

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 71 (1953)
Heft: 8: Sonderheft zum Geburtstag von Prof. Dr. E. Meyer-Peter. 1. Teil

Artikel: Leonardo da Vincis Entwurf für eine Brücke über das Goldene Horn
Autor: Stüssi, F.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-60504>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 30.01.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

titre, considérer Craponne comme un des principaux pré-curseurs de la technique moderne des études sur modèles réduits.

La branche du canal destinée à l'alimentation de la région de Salon fut achevée en moins de cinq ans. Le 20 avril 1559, toute la population de la ville se porta à la rencontre des eaux, clergé et ordres monastiques en tête, bannières déployées . . .

Il y eut, la même année, une grande sécheresse, et seuls les oliviers irrigués par le nouveau canal donnèrent une récolte. Pour Craponne, ce fut un succès incontestable, qui lui valut une grande renommée et lui permit de trouver les fonds nécessaires pour continuer son œuvre, en prolongeant le canal jusqu'à l'étang de Berre et en construisant les autres branches dont nous avons parlé.

Il ne put toutefois achever l'ouvrage lui-même, car il eut dans la suite, nous l'avons laissé entendre, de grosses difficultés financières. En 1571, à bout de ressources et engagé dans plusieurs procès, il se vit obligé de céder à ses adversaires la plupart de ses droits et obligations quant au canal. Mais ses successeurs continuèrent son œuvre et l'achevèrent.

Une grande partie des branches du Canal de Craponne sont encore utilisées aujourd'hui. Plusieurs ont été agrandies ou modifiées, d'autres abandonnées, de nouveaux canaux d'irrigation ont été construits dans la région, et l'œuvre commencée il y a quatre siècles se poursuit. Elle contribue à la prospérité d'une des régions les plus pittoresques de France.

Craponne n'a d'ailleurs pas borné son activité à l'ouvrage que nous avons sommairement décrit. Jouissant de la confiance des rois qui se succédèrent à cette époque sur le trône de France, il fut chargé de travaux importants, principalement de celui d'*assainir les marais de Fréjus*. Il élaborait également

de grands projets, notamment celui du *Canal de Provence*, destiné à amener à Aix et Marseille l'eau de la Durance, celui du *Canal du Charolais*, qui fut construit plus tard par *Gauthier* sous Louis XVI, et qui porte aujourd'hui le nom de *Canal du Centre*, et celui du *Canal du Languedoc*, que *Riquet* devait exécuter au milieu du XVII^e siècle, mais en modifiant le projet initial. L'ingénieur salonnais étudia aussi la question du *dessèchement des marais d'Arles* et celle de l'*amélioration du Lac de Grandlieu*, sur la rive gauche de la Loire, en aval de Nantes.

Adam de Craponne mourut en 1576, à l'âge de 50 ans, dans des conditions qui n'ont pas encore été éclaircies. Il se peut que, chargé par Henri III de contrôler des travaux exécutés dans la citadelle de *Nantes*, il ait été empoisonné dans cette ville par des gens qui, redoutant sa clairvoyance et sa droiture, auraient eu intérêt à se défaire de lui.

Lorsqu'on étudie la courte vie de cet homme, on ne peut s'empêcher d'être saisi d'admiration par l'œuvre immense qu'il a réalisée, à une époque où les moyens dont pouvait disposer un ingénieur étaient précaires. Craponne est certainement une grande figure, et qui mériterait d'être mieux connue.

Bibliographie

J. de la Lande, Des canaux de navigation et spécialement du canal du Languedoc. Veuve Desaint. Paris, 1778, p. 171 à 175.

F. Martin, Adam de Craponne et son oeuvre. Dunod, Paris, 1874 (96 p.).

J.-B. Bertin et V. Audier, Adam de Craponne et son canal. Champion, Paris, 1904 (346 p.).

M. Denizet, Notice sur Adam de Craponne et sur l'art de l'ingénieur au XVII^e siècle. «Annales des Ponts et Chaussées», Paris, 1927, III (36 p.).

