenommen sind. Dies ist der Punkt, wo heute meist die »graphische Statik« einsetzt, indem sie die in den einzelnen Teilen wirkenden Kräfte durch das »Kräftepolygon« kombiniert, ihre Größe nach einem beliebigen graphischen Kräftemaßstab (z. B. 1 cm = 100 kg) ermittelt und ihre Richtung anzeigt. Die aus dieser graphostatischen Rechnung oder durch andere Methoden — besonders auch durch das »Rittersche Schnittverfahren« — erkannte Beanspruchung jedes Binder-teiles bestimmt unter Berücksichtigung des »Sicherheitskoeffizienten« die Wahl seiner Querschnitte in bezug auf die Größe, aber wiederum nur im Sinne einer theoretischen Mindestforderung. Dann erst erfolgt deren Anpassung an die Wirklichkeit: die Wahl der Querschnitte aus der Reihe der von den Walzwerken gebotenen Normalprofile, wobei neben den rechnerischen Ergebnissen nun auch die materiellen Anforderungen der Zusammensetzung, wie beispielsweise die Notwendigkeit genügend großer Flächen zum Vernieten der Laschen und ähnliches, den Ausschlag geben.

Damit wäre die konstruktive Arbeit, soweit sie Entwurf ist, an ihrem Ende angelangt, und es erübrigte nur noch, die Ausführungsbedingungen zu erwägen. In den meisten Fällen folgt diesem ganzen ersten Rechnungsgang jedoch noch ein zweiter — oder er sollte ihm wenigstens folgen —, der zu prüfen hat, ob die in jener ersten, grundlegenden Skizze willkürlich gewählten Anordnungsverhältnisse tatsächlich die zweckmäßigsten sind, oder ob etwa bei den Bindern durch Vermehrung der Streben deren Länge verkürzt und hierdurch die Querschnitte verringert werden können, und ob dies trotz der numerischen Vergrößerung eine Herabminderung des Gesamtgewichts bedeuten würde.

Bei dieser ganzen Arbeit handelt es sich lediglich um das *Notwendige* und *Zweckmäßigste*. Solche Aufgaben sind in der Bautätigkeit aller Zeiten in unzählbarer Fülle gelöst worden, noch ehe man an statisches Rechnen und an Eisenmaterial dachte. Wenn das, was früher instinktmäßig oder empirisch bestimmt wurde — noch bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts sind die konstruktiv glänzenden hölzernen Fachwerkbrücken Amerikas *ohne* genauere Berechnungen entstanden — heute rationell auf rechnerischem Wege gefunden wird, so bedeutet das auf dieser Stufe der Baukonstruktionen nur eine Systematisierung und daher Beschleunigung des verstandesmäßigen Vorgehens und meist auch eine größere Sicherung desselben gegen Irrungen, bei der selbst der nur handwerksmäßig geschulte Praktiker die höchsten Werte einer

selbständigen modernen Wissenschaft benutzt. Er verfährt dabei kaum anders als etwa der Laborant, der nach bekannten Methoden den für eine bestimmte Verwendung qualitativ und quantitativ zweckmäßigsten chemischen Stoff herstellt.

Aber selbst auf diesem unpersönlichsten Wege werden auch beim einfachsten eisernen Nutzbau, der nichts anderes sein will und ist als eine richtig berechnete, technische Leistung, in einer bisher ungewöhnlichen Art theoretische Ergebnisse in die Form und Abmessung eines neuen Baustoffes übertragen.

Sie werden zunächst ungeformt, im Sinne der Theorie vergrößert. Das Verhältnis zwischen Theorie und Wirklichkeit ist eben auch beim Eisen, dem »rationellsten« Baustoff, nicht prinzipiell anders als beim Stein und Holz, sondern nur graduell. Das Eisen kann sich in seinen Formen den Forderungen der theoretischen Statik weit mehr nähern als jene, allein sie gerade nur ganz zu erfüllen, ohne ein »Zuviel« — das Ideal der »rationalen Konstruktion« — ist auch dem Eisen nie und nirgends möglich. Ist doch schon der Grundbegriff der »kontinuierlichen Verstärkung« technisch nicht zu verwirklichen. Im Eisenbau tritt dafür das statisch rohe Aufeinanderheften der Verstärkungsbleche ein. Die Eisentechnik bemüht sich seit einem Menschenalter, der Praxis jene nach der Theorie rationellsten Normalformen zu schaffen, und von allen beteiligten Seiten arbeitet man an deren Vervollkommnung. Allein den theoretischen Ergebnissen gegenüber bleiben auch sie ihrem Wesen nach und vollends im Einzelfall nur Annäherungswerte, nur »Rohformen«. Darauf nimmt, wie wir sahen, die Rechnung selbst Rücksicht. Die theoretisch zulässige Beanspruchung wird bei ihr durch einen »Sicherheitskoeffizienten« vermindert, das heißt also, der Querschnitt vergrößert.

