

Sonja Hildebrand

**„... verschiedene Anwendungen einer und derselben grossen Wissenschaft“:
Gottfried Semper und die Mathematik**

in: Mathematische Semesterberichte 65, 2018, Nr. 2, S. 153–169

doi: 10.1007/s00591-018-0228-5

Accepted manuscript version

The final publication is available at link.springer.com

Der Architekt Gottfried Semper (1803 Hamburg – 1879 Rom) (Abb. 1) war eine Ausnahmeerscheinung. Wie kein zweiter Architekt seiner Zeit führte er ein internationales Leben, mit Stationen in Paris, Dresden, London, Zürich und Wien. Als Lehrer an der Kunstakademie in Dresden und am Eidgenössischen Polytechnikum in Zürich (der heutigen ETH) prägte er ganze Generationen von Architekturstudenten. Bauten wie die Gemäldegalerie und das Hoftheater in Dresden (die heutige „Semperoper“), das Hauptgebäude des Polytechnikums in Zürich (Abb. 2) oder das Wiener Kaiserforum mit dem Kunsthistorischen und dem Naturhistorischen Museum (Abb. 3) gehören bis heute zu den herausragenden, identitätsstiftenden Monumenten dieser Städte. Semper war aber nicht nur als bauender Architekt eine Schlüsselfigur. Er hinterließ zudem ein außerordentlich originelles und tiefgründiges theoretisches Werk, dessen Bedeutung und Wirkung weit über das 19. Jahrhundert hinausreichen. Die Qualität, die dieses Werk grundsätzlich auszeichnet, ist die Art und Weise, wie Semper die Architekturtheorie zu einer allgemeinen Theorie der materiellen Kultur ausweitete. Um die Architektur im Rahmen einer allgemeinen Kulturgeschichte zu deuten, bezog er zahlreiche weitere Disziplinen, deren Methoden und Ergebnisse, in seine Überlegungen mit ein. Dies waren nicht nur Fachgebiete, die zum näheren Umfeld der Architektur gehören, wie die Archäologie oder die Kunstgeschichte, sondern auch weiter entfernte Disziplinen wie die Sprachwissenschaft, die vergleichende Anatomie und die Evolutionsbiologie, Geschichte, Ethnologie und Anthropologie sowie – von der Forschung bislang am wenigsten beachtet – die Mathematik.

Sempers Mathematikstudium in Göttingen (1823–1825): Grundlagen eines Denkens in Variablen

Die Vernachlässigung der Mathematik in der Semperforschung ist zu einem gewissen Grad erstaunlich. Denn dies war die Disziplin, die Semper bei seiner Immatrikulation an der Universität Göttingen im Herbst 1823 als Hauptfach wählte.¹ Sein wichtigster Professor dort wurde Bernhard Friedrich Thibaut (1775–1832), ein begnadeter Lehrer, dessen Fernruf zahlreiche Studenten nach Göttingen führte.² (Abb. 4) Thibauts Unterricht zeichnete sich dadurch aus, dass er den mathematischen Stoff nicht als Formelwissen vermittelte, sondern seine Studenten zum Denken anleitete. Er tat dies, indem er die Demonstration von fertigen Lehrsätzen durch „Räsonnement“ ersetzte – oder, in heutigen Begriffen: indem er seine Studenten an seinen Denkprozessen teilhaben ließ. Adolf Tellkamp, ein Schüler Thibauts, der kurz vor Semper in Göttingen studiert hatte, bescheinigte seinem Lehrer rückblickend, es sei ihm auf diese Weise gelungen, „das drohende Gespenst der dünnen, abstracten Wissenschaft wie durch Zauber [...] in eine lebensvolle, anmuthige Gestalt zu verwandeln“.³ Natürlichkeit und Leben stehen hier für die das Denken der Romantik prägende Auffassung eines inneren Zusammenhangs der Wissensbestände. In diesem Sinn erklärt Thibaut im Vorwort zu einem seiner Lehrbücher, er wolle ein „wissenschaftliches Ganzes“ bieten und habe zu diesem Zweck die mathematischen „Sätze in ihre natürliche, aus dem Gegenstände selbst abgeleitete Ordnung“ gestellt.⁴ In eine analoge Richtung argumentierte Semper, als seine Eltern ihn nach dem ersten Studienjahr zugunsten eines klareren Berufsziels in Richtung eines Jurastudiums umzulenken versuchten. In seinem Antwortbrief verschloss er sich dieser Idee zwar nicht kategorisch. Sein rhetorisches Ja-Aber endete allerdings in einem klaren Plädoyer für die Mathematik: „Wollt ihr meine Meinung wissen: hier ist sie: Alle Fächer des [Brot-] Erwerbs, welche mathematische Kenntnisse voraussetzen, sind nur als verschiedene Anwendungen

¹ Bislang am ausführlichsten dazu Karin Reich, Schlaglichter auf die Zeit von Sempers Studium in Göttingen. Vortrag auf der „Semper-Tagung“ der Stiftung „Fürst-Pückler-Park“, Bad Muskau, 26.–27.10.2001. Ich danke Karin Reich für die Überlassung ihres Manuskripts. In Vorbereitung: Sonja Hildebrand, *Gottfried Semper. Architekt und Revolutionär*, Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft 2019, darin ausführlich zu Sempers Studienzeit.

² Zu Thibaut vgl. Karin Reich, *Bernhard Friedrich Thibaut, der Mathematiker an Gauß' Seite*, in: *Mitteilungen der Gauß-Gesellschaft* 34, 1997, S. 45–62.

³ Adolph Tellkamp, *Erinnerungen an B. F. Thibaut*, in: *Hallische und Deutsche Jahrbücher für Wissenschaft und Kunst*, Bd. 4.1, 1841, S. 296, zitiert nach Reich 1997 (siehe Anm. 2), S. 53. Tellkamp hatte 1819–22 in Göttingen studiert. Er wurde Lehrer, später Schulleiter in Hannover; freundlicher Hinweis von Klaus Volkert.