Leonardo da Vincis Entwurf für eine Brücke über das Goldene Horn

Von Prof. Dr. F. STÜSSI, ETH, Zürich

DK 92

1. Das Manuskript L Leonardo da Vincis enthält die Entwurfsskizze einer massiven Brücke, die wie eine Vision von ungeheurer Kühnheit anmutet, die nicht nur weit über die Zeit Leonardos hinausreicht, sondern auch heute im Massivbrückenbau noch nicht verwirklicht worden ist. In Bild 1¹⁾ ist diese Skizze seitenverkehrt wiedergegeben, damit der von Leonardo in Spiegelschrift geschriebene Text leichter lesbar wird: «Ponte da Pera a Gosstantinopoli, largo 40 braccia, alto dall'acqua braccia 70, lungo braccia 600, cioè 400 sopra del mare e 200 posa in terra, faccendo di se spalle a se medesimo.»

Rechnen wir die Elle (braccia) angenähert zu 0,60 m (es ist hier wohl unnötig, mit dem genaueren Wert von 0,584 m zu rechnen), so stellt diese Skizze somit den Entwurf einer Steinbrücke von 240 m Lichtweite dar, der sowohl im Aufriss wie im Grundriss bemerkenswerte Züge aufweist. Der Grundriss zeigt, dass Leonardo sich seine Brücke als «Doppelbogen» vorgestellt hat, durch den der Winddruck, dessen Grösse bei diesem gewaltigen Bauwerk einige hundert Tonnen beträgt, in beiden Richtungen auf Druck aufgenommen werden kann. Im Aufriss ist bemerkenswert, dass die Stärke des Gewölbes, das in der Scheitelgegend verhältnismässig schlank ist, etwa von den Gewölbevierteln an gegen die Kämpfer sehr stark zunimmt, und die Skizze zeigt sehr anschaulich, was Leonardo sich mit dem prägnanten Bild «sich selber Schultern bilden» vorgestellt hat.

2. Es ist das Verdienst von Prof. Franz Babinger, München, durch die eingehend kommentierte Veröffentlichung eines von ihm kürzlich aufgefundenen Briefes²⁾, als dessen Absender er Leonardo identifizieren konnte, überzeugend nachgewiesen zu haben, dass hinter Leonardos Brückenskizze die feste Absicht zur Verwirklichung des Entwurfes gestanden hat. In diesem Briefe vom Jahre 1502 oder 1503 empfiehlt sich Leonardo dem türkischen Sultan als Baumeister für den Bau von Windmühlen, Schiffspumpen, Zugbrücken und eben der Brücke über das Goldene Horn, die hier, im Gegensatz zum Manuskript L, die Ortsbezeichnung «von Galata nach

Stambul» trägt. Nachstehend ist die Briefstelle, die sich auf den Brückenbau bezieht, in der Uebersetzung F. Babingers wiedergegeben:

«Ich, Euer Sklave, habe vernommen, dass Ihr beabsichtigt habt, eine Brücke von Galata nach Stambul zu errichten, dass Ihr sie aber nicht gemacht habt, weil sich kein Fachmann (Kenner) fand. Ich, Dein Sklave, weiss es. Ich werde sie aufführen, so hoch wie einen Bogen, dass niemand sich einverstanden erklärt, darüber zu schreiten, weil sie so hoch sein wird. Aber ich habe daran gedacht, dass ich einen Bretterschlag herstelle, hernach das Wasser heraushole und [sie] auf Pfähle setze. So mache ich es, dass ein Schiff mit (gespanntem) Segel unten durchfahren kann.»

Auf Einzelheiten dieser Briefstelle wird zurückzukommen sein.

3. In erster Linie dürfte nun interessieren, ob Leonardos Brückenentwurf hätte ausgeführt werden können. Bei einer Nachrechnung, die uns auf diese Frage die Antwort geben kann, ist nun allerdings zunächst zu beachten, dass zwischen den Proportionen der Skizze (Bild 1) und den Zahlenangaben des Textes gewisse Widersprüche bestehen. Solche Widersprüche kommen aber auch an andern Stellen bei Leonardo vor, so beispielsweise bei der Skizze des Fallschirms im Co-