Doch der Unterschied zwischen Linie und Körper, zwischen Formel und Konstruktion, ist selbstverständlich. Es bleibt die Tatsache, daß beim Eisenbau die statische Rechnung im Verein mit Technik und Praxis schon bei der Gestaltung der einzelnen Konstruktionselemente — z. B. jener Normalprofile — in ganz unvergleichlich stärkerem Grade maßgebend ist, als etwa bei den Normalabmessungen der Ziegel, am Schnitt der Quadern oder selbst an dem der Balken und Bohlen. Und dieses »Rechnen« entscheidet dann vollends über die Zusammenfügung der Einzellemente, sowohl zu den Teilformen, insbesondere zum gegliederten Träger, wie zur gesamten Konstruktion. Die Zahl der neuen Formen, die auf rein rechnerischem Wege durch den Eisenbau eingeführt und bereits eingebürgert sind, ist schon jetzt beträchtlich. Am fruchtbarsten war dafür die Theorie des Brückenbaues in den fünfziger und sechziger Jahren. Damals erhielten die gegliederten Träger auf Grund der theoretisch günstigsten Verteilung von Druck und Zug und der sichersten Berechnungsmöglichkeit neue Umrisse, in denen die flache Kurve herrscht (Parabel-, Halbparabel-, Linsenträger). Die Namen einzelner als Theoretiker wie als Konstrukteure gleich berühmter Bauingenieure leben in den Bezeichnungen der von ihnen ersonnenen Konstruktionsformen fort (Schwedlerträger, Paulitäger). Auch dem allgemeinen statischen Gefühl ist die Mehrzahl dieser neuen Gebilde bereits geläufig.

Eine völlig neue Grundlage für die Erziehung dieses statischen Gefühles schaffen beispielsweise die gerade durch die »statisch bestimmten Systeme« eingeführten, nur im Eisenbau möglichen Gelenkverbindungen. An Stellen, in denen der Steinbau breite massige Ansätze bietet, zeigen sie ein Anschwellen von einem nur durch ein

kleines Scharnier bezeichneten Punkt, beziehungsweise ein Abschwellen zu ihm hin. Der Träger berührt — wie Reuleaux einmal sagt — »den Boden gleichsam nur mit den Zehenspitzen«. Im Laufe der folgenden Betrachtungen werden uns verwandte Erscheinungen noch häufig begegnen.

Sie bezeugen eine Macht der Rechnung über die Bauform, die in Verbindung mit dem neuen Baustoff sehr wohl auch zu einer »objektiv« stilbildenden Kraft werden kann.

Und eine solche wohnt der Eisenarchitektur selbst da inne, wo sie lediglich oder vorzugsweise mit den schon im Stein- und insbesondere im Holzbau von jeher herrschenden Konstruktionsmitteln arbeitet oder wiederum durch das Zusammenwirken von »Rechnen« und »Bauen« in dem neuen Material neue Erfolge erzielt.

Aus der graphischen Rechnung »weiß« man, daß dieser Erfolg in einer Verringerung der Einzelvolumina zu gunsten einer Vergrößerung des räumlichen Gesamtvolumens, beziehungsweise der konstruktiven Gesamtleistung besteht. Aber das ist zunächst nur ein abstraktes Wissen, eine Funktion des Gedankens. Die beiden Hauptträger der neuen Werte — die absolute Größe und die relative Knappheit der für sie aufgewandten Mittel — stehen vorerst nur in Zahlen und geometrischen Figuren vor Augen. Der Fachmann versteht sie, er sieht auch wohl das fertige Gebilde wenigstens in seinem Zusammenhang bereits vor Augen. Das ist »innere Anschauung«, ist bildliches »Denken«¹. Aber in das Rechtsgebiet des »Stiles« tritt dieses erst, sobald die Konstruktion nach Angabe jener Rechnung und Zeichnung tatsächlich ausgeführt ist, sobald sie als ein greifbares, körperliches Raumgebilde ihr wirkliches Leben beginnt. Dann erst wirkt sie auf die Sinnesorgane, welche den Begriff »Größe« als Eigenschaft eines »Bauwerkes« zu erfassen vermögen und die aufgewandten Mittel nicht nur beurteilen, sondern in der »Aisthesis« wahrnehmen. Und dann bedeuten diese eisernen Großkonstruktionen in jedem Falle nicht mehr nur ein »Rechnen«, sondern ein »Bauen«: nicht mehr die »kalte Einsicht«, die »leere Regel«, welche die Wissenschaft gibt, sondern: »begeisterten« und dadurch »überwundenen« Stoff².