⁴ Bernhard Friedrich Thibaut, *Grundriss der reinen Mathematik zum Gebrauch bey academischen Vorlesungen*, 2. Aufl., Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht 1809, S. X.

einer und derselben grossen Wissenschaft aufzufassen. [...] Wenn ich mich z. B. ganz besonders mit dem Wasserbau beschäftigte, darin etwas Gründliches zu leisten bestrebt wäre, glaubt ihr nicht, dass ich künftig mein Fortkommen irgendwie finden könnte?“⁵

Prägend für Thibauts Ideen über Formen des Lernens und Wissens war der Philosoph und Pädagoge Johann Friedrich Herbart (1776–1841). Herbart hatte unter dem Eindruck der Arbeit von Johann Heinrich Pestalozzi ein Konzept entwickelt, wie sich die theoretische Denkfähigkeit von Schülern bestmöglich ausbilden lasse. Seine dazu 1802 publizierte Schrift *Pestalozzi's Idee eines ABC der Anschauung* hatte Thibaut 1803 rezensiert.⁶ Im Zentrum von Herbarts Lehre stand der Begriff der Anschauung. Diese wurde von ihm nach zwei Entwicklungsstadien unterschieden: In ihrer einfachen, noch ungebildeten Form sei Anschauung die unmittelbare und spontane sinnliche Wahrnehmung. Der Pädagoge habe die Aufgabe, seine Schüler zu einer gebildeten Anschauung zu befähigen. Diese entwickelte Form der Anschauung erlaube ein ordnendes, bewusstes Erfassen und Bewerten von Dingen und Phänomenen. Zu diesem Zweck werden die Schüler mit Begriffen und Gesetzmäßigkeiten vertraut gemacht, die ihnen helfen, die den Phänomenen und Gestalten zugrunde liegenden Prinzipien und inneren Zusammenhänge zu erkennen. Als „Grundform aller Anschauung“ betrachtete Herbart das Dreieck.⁷ (Abb. 5) An ihm führte er vor, wie sich eine spezifische Form des Dreiecks durch Veränderung einer Seitenlänge in eine andere Dreiecksform verwandeln lässt. Die Fähigkeit, alle Dreiecke als mehr oder weniger starke Transformationen der Grundform des gleichseitigen Dreiecks zu betrachten, bezeichnet Herbart – und mit ihm Thibaut – als „fließendes Sehen“.⁸ Zentral bei dieser an und für sich sehr einfachen geometrischen Operation ist das an ihr geschulte Verständnis der Schüler und Studenten für Formen, oder besser: für die Bildung von Formen. In Herbarts Darstellung ist Formenvielfalt nicht ein buntes Nebeneinander von Einzelformen. Sie

⁵ Gottfried Semper, Brief an seine Familie in Altona, 19.8.1824, gta Archiv, ETH Zürich, 20-K-1824-08-19(S).

⁶ Johann Friedrich Herbart, *Pestalozzi's Idee eines ABC der Anschauung*, Göttingen: Röwer 1802; Thibauts Rezension erschien 1803 in den *Göttingischen gelehrten Anzeigen*; vgl. Reich 1997 (siehe Anm. 2), S. 55–57. Die Forschung zu Herbart ist umfangreich. Zu Herbarts Pädagogik jüngst: Andrea R. English, *Discontinuity in Learning: Dewey, Herbart, and education as transformation*, Cambridge: Cambridge University Press 2013; Thomas Rucker, *Spuren der Komplexität. Zur Grundstruktur bildungstheoretischen Denkens bei Johann Friedrich Herbart*, in: *Pädagogische Rundschau* 70, 2016, H. 3, S. 277–293. Zur Rolle der Mathematik in Herbarts Pädagogik: Hans Niels Jahnke, *Mathematik und Bildung in der Humboldtschen Reform*, Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht 1990, S. 122–134.

⁷ Reich 1997 (siehe Anm. 2), S. 56.

⁸ Reich 2001 (siehe Anm. 1), S. 2.

ist vielmehr das Resultat eines stetigen Übergangs von einer Form zur anderen. Thibauts Unterricht in Göttingen verlief ganz auf dieser Linie. Durch seine Lehre wurde Semper über das spezifisch Mathematische hinaus mit einem epistemologischen Ansatz vertraut gemacht, der auf die innere Verbundenheit der Dinge ausgerichtet war. Dem Studenten wurde ein Verständnis für die Bedingungen und Gesetzmäßigkeiten vermittelt, nach denen sich das Eine aus dem Anderen entwickelt, sowie für deren sich daraus ergebenden „natürlichen“ oder auch „organischen“ Zusammenhang.

Im Frühjahr 1825 verließ Semper Göttingen ohne einen formellen Studienabschluss, um sich einem Fach zu widmen, das er zum großen Bereich der angewandten Mathematik rechnete: Architektur. Der Entwurfsunterricht, den er zwischen 1826 und 1830 an der privaten Architekturschule von Franz Christian Gau (1790–1853) in Paris erhielt, war am grossen Vorbild der *École des Beaux-Arts* orientiert.⁹ Mathematik spielte darin allenfalls eine Nebenrolle. Als mit Sempers Berufung an die Kunstakademie in Dresden 1834 seine eigentliche berufliche Laufbahn begann, war er aufgrund seiner Ausbildung im Stande, baukonstruktive Entwürfe zu zeichnen. Aber er war kein Ingenieur-Architekt. Mathematik war für ihn in der täglichen Architekturpraxis eine dem Entwurf klar untergeordnete Wissenschaft, deren Anwendung er in der Regel an den Baumeister delegierte. Erneut ein Stück weit ins Zentrum rückte die Mathematik erst rund 20 Jahre später, im Londoner Exil, in das Semper 1849 nach seiner Teilnahme am Dresdner Maiaufstand gezwungen worden war.

⁹ Der Unterricht an der *Ecole des Beaux-Arts* bestand bis in das späte 19. Jahrhundert in einer Verbindung von theoretischen Fächern (Architekturtheorie, Kunstgeschichte, Konstruktionslehre, Mathematik), die an der Schule selbst gelehrt wurden, und dem Entwurfsunterricht in angegliederten privaten Architekturateliers. Gaus Schule war nicht affiliert, trotzdem folgte er weitgehend dem von der *Académie* propagierten Modell einer klassizistischen Architektur, die im Plan durch eine rasterförmige Anordnung der Elemente und Achsensymmetrien gekennzeichnet ist. Zur *Ecole des Beaux-Arts* vgl. Annie Jacques, Anthony Vidler, *Chronologie: The Ecole des Beaux-Arts, 1671–1900*, in: *Oppositions* Nr. 8, 1977, S. 151–157; Alan Colquhoun, *The Beaux-Arts Plan*, in: ders., *Essays in Architectural Criticism: Modern Architecture and Historical Change*, Cambridge MA/London: MIT Press 1981, S. 161–168; Robin Middleton, *The Beaux-Arts in Nineteenth-century French Architecture*, London: Thames and Hudson 1982. Zu Semper bei Gau vgl. Salvatore Pisani, „Allein vieles ist besser, leichter, zweckmäßiger, wohlfeiler als wir es kennen“. *Sempers Lehrzeit in Paris und das akademische Ausbildungsprogramm*, in: Winfried Nerdinger, Werner Oechslin (Hgg.), *Gottfried Semper 1803–1879. Architektur und Wissenschaft*, Zürich: gta Verlag / München: Prestel 2003, S. 101–104; Mario Kramp, *Von Paris nach Dresden: Ein europäischer Horizont. Gottfried Semper als Schüler des rheinischen Architekten Franz Christian Gau*, in: Henrik Karge (Hg.), *Gottfried Semper – Dresden und Europa. Die moderne Renaissance der Künste*, München/Berlin: Deutscher Kunstverlag 2007, S. 101–120.

