



Eisenbauten

Meyer, Alfred Gotthold

Esslingen a. N., 1907

2. Graphische Darstellungsmethoden.

[urn:nbn:de:hbz:466:1-84071](https://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:hbz:466:1-84071)

à l'établissement des constructions et des machines¹ (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 Sprengewerke. 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. Weihrauch, 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 *Poisson* (*Éléments 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 *Castiglione* 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 Materials«, 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 Bauwerks 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 Ingeniertätigkeit 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 »Probobelastung«), 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 dem 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 vergröbert. 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 »rationellen 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 Vervollkommenung. 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 Umrissse, 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, Pauliträger). 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 einer 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 gegebenen 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 Eisengerütes 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 *vorausseilt*, das dieses nur im seinen Dienst nimmt. Dann fällt der »Rechnung« nur noch die Rolle eines Regulativen 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 Rosetti, 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 Sprengewerke sind die Verhältnisse 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 selbsverständliche 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. Ebensowenig 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 hingehet, 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 rationalen 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.