Das ist ihr *erster* Schritt zu ihrer stilbildenden Kraft — stilgeschichtlich schon ein Schritt von großer Tragweite, deren Abschätzung das folgende, den Großkonstruktionen gewidmete Buch bieten soll.

Allein dieser Schritt ist gleichsam ein unbewußter. Er geschieht mit zwingender Notwendigkeit, sobald die statische Rechnung vor eine dem Maßstab oder der Konstruktion nach ungewöhnliche Aufgabe gestellt wird, diese rationell löst, und wenn die technische Ausführung ihr nach Möglichkeit entspricht.

Selbst wenn die Arbeit dabei im wesentlichen nur den systematisch geregelten Gang macht, wie er oben skizziert wurde, bleibt der persönlichen Entscheidung an vielen Punkten ein mehr oder minder freier Spielraum. Beispielsweise ist beim Entwurf des Fachwerkträgers wohl die Anzahl der an einem Knotenpunkt zu vereinigenden Stäbe im »statisch bestimmten System« nach einer bekannten all-

¹ Zum Folgenden vergl. besonders: Guido Hauck: »Über innere Anschauung und bildliches Denken«. Festrede in der Aula der Königl. Technischen Hochschule gehalten am 26. Januar 1897.

² Vergl. die allgemeinen Erörterungen vom »Wesen der Baukunst« bei F. Th. Vischer. Ästhetik III. II. 1. § 553 ff.

gemeinen Formel beschränkt, aber über die Lage und Länge der Stäbe selbst enthält diese Formel nichts. Für den Anblick kann der Träger also von vornherein voller oder leerer, massiger oder leichter werden. Ebenso bei der Wahl der Querschnitte. Notwendig ist nur, daß dieser Stab für eine mindestens so und so große Druckbeanspruchung, jener für eine mindestens so und so große Zugbeanspruchung ausgebildet wird. Das »Wie« bleibt offen. Die statische Rechnung ist auch beim einfachsten Nutzbau nur ein *Weg*, der zu den rechten Mitteln führt. Diese selbst müssen unbedingt auf ihm liegen, aber — man kann sie auch *jenseits* jener Grenze suchen und finden, bei der die rechnende und konstruierende Verstandestätigkeit die Führung an die sinnliche Vorstellungskraft abgibt.

Das geschieht in dem Augenblick, wo sich die Zahlen und Linien vor der »inneren Anschauung« in das Wirklichkeitsbild des Eisengerüsts verwandeln. Dieser Moment *kann* unfruchtbar bleiben. Dann entscheiden eben Rechnung und Nutzwert allein, und es entsteht nur eine zweckmäßige Konstruktion, an der die Architektur keinen Anteil hat. Allein dieser Moment kann innerhalb der konstruktiven Zweckmäßigkeit auch unmittelbar den Übergang zum künstlerischen Schaffen bieten. Er erfolgt, sobald jenes »Wirklichkeitsbild« der inneren Anschauung in irgend einem Punkte, der nicht mehr nur der rationell notwendigen Konstruktion angehört, auf deren Mittel, das heißt also zunächst auf die Rechnung, modifizierend zurückwirkt. Schon jener Wechsel der Betrachtungsweise selbst, das Umsetzen des »Denkbildes« in das »Körperbild«, kann dies sofort veranlassen. Der Verstand allein vermag Zahlen und Linien in schier endlosem Neben- und Hintereinander mühelos aufzunehmen und am Faden der Untersuchung übersichtlich aufzureihen — vor der sinnlichen Vorstellungskraft dagegen wird dieses Neben- und Hintereinander leicht zu einem Gewirr. Und wenn dies als unerwünscht empfunden, wenn die Rechnung unter diesem Gesichtspunkt erneut wird, um die Konstruktion klarer, ruhiger, freier, zierlicher zu machen, um die Einförmigkeit rhythmisch zu unterbrechen, um zu schroffe Gegensätze auszugleichen, um das Wesentliche schärfer hervorzuheben und die Hilfsformen auch für den Anblick nur als Nebensächliches zu kennzeichnen, dann wird die »Rechnung« im Eisenbau¹ sogar *selbst* zur stilbildenden Kraft. Sie wird dann »elegant« im ästhetischen Sinn und nicht mehr nur in jener übertragenen Bedeutung, in der man dieses Wort wohl auch für eine rechnerische Manipulation oder für eine geometrische Konstruktion zu gebrauchen pflegt.