Kurven in der Architektur: Debatten in London um 1850

Den Anlass zur erneuten intensiven Beschäftigung mit der Mathematik bot eine Debatte, die sich seit Ende der 1840er Jahre in London entwickelt hatte. Darin ging es um die Frage, wie die mit dem blossen Auge als solche nicht wahrnehmbaren Abweichungen von der geraden Linienführung an verschiedenen Bauteilen des griechischen Tempels zu beurteilen seien. Gemeint sind die Entasis („Ausbauchung“) des Säulenschafts, die Krümmung des („aufgewölbten“) Stufenunterbaus sowie die Inklination der (einwärts geneigten) Säulen. (Abb. 6a und b)

Die Krümmung des Parthenon war schon in der Antike beschrieben worden. In der Beschäftigung mit antiken Bauten seit der Renaissance hatte dieser Aspekt jedoch keine weitere Beachtung gefunden. Dies änderte sich erst mit der Begründung der Archäologie als exakter Wissenschaft am Anfang des 19. Jahrhunderts.¹⁰ (Abb. 7) Erst jetzt begannen sich Archäologen für die Krümmung des Parthenon und der antiken Tempel im Allgemeinen zu interessieren. Eine führende Rolle spielten dabei Engländer: Sempers späterer Freund Thomas Donaldson war 1829 einer der ersten, der die Säulen des Parthenon exakt vermaß. Durch seine Arbeit konnte er nachweisen, dass sie leicht nach innen geneigt waren. 1837 folgte James Pennethorne, der die Krümmung des Athener Tempels auf der Grundlage einer exakten Vermessung von dessen Stufenunterbau beschrieb. Die umfangreichste Studie dieser Jahre stammt von Francis Cranmer Penrose. Seit Ende der 1840er Jahre hatte er sie in verschiedenen Vorträgen publik gemacht, 1851 erschien sein grundlegendes Werk *An Investigation of the Principles of Athenian Architecture*.¹¹ Die von Donaldson, Pennethorne und Penrose publizierten Untersuchungen führten um 1850 zu einer öffentlich ausgetragenen Diskussion, die in verschiedener Hinsicht Züge einer Grundsatzdebatte annahm. Darin ging es um das Verhältnis von Wahrnehmung zu messbaren Eigenschaften sowie darum, welchen Beitrag welche Art von Mathematik zur Beschreibung ästhetischer Phänomene leisten kann.

Semper las wahrscheinlich das erste Mal über Penrose's archäologische Arbeit in einem Buch, das der Architekturhistoriker James Fergusson 1849 publiziert hatte: *An*

¹⁰ Peter Collins, *Changing Ideals in Modern Architecture 1750–1950*, London: Faber and Faber 1971 (zuerst 1965), S. 92.

¹¹ *An Investigation of the Principles of Athenian Architecture; or the Results of a Recent Survey, Conducted Chiefly with Reference to the Optical Refinements Exhibited in the Construction of the Ancient Buildings in Athens*, Society of Dilettanti, London 1851.

*Historical Inquiry into the True Principles of Beauty in Art.*¹² Es enthält unter anderem ein kurzes Kapitel zu Penrose's Beobachtungen und Theorien zur Krümmung. Fergusson's Haltung gegenüber Penrose ist weitgehend kritisch. Sie beruht auf der Überzeugung, dass nur das ästhetisch wirksam sein kann, was sich für einen Betrachter ohne weiteres erkennen lässt. Unsichtbarkeit aber gelte insbesondere für die Krümmung der Langseiten eines Tempels, wo es sich deshalb um „nothing more than a drainage curve“ – nichts anderes als eine Aufwölbung zur besseren Ableitung von Regenwasser – handeln könne.¹³ Das, was Penrose mache, erscheine ihm als „the very metaphysics of art. The idea that a form, the existence of which can only be detected by the most perfect mathematical instruments, should be a cause of beauty in a visible and tangible object, is what I can neither understand nor appreciate.“¹⁴ In diesem Sinn enthält schon der Titel von Fergusson's Kapitel – „Invisible Curve“ – den Kern seiner Kritik.

Penrose seinerseits rückte in seinem Buch von 1851 die mathematischen Aspekte seiner Entdeckungen und deren Beschreibung gleich eingangs in den Fokus der Leser. Schon im Vorwort verweist er auf die Neuheit seines Ansatzes und macht seine Leser auf die zur Verfügung gestellten Hilfsmittel aufmerksam. Um ihnen den Einstieg in die ungewohnte Materie zu erleichtern, stellte er im Anhang des Buches ein Glossar der mathematischen und technischen Fachbegriffe sowie „a summary of those properties of the Conic Section, and some other curves“ zur Verfügung.¹⁵ (Abb. 8)

Vor diesem Hintergrund verwundert es nicht, dass in der Debatte nach Erscheinen des Buches verstärkt mathematische Aspekte ins Zentrum traten. Von nun an wurden die optischen Korrekturen des Parthenon vor allem im Hinblick auf Kurvenverläufe und deren mathematische Darstellung diskutiert. In diesen Zusammenhang gehört der Text *An Attempt to Develop the Principle which Governs the Proportions and Curves of the Parthenon of Athens* des Künstlers und

¹² *An Historical Inquiry into the True Principles of Beauty in Art, More Especially with Reference to Architecture*, London: Longman, Brown, Green and Longmans. In einer Besprechung der *Great Exhibition*, der ersten Weltausstellung, die 1851 in London stattfand, bezieht sich Semper deutlich auf Fergussons Kategorien der *technic, aesthetic and phonetic arts*; vgl. Gottfried Semper, *Die große Ausstellung. Die Völker von europäischer und nicht europäischer Bildung*, in: *Illustrated London News, Deutsches Supplement*, Nr. 3 vom 17.5.1851, S. 34f., wiederabgedruckt in Gottfried Semper, *Gesammelte Schriften*, hg. von Henrik Karge, Hildesheim: Olms-Weidmann 2014, Bd. I. I, S. 369f.

¹³ Fergusson 1849 (siehe Anm. 12), S. 396.

¹⁴ Ebd., S. 397.

¹⁵ Penrose 1851 (siehe Anm. 11), preface.

Kunsttheoretikers David Ramsay Hay, der im Februar 1853 im Royal Institute of British Architects vorgelesen wurde. Semper saß im Publikum.¹⁶

Hay argumentierte für ein möglichst simples, auf einfachen geometrischen Figuren und arithmetischen Operationen basierendes System harmonischer Proportion. (Abb. 9) Ausgehend von der Feststellung, dass eine gerade Linie nur drei Richtungen habe, die horizontale, die vertikale und die diagonale, und dass gekrümmte Formen als Äquivalente von eckigen Grundfiguren zu betrachten seien, gelangte Hay zu einem Kanon von sechs Grundformen: gleichschenkliges Dreieck, Quadrat, Rechteck, Kreis, Ellipse und die von ihm sogenannte „composite ellipse“ (zusammengesetzte Ellipse).¹⁷ Ein proportionales System erhielt Hay, indem er dem Dreieck als der einfachsten aller Grundformen, von der alle weiteren abgeleitet werden, bestimmte Zahlenverhältnisse zuordnete. Diese Verhältnisse übertrug er dann auf die verschiedenen Derivate des Dreiecks.

Für Hay war Einfachheit in der formalen und proportionalen Gestaltung die Grundbedingung von Schönheit. Denn nur sie erlaube es, Schönheit klar darzustellen und zu vermitteln – oder, in Hays Worten, schöne Artefakte zu schaffen, deren „beauty ... [is] of a demonstrable and intelligible character.“¹⁸ Der reduktionistische Ansatz von Hays Theorie ist offensichtlich. Er resultiert nicht nur in der strikten Zweidimensionalität seiner Formenwelt, sondern auch in der Eingrenzung auf Formen, die geometrisch konstruierbar sind, sowie Verhältnisse, die sich arithmetisch ausdrücken lassen. Unter den Grundformen ist die zusammengesetzte Ellipse die komplexeste Form. Hay führt sie als neu und noch wenig verstanden ein. Er jedoch habe sie studiert und herausgefunden, dass sie sich auf der Basis seiner Formkategorien sehr einfach beschreiben lässt. „I may state“, schreibt er, „that the composite ellipse is simply a figure composed of arcs of various

¹⁶ Hays Vortrag ist in *The Builder* 11, 1853, S. 162–164, publiziert. Anlässlich des Vortrags wurden im Royal Institute illustrierende Tafeln aufgehängt. Sie sind nicht erhalten, dürften aber jenen geglichen haben, die Hay im selben Jahr in seinem Buch *The Orthographic Beauty of the Parthenon Referred to a Law of Nature* (Edinburgh: William Blackwood and Sons) publizierte (vgl. Abb. 9). Zu Sempers Reaktion auf Hay vgl. Sonja Hildebrand, *Towards an Expanded Concept of Form: Gottfried Semper on Ancient Projectiles*, in: dies., Elisabeth Bergmann (Hg.), *Form-Finding, Form-Shaping, Designing Architecture: Experimental, Aesthetical, and Ethical Approaches to Form in Recent and Postwar Architecture/Approcci sperimentali, estetici ed etici alla forma in architettura, dal dopoguerra ad oggi*, Mendrisio: Mendrisio Academy Press / Mailand: Silvana Editoriale 2015, S. 131–143, bes. S. 136–141; Spyros Papapetros, *Ornament as Weapon: Ballistics, Politics, and Architectural Adornment in Semper's Treatise on Ancient Projectiles*, in: Gülru Necipoğlu, Alina Payne (Hg.), *Histories of Ornament: From Global to Local*, Princeton und Oxford: Princeton University Press 2016, S. 46–61.

¹⁷ Ebd., S. 163.

¹⁸ Ebd., S. 162.

ellipses harmonically flowing into each other, whose foci are placed on the sides of an inscribed isosceles triangle.“¹⁹

Hay argumentierte auf der Basis einer nicht weiter begründeten fundamentalen Überzeugung. Aus seiner Grammatik und Syntax der Schönheit blieb alles ausgeschlossen, was sich nicht auf seine Grundformen zurückführen lässt. So schreibt er über die zusammengesetzte Ellipse, dass sie der Parabel und der Hyperbel zwar sehr ähnlich sei, „but it has what these curves have not, viz. the essential quality of inscribing harmonically one of the rectilinear elements of architecture“. Stattdessen betrachtete Hay Hyperbeln und Parabeln als “merely curves of motion, which can never harmonically inscribe, nor resolve themselves into a figure of any kind”.²⁰

Mit solchen Aussagen positionierte sich Hay klar auf der Seite einer Mathematik, die auf die Konkretheit und Klarheit einfachster geometrischer und mathematischer Operationen setzt. Dementsprechend kritisiert er auch Penrose und schreibt: “I cannot help demurring to the conclusions at which Mr. Penrose has arrived with respect to the aesthetic developments of the Parthenon; especially to his idea that the entases of the columns are hyperbolic curves, that the soffit of the corona of the pediment is a curve of the same kind, and that the echinus of the capital is composed of two different hyperbolic curves, and one circular curve. [...] this mode of proof must at first sight seem conclusive; but it can only be so in the absence of a knowledge of the composite ellipse and of the various other modes in which ellipses may be combined. For an acquaintance with these will show that arcs of the composite, or mixed ellipse, resemble so closely those of the hyperbola and parabola, that the most careful investigator might be mistaken.”²¹ In diesem Zitat wird zudem deutlich, dass es Hay nicht darum ging, wie eine Form aussieht, sondern um die Frage, wie sie beschrieben wird.

¹⁹ Ebd., S. 163.

²⁰ Ebd., S. 163.

²¹ Ebd., S. 164.

Mathematische Konzepte in Sempers Londoner Schriften

Sempers Antwort auf Hay ist seine Studie über die antiken Schleudergeschosse, die er noch im gleichen Jahr begann und 1859 publizierte: *Ueber die bleiernen Schleudergeschosse der Alten und über zweckmässige Gestaltung der Wurfkörper im Allgemeinen. Ein Versuch die dynamische Entstehung gewisser Formen in der Natur und in der Kunst nachzuweisen*.²² Semper beginnt die Einleitung mit einer Grundsatz-Kritik. Es sei unmöglich, eine Ästhetik auf der Grundlage feststehender Proportionen und klar definierter Formen zu entwickeln. Die Unmöglichkeit resultiere aus dem Phänomen, dass ein Objekt unendlich viele Erscheinungsformen annehmen könne, je nach den Umständen, unter denen es betrachtet werde. So sei „das Körperlich-Schöne nur unter bestimmten Umständen wahrhaft schön und verhältnismässig, unter anderen dagegen“ sei es trotz „unveränderter Gestalt und Farbe, indifferent oder hässlich.“²³ Dementsprechend könne es keine Formen oder Proportionen geben, die unter allen Umständen verlässlich als schön wahrgenommen werden. Analoges gilt nach Semper für das Verhältnis zwischen dreidimensionalen Körpern und deren zweidimensionalen Projektionen. Nichts garantiere, dass eine Projektion dem ihr zugehörigen dreidimensionalen Objekt gerecht würde – oder auch umgekehrt: Ein dreidimensionales Objekt teile nicht zwingend die Schönheit von dessen zweidimensionaler Repräsentation. Semper schreibt dazu: „So wie ein schöner Körper, die Venus selbst, einen schlechten Schatten werfen kann, der weiter nichts als eine Projection ist, ebenso richtig ist es, dass ein wohl geregelter Grundplan, ein schöner Durchschnitte [eines Gebäudes] sehr schlechten tektonischen Verhältnissen der nach ihnen ausgeführter Werke entsprechen können.“²⁴ Ein schöner Plan muss also nicht zwangsläufig zu einem schönen Gebäude führen. Schöne Plangrafik allein ist keine Garantie für ein schönes Haus. In Sempers Sicht haben Objekte, insofern sie an die Wahrnehmung gebunden sind, keine stabile Form, sondern sind morphologisch zu betrachten.