Solches »Rechnen« wird dann ein Disponieren von Kräften², bei dem *nicht* mehr das zahlenmäßig und technisch »Rationelle« gesucht wird, sondern das formal günstig *Wirkende*.

Das ist allerdings noch immer nur ein bescheidener Anteil künstlerischen Bau-sinnes am Rechnen; noch hat dieses unbedingt die Führung; noch immer handelt es sich höchstens um geschickte und klare »Konstruktionen«.

¹ Damit sind hier selbstverständlich nicht die nur äußerlich aus Schönheitsrücksichten vorgenommenen Veränderungen gemeint, die ohne Änderung des Systems dessen konstruktiv funktionierende Teile gelegentlich betreffen. Das findet beispielsweise bei Bogenträgern statt, deren Enden oben theoretisch am besten spitz zusammentreten, während die Praxis die Obergurte in stetiger Linie fortzuführen liebt.

² Hauck vergleicht a. a. O., S. 17, die Denkarbeit des Technikers mit der des Strategen.

Aber dieser Weg führt weiter. In die rechnerisch abwägende Tätigkeit selbst kann eine dem künstlerischen Schaffen näher verwandte persönliche Kraft spontan eingreifen: das »statische Gefühl« des genialen Konstrukteurs, das dem Rechnen *vorauseilt*, das dieses nur in seinen Dienst nimmt. Dann fällt der »Rechnung« nur noch die Rolle eines Regulatives zu: sie hat das gefühlsmäßig erkannte Resultat nachträglich nur zu bestätigen. Wo *diese* Schaffensart herrscht, da ist die innere Vorstellungskraft von vornherein rege. Das »visionäre« Denken des *Genies* ist im wesentlichen immer ein »bildliches«. Und dann pflegt es auch als formal glückliche Gestaltungskraft zu wirken. Hat man doch selbst auf eine Maschinenzeichnung das Zolasche Wort angewendet: »Sie muß ein *reales Etwas* sein, angesehen und wiedergegeben durch ein *Temperament*«¹. Aber auch umgekehrt empfinden gerade die phantasievollsten Künstler immer von neuem die innere persönliche Gesetzmäßigkeit ihres Schaffens als allgemein gültiges Gesetz, wie Gabriele Rossetti, der englische Präraffaelit, alles Ernstes behauptete, er male nach »ungeschriebenen Regeln«, die er jeden so folgerichtig lehren könne, wie etwa — Arithmetik. Freilich: »von der Freiheit oder Unfreiheit, in der die Phantasie des Künstlers bei der Malerei und Plastik schaltet, bleibt die des Technikers grundverschieden, und auch innerhalb des baukünstlerischen Schaffens behält seine »Denkarbeit«, soweit sie der Statik gewidmet ist, beim Eisenbau *stets* eine ganz andere Machtstellung als beim Stein-, Ziegel- und Holzbau. Für die Mauer-, Widerlager- und Gewölbestärken, für die hölzernen Hänge- und Sprengwerke sind die Verhältnismaße tabellarisch festgelegt. Ihre Kenntnis gehört zum ABC der Baukonstruktionslehre. Dem Architekten müssen sie in Fleisch und Blut übergegangen sein. Bei dem Entwurf sind sie nicht das gesuchte X, sondern selbsterverständliche Voraussetzung, deren Kontrolle sogar Hilfskräften überlassen bleiben kann. Wenn der Architekt seinen Grundriß und Aufriß gestaltet, so denkt *er* dabei überhaupt nicht an Geometrie und Zahlen, sondern er gruppiert Räume, er schaltet mit Baumassen, er läßt deren Größe und Verhältnisse aus ihren Grenzflächen sprechen. Die »Linie« ist *ihm* dabei nicht ein statisches Maß, sondern eine statische Kraft und ein wirksamer Umriß; die »Zahl« kennt *er* höchstens als Ausdruck bezeichnender und wohlgefälliger Proportionen. *Seine* Arbeit ist stets *Raum-Kunst*.