Mechanisches Projizieren und numerische Proportionssysteme stehen außerdem im Widerspruch zu der Qualität, die Semper an der Natur bewundert: Alles Natürliche

²² Eine Vorarbeit ließ er 1854 von einem Dresdner Mathematiklehrer veröffentlichen: B[enjamin] Witzschel, *Von der Form der Körper, die mit geringster Resistenz in widerstehenden Mitteln sich bewegen*, in: *Annalen der Physik und Chemie* 93, 1854, Nr. 10, S. 297–305. Die komplette Arbeit erschien 1859 im Verlag für Kunst und Wissenschaft, Frankfurt a. M.; wiederabgedruckt in Semper, *Gesammelte Schriften* 2014 (siehe Anm. 12), Bd. 1.2, S. 660–777.

²³ Semper 1859 (siehe Anm. 22), S. 3.

²⁴ Ebd., S. 2f.

zeichne sich durch eine ihm eigene „Lebenskraft“ aus. Semper beschreibt diese Kraft als innere Gesetzmässigkeit, die die Formbildung regelt. Was die natürliche Lebenskraft für den Künstler interessant macht, ist der Umstand, dass diese Kraft auch in der Form von Artefakten ausgedrückt werden kann. Und noch mehr als das: Wenn ein Artefakt schön sein soll, muss sie diese Kraft sogar zwingend ausdrücken. Oder, in Sempers Worten: „jede wahre Kunstform [muss] der Ausdruck eines gewissen Gesetzes innerster Nothwendigkeit sein [...], gleich wie dieses bei den Naturformen sicher der Fall ist“.²⁵ In der Architektur sei dies nur den Griechen gelungen: „aber es ist nur Ein [sic] Beispiel von einem Volke vorhanden, das dahin gelangte, seine tektonischen Gebilde gewissermassen organisch zu beleben. Die Monumente der Griechen sind nicht konstruirt, gedreht und gegossen, sie sind gewachsen“.²⁶ Die Tempel der Griechen seien nicht dank applizierter Ornamente schön. Vielmehr seien die architektonischen Bauteile selbst schön, weil sie Lebenskraft ausdrücken: „ihre Formen in sich sind solche, wie sie die organischen Kräfte hervorbringen, wenn sie mit der schweren Substanz in Conflict gerathen.“ Das ist auch der Grund, warum die „Griechen allein“ es gewagt hätten, „menschliche Formen zu Trägern ihrer Gebälke zu machen“.²⁷

Die mandelförmigen Schleudergeschosse nun dienen Semper als ein formal einfaches Beispiel für eine dynamische Formgebung, mit der sich „Lebenskraft“ ausdrücken lässt. (Abb. 10) Die gleichen Prinzipien, die der Gestaltung der Geschosse zugrunde liegen, hätten die Griechen, so Semper, auch bei Formgebung der griechischen Tempel angewandt. Zwischen der geschwungenen Mandelform der Geschosse und der Linienführung von Entasis und Krümmung besteht demnach eine gewissermaßen ‚genetische‘ Verwandtschaft.

In ihrem Hauptteil beinhaltet Sempers Studie umfangreiche Berechnungen. Sein Ziel ist es nachzuweisen, dass die Schleudergeschosse nicht nur schön sind, weil sie dynamisch wirken, sondern weil sie tatsächlich – den wissenschaftlichen Gesetzen der Aerodynamik gemäss – ihrer dynamischen Funktion entsprechend geformt sind. Die Form der Geschosse selbst aber interpretiert Semper als materialisierte Bewegung. Ausgangspunkt seiner Argumentation ist die Vorstellung einer Kugel, die durch die Luft fliegt. (Abb. 11) Die Kugel schiebt die Luft vor sich her, wobei sie entsprechend ihrer Massenverteilung die größte Schubkraft in der Mittelachse

²⁵ Ebd., S. 1f.

²⁶ Ebd., S. 4f.

²⁷ Ebd., S. 5.

entwickelt. Dadurch entsteht vor der Kugel ein spitz zulaufender Bereich mit verdichteter Luft. Die die Kugel umfließenden Luftströme treffen hinter ihr in einem Kurvenverlauf wieder aufeinander, der den Begrenzungen des Bereichs mit verdichteter Luft entspricht. Der von den Luftströmen umschlossene hintere Raum ist luftarm. Zusammen mit der Kugel bilden der Bereich mit verdichteter Luft und der luftarme Bereich eine Mandelform. Wichtig für Sempers Formtheorie ist seine Annahme, dass die Natur dazu tendiere, leere Räume aufzufüllen. „Diese relative Leere“, schreibt er dazu, „füllt die Natur in ihren Gebilden, wie sie es immer vermag, aus, und sucht [die Leere] zu vermeiden, so weit eine zweckentsprechende Formgebung dieses erreichbar machen kann.“²⁸ Das ‚Auffüllen‘ des vorderen Raums dagegen materialisiert gewissermaßen die Schubkraft (und minimiert den Luftwiderstand). Die Mandelspitzen der Schleudergeschosse sind also das Resultat eines Auffüllens der Bereiche vor und hinter einer fliegenden Kugel. Pointiert könnte man sagen, sie sind die materialisierte Darstellung aerodynamischer Gesetzmässigkeiten. Die geschulte Anschauung erlaubt es, die physikalischen Gesetzmässigkeiten als Form aufzufassen und in Gestalt der Schleudergeschosse zu realisieren.

Da die von ihm berechnete aerodynamische Idealform eines solchen Schleudergeschosses mit der Form erhaltener Schleudergeschosse übereinstimmt, steht für Semper fest, dass die Griechen deren Formen auf der Basis eines entsprechenden mathematischen Wissens definierten. Mit dieser Annahme aber stand er vor einem argumentativen Problem: Denn wenn die Griechen die Form von Schleudergeschossen berechnen konnten, musste man dann nicht davon ausgehen, dass sie auch verwandte Formen in der Architektur berechneten? Wie aber verhält sich das zu Sempers Überzeugung, dass schöne Formen in der Kunst nicht rechnerisch ermittelt werden können?²⁹

Semper begegnete diesem Problem, indem er eine falsche von einer richtigen Art der Berechnung unterscheidet. Eine Formgebung auf der Basis einfacher numerischer Operationen und simpler geometrischer Figuren lehnte er ab. In diese

²⁸ Ebd., S. 11.

²⁹ Semper erwähnte das Schleudergeschoss als beispielhaftes Objekt erstmals öffentlich in einem Vortrag, den er am 11.11.1853 als Lehrer am Department of Science and Art in London hielt. In diesem Zusammenhang verwehrt er sich gegen eine konstruktivistische Auffassung des Entwurfsvorgangs: „an artistical problem is not a mathematical one and [...] results in fine arts are hardly obtainable by calculation. This is very true, and I am the last to believe that mere reflexion and calculation may at any time succeed in filling the place of talent and natural taste.“ gta Archiv, ETH Zürich, 20-Ms. 124, fol. 6r.

Kategorie fielen die starr und leblos wirkenden Formen, mit denen Hay seine Ausführungen illustriert hatte. Stattdessen betrachtete Semper eben jenes Prinzip als grundlegend für die Formgebung, das Hay explizit abgelehnt hatte: die formgenerierende Gesetzmässigkeit der Bewegung. Bewegung war – wie erläutert – für Hay per se ein Argument, Parabel und Hyperbel als „merely curves of motion“ abzulehnen.³⁰ Semper dagegen machte eben solche Bewegungskurven zu seinem Untersuchungsgegenstand. Dabei gilt es allerdings einen weiteren Punkt zu beachten: Sempers Bewegungskurven waren keine Parabeln oder Hyperbeln, wie sie Penrose verwendet hatte. Semper ging anders vor. Die Kurven, die er ermittelte, sind das Ergebnis langwieriger Berechnungen. (Abb. 12) Die Bewegungskurve, die geschwungene Bahn der verdrängten und der das Projektil umströmenden Luft wird durch eine Funktion beschrieben.

Mit seiner Studie zu den griechischen Schleudergeschossen begab sich Semper auf ein Feld, auf dem er mit der Dynamik ein relationales Prinzip als Grundbedingung der Form studieren konnte. Die Variabilität der Faktoren fällt zusammen mit der wahrgenommenen Variabilität der Form des sich im Raum bewegenden Objekts. Die zugrundeliegenden physikalisch-mathematischen Gesetzmässigkeiten sind die feststehenden Naturgesetze der Gravitation, Statik und Dynamik. In Anschlag kommen algebraische Verfahren, mit denen sich die Auswirkung minimaler Veränderungen des Eingabewerts auf die Ergebnisse berechnen lässt. Die mathematisch ermittelten Resultate sind optimierte Näherungswerte an die ‚Wirklichkeit‘. Genau diese Ungenauigkeiten erlauben es aber, dem Prinzip des Lebens, der Bewegung, der morphologischen Auffassung der Form und der topologischen Auffassung des Raums mit wissenschaftlichen Mitteln besonders gut gerecht zu werden. Denn nur eine Art der Berechnung, die mit Variablen arbeitet, wird sowohl dem dynamischen Naturvorbild als auch der Relativität der ästhetischen Wahrnehmung gerecht. Wenn wir in Zeitlupe beobachten würden, wie ein Schleudergeschoss durch die Luft fliegt, so würden wir es je nach seiner relativen Position zu uns als schöner oder weniger schön empfinden. Als Objekt in der Hand gehalten dagegen ist das Schleudergeschoss – gutes Licht vorausgesetzt – verlässlich als schön erfahrbar, da in seiner Form die Prinzipien der Bewegung gewissermassen eingefroren sind. Das im Sinne von Herbart geschulte anschauende

³⁰ Hay 1853 (siehe Anm. 15), S. 163.

Auge kann solche Zusammenhänge intuitiv erkennen. Mit seinen Berechnungen lieferte Semper in diesem Sinn nur den nachträglichen Beweis.

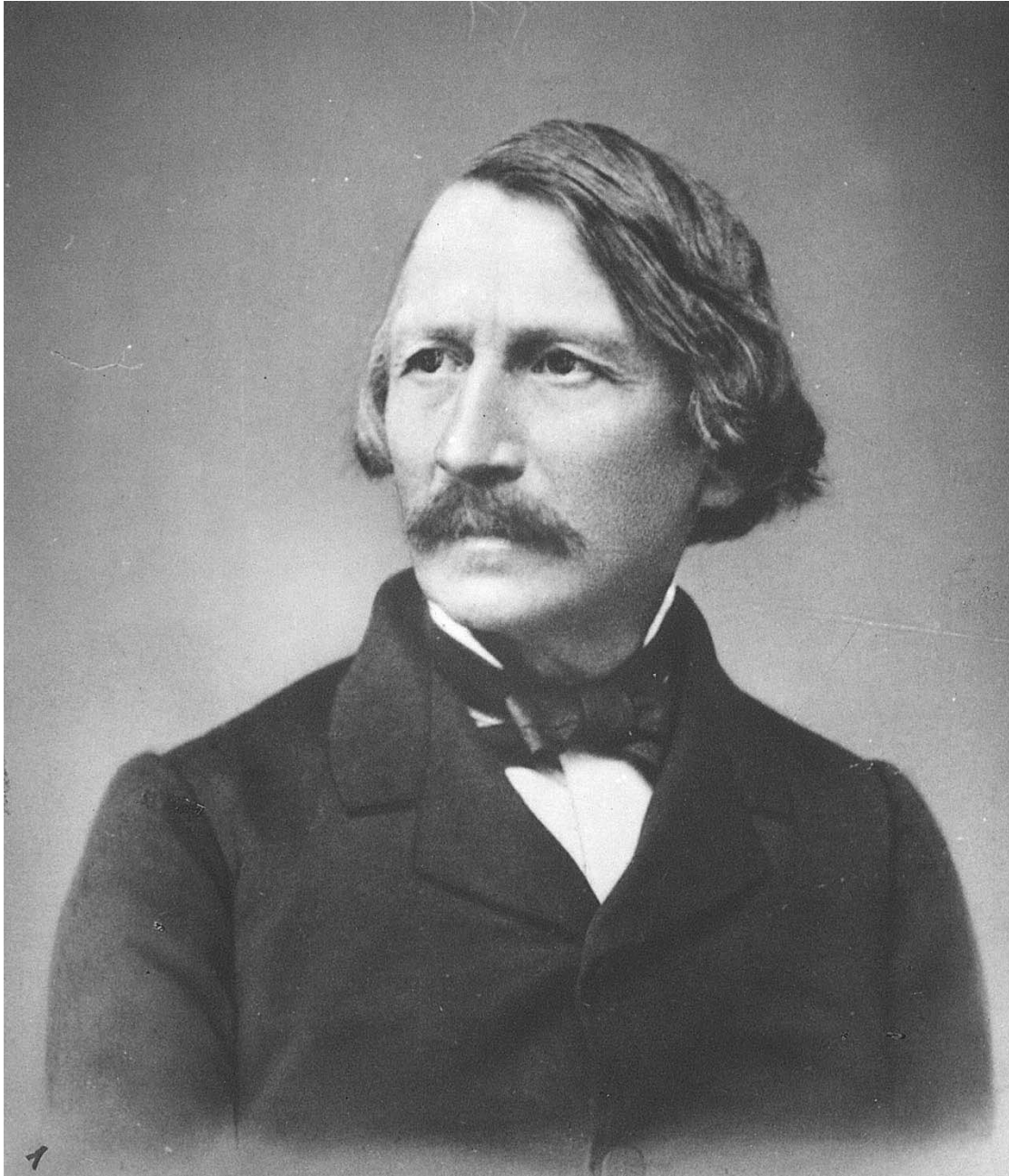


Abb. 1 Gottfried Semper, um 1855

(gta Archiv, ETH Zürich, Nachlass Gottfried Semper, 20-F-Por-1)