Beim Eisenbau dagegen, wo auch das »statische Gefühl« höchstens mit den Linien eines Eisengerüsts »bauen« kann, wo die statische Rechnung schon am Anfang der entwerfenden Tätigkeit steht und der Ausarbeitung des Projektes auf dem ganzen weiten Wege bald zur Seite, bald voranschreitet, bald nachfolgt, wo das »bildliche« Denken beständig durch das »abstrakte« kontrolliert wird, spielt die wissenschaftliche Methode als solche eine ungleich wichtigere Rolle. Sie bannt den Entwurf in feste, engere Grenzen; sie stellt ihm seine Lebensbedingungen in Form von Zahlen und Figuren fort und fort vor Augen, für jedes Glied des Baues, auch für das kleinste, und ebenso für den Gesamtorganismus. Ihre Ergebnisse sind zuverlässig und unabänderlich; den Flug der gestaltenden Phantasie sichern sie, aber sie hemmen ihn auch.

Das sind die neuen Bedingungen, die das »Rechnen« für das »Bauen« im »neuen Stoff« geschaffen hat.

¹ Hauck a. a. O.

Die »Baukunst« also, die auf diesem Wege entsteht, wird nie und nimmer die monumentale Steinarchitektur etwa verdrängen und ersetzen können, wie einige allzu feurige Propheten des Eisenbaues verkünden. Ebenso wenig jedoch ist es berechtigt, dem Eisenbau einen maßgebenden Einfluß auf die »Architektur« der Zukunft abzusprechen, weil er nur »konstruiert« und auf »Rechnung« beruht. Die »Rechnung« ist notwendig, aber sie kann sich dem »Formenwillen« gesellen, sich ihm zur Verfügung stellen und dann die Schöpfung eines Bauwerks von künstlerischer Eigenart nicht nur begleiten, sondern fördern. Für diese stilbildende Kraft wird es gleichgültig, ob »Rechnen« und »Bauen« dabei in einer einzigen Persönlichkeit vereint sind oder nicht. Unter den bis jetzt vorhandenen künstlerischen Eisenbauten sind sowohl solche, die lediglich vom »Bauingenieur« entworfen und ausgeführt wurden, wie solche, bei denen er mit dem Architekten gemeinsam arbeitete.

Daß dies eine große Bereicherung der architektonischen Mittel bedeuten kann, ist schon jetzt zweifellos. Vor allem zeigen es die Kuppelräume einer schon stattlichen Reihe von monumentalen Steinbauten. Und gerade dabei sprechen die Fortschritte der Graphostatik wesentlich mit, die im letzten Jahrzehnt insbesondere die »Raumfachwerke«, die Kuppel-, Zelt- und Walmdächer, sowie die Flechtwerksgebilde zum Gegenstand ihrer Untersuchung gemacht hat. Derselben Gattung von Raumgebilden gehören aber auch bereits einige der künstlerisch bedeutendsten reinen Eisenbauten an, deren Meister sich nur »Bauingenieure« nannten: sie waren eben zugleich auch Künstler.

So hängt das Verhältnis des »Rechnens« zum »Bauen«, soweit dieses eine »Kunst« ist, schließlich also doch immer nur von der *persönlichen* Kraft, vom Wollen und »Können« des Meisters ab. Ohne Rechnen kann keine zuverlässige Eisenkonstruktion entstehen, durch Rechnung allein kein Kunstwerk.

Die Baukunst sucht in der statischen Wissenschaft eine kräftige, willige Gehilfin, die statische Wissenschaft strebt danach, für jede Aufgabe eine sichere Lösung bereitzustellen. Ihre allgemeine Tendenz, die im letzten Jahrzehnt darauf hingeht, vor allem »statisch klare« Systeme zu schaffen, kommt dem ästhetischen Bedürfnis nach wenigen entscheidenden, übersichtlichen Hauptlinien entgegen. Und so mögen wir in doppeltem Vertrauen zur Macht unserer Kunst und unserer Wissenschaft an kommende Zeiten glauben, in denen die Eisenarchitektur mit den Resultaten der statischen Rechnung nicht anders schalten wird, als heute die Steinarchitektur mit den Ergebnissen der empirischen und rationellen Gewölbelehre¹. Vielleicht daß einst im Anschluß an den berühmten Ausspruch Robert Mayers über die »organische Natur« und die »lebende Welt« auch das Endurteil über das Verhältnis zwischen »Rechnen« und »Bauen« lauten darf: dort die Notwendigkeit — hier die Freiheit, dort das Gesetz — hier die Schönheit, und als Grenzmarke zwischen beiden: die Zahl. In der statischen Wissenschaft ist sie alles, bei der Konstruktion vieles, in der Bau-Kunst — auch in der des Eisens, soweit sie dort nicht Proportionen ausspricht — ist sie »nichts«. —

¹ Auch in der Steinarchitektur werden übrigens größere Konstruktionen, insbesondere Gewölbe, heute statisch berechnet.