Abb. 2 Gottfried Semper, Hauptgebäude des Eidgenössischen Polytechnikums, Zürich (1858–68),
 Perspektivische Ansicht der Hauptfassade, um 1859
 (gta Archiv, ETH Zürich, Nachlass Gottfried Semper, 20-0300-34)



Abb. 3 Gottfried Semper mit Carl von Hasenauer, Naturhistorisches Museum, Wien (1869–91)
 (Foto Sonja Hildebrand 2014)



Abb. 4 Bernhard Friedrich Thibaut, Porträt von Ludwig Emil Grimm, 1826

(aus Karin Reich, *Bernhard Friedrich Thibaut, der Mathematiker an Gauß' Seite*, in: *Mitteilungen der Gauß-Gesellschaft* 34, 1997, S. 46)

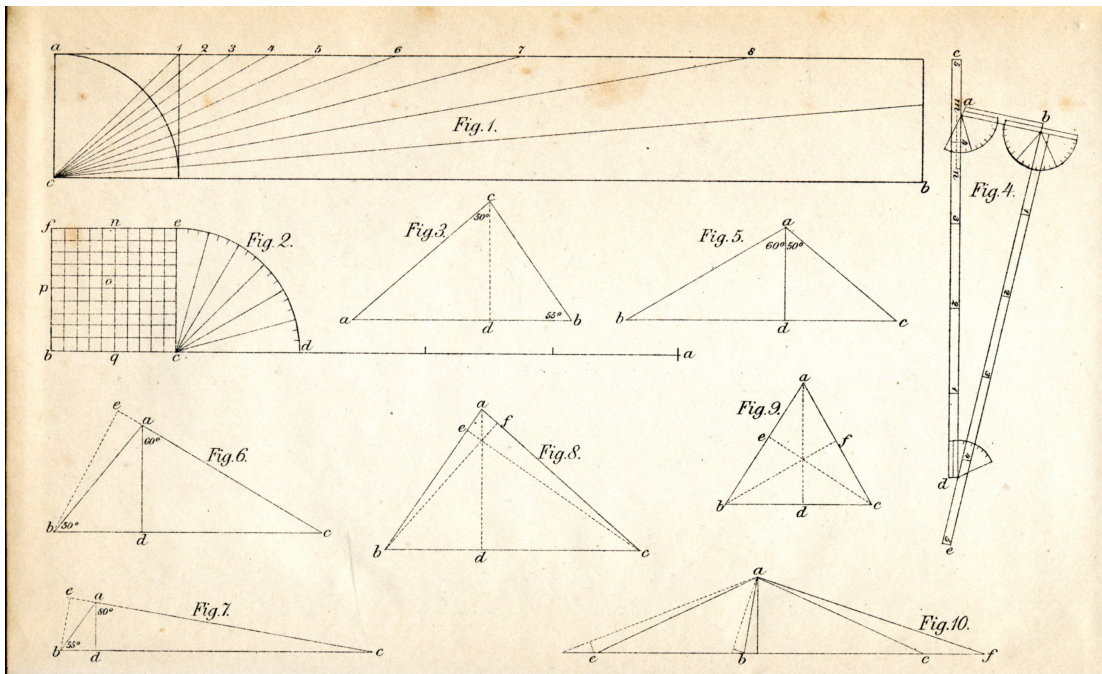


Abb. 5 Johann Friedrich Herbart, Tafel aus *Pestalozzi's idee eines ABC der Anschauung* (1802)

(aus *Joh. Friedr. Herbart's pädagogische Schriften*, mit Herbart's Biographie herausgegeben von Dr. Fr. Barholomäi, 6. Aufl., neu bearb. und mit erläuternden Anmerkungen versehen von Dr. E. von Sallwürk, Bd. 2, Langensalza: Hermann Beyer & Söhne 1896)

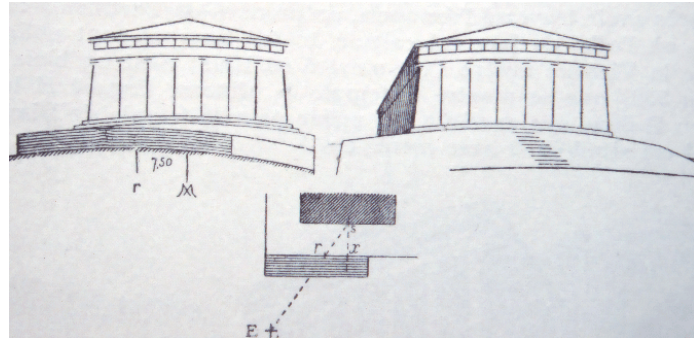
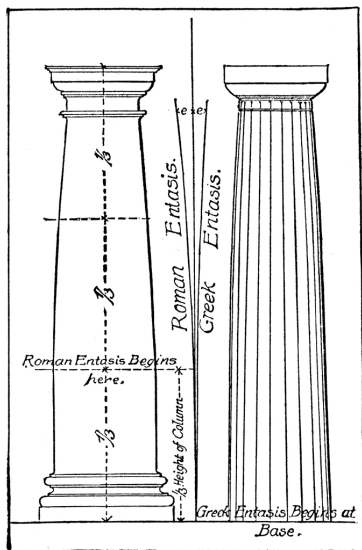


Abb. 6a Schemazeichnung Entasis Abb. 6b Schemazeichnung Krümmung und Inklination



Abb. 7 Vermessung des Parthenon, Vignette aus Francis Cranmer Penrose, *An Investigation of the Principles of Athenian Architecture*, London 1851

(ETH-Bibliothek, Alte Drucke, Foto Sonja Hildebrand)

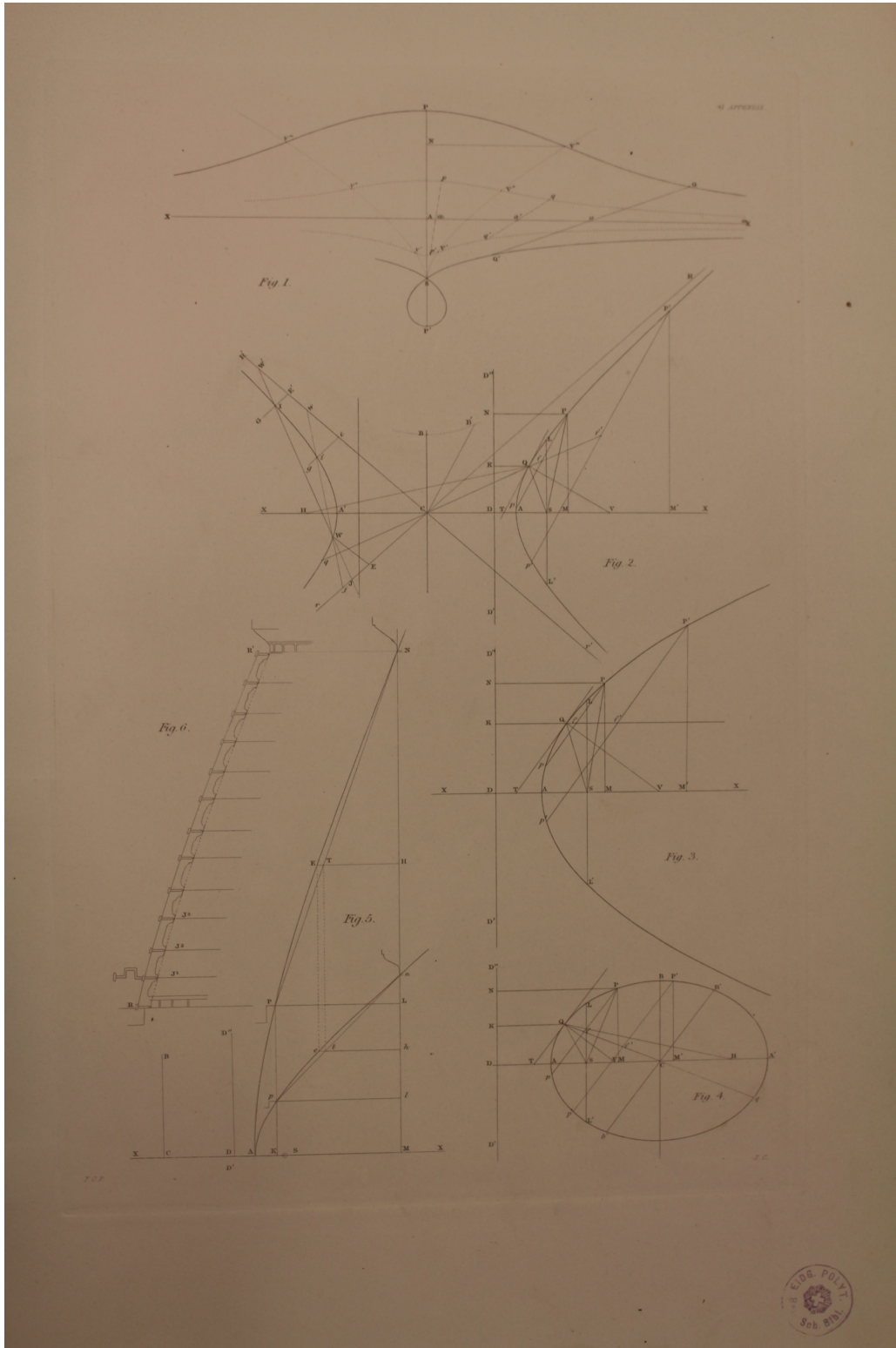


Abb. 8 Francis Cranmer Penrose, *An Investigation of the Principles of Athenian Architecture*, London 1851, Fig. 1-6: Kurvendiagramme

(ETH-Bibliothek, Alte Drucke, Foto Sonja Hildebrand)

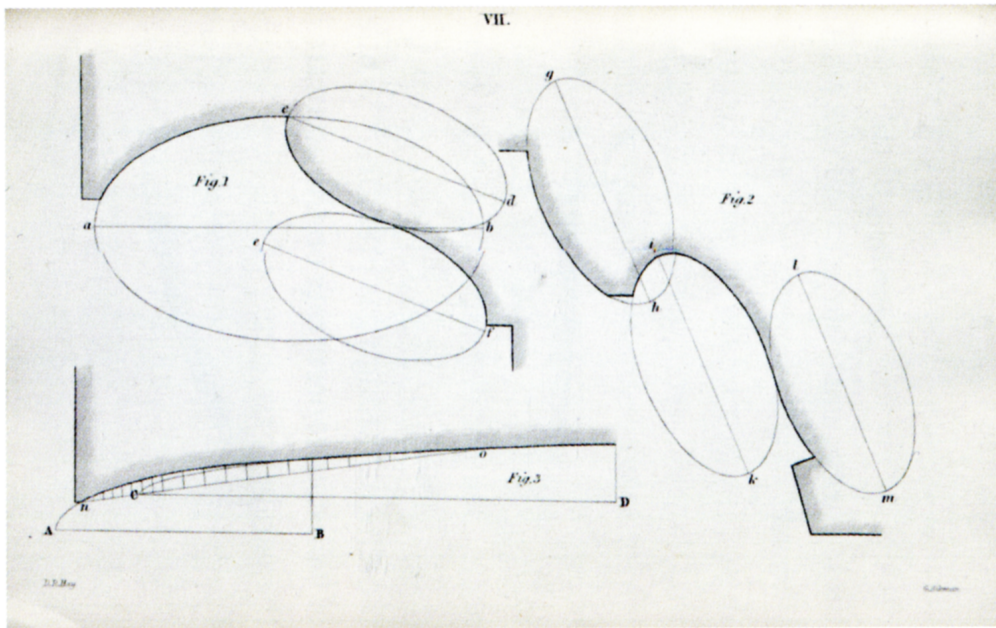


Abb. 9 David Ramsay Hay, *The Orthographic Beauty of the Parthenon Referred to a Law of Nature*, Edinburgh: William Blackwood and Sons 1853, Tafel 7
 (aus Gülrü Necipoğlu, Alina Payne (Hg.), *Histories of Ornament: From Global to Local*, Princeton und Oxford: Princeton University Press 2016, S. 51)



Abb. 10 Gottfried Semper, Schleudergeschoss, Vorzeichnung für Tafel 3 in *Ueber die bleiernen Schleudergeschosse der Alten und über zweckmässige Gestaltung der Wurfkörper im Allgemeinen. Ein Versuch die dynamische Entstehung gewisser Formen in der Natur und in der Kunst nachzuweisen* (1859)

(gta Archiv, ETH Zürich, Nachlass Gottfried Semper, 20-Ms. 162, Foto Sonja Hildebrand)