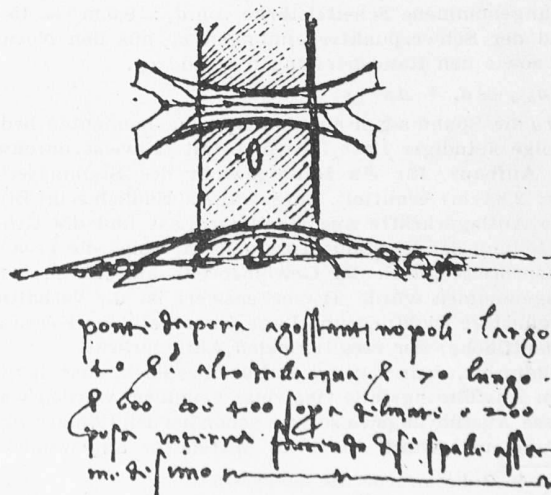


Bild 1. Leonardos Brückenentwurf

¹⁾ Ms. L, fol. 66 recto (Institut de France). Bei der Beschaffung der Unterlagen zur vorliegenden Studie waren mir die Herren Dr. P. Scherrer, Oberbibliothekar der ETH, und Dipl. Ing. W. Vogel, Betriebswissenschaftliches Institut der ETH, behilflich, wofür ich auch hier bestens danken möchte.

²⁾ F. Babinger: Vier Bauvorschläge Leonardo da Vincis an Sultan Bajezid II (1502/3). Mit einem Beitrag von L. H. Heydenreich. Nachrichten der Akademie der Wissenschaften in Göttingen. I. Philologisch-Historische Klasse. Jahrgang 1952, Nr. 1.

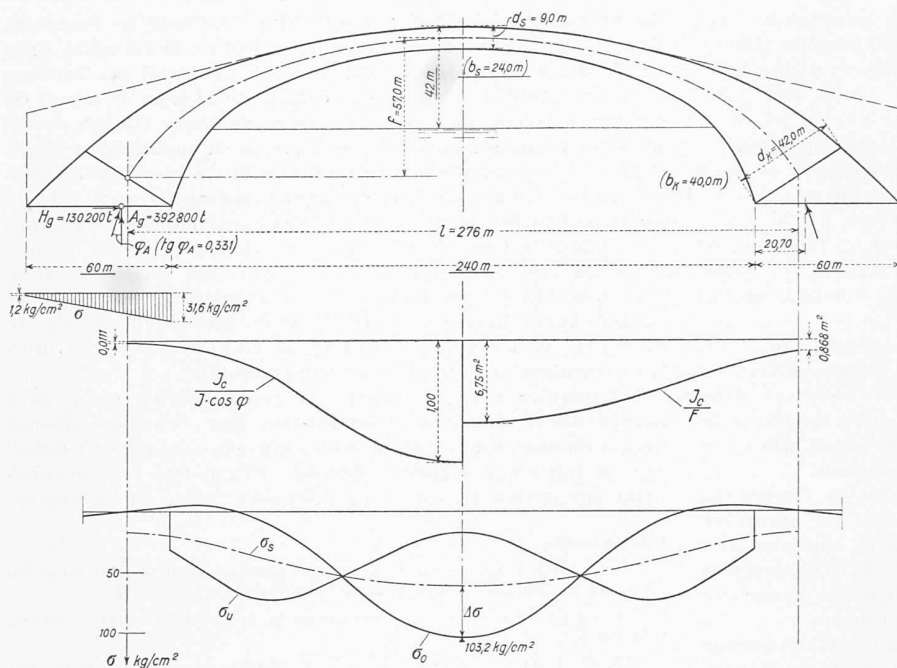


Bild 2. Zur Gewölberechnung

dice Atlantico, fol. 381 verso - a, wo eindeutig die Zahlenangaben des Textes als richtig anzusehen sind. Ich habe der Nachrechnung deshalb den in Bild 2 dargestellten Bogen zu Grunde gelegt, bei dem ich versucht habe, die Formverhältnisse der Skizze möglichst getreu in Leonardos Zahlenangaben (die unterstrichen sind) einzupassen. Die nicht unterstrichenen Abmessungen von Bild 2 sind so gut wie möglich aus den Proportionen der Skizze abgeleitet. Die einzige moderne und damit willkürliche Interpretation der Skizze ist in Bild 2 diejenige, dass die Bogenaxe der Drucklinie aus ständiger Last folgen soll; da aber hier, weil hier der Einfluss der Längskräfte auf die Verschiebungsgrößen der Elastizitätsbedingungen des eingespannten Bogens beträchtlich ist, die Drucklinie durchaus nicht die günstigste Form der Bogenaxe darstellt, darf wohl auf Grund der heute zugänglichen Beweise für die Denkweise und die grossartige und zielsichere Intuition Leonardos angenommen werden, dass er an Hand von Modellversuchen durchaus imstande gewesen wäre, eine der Drucklinie annähernd gleichwertige Form der Bogenaxe zu finden. Wir dürfen uns in diesem Zusammenhang auch daran erinnern, dass Leonardo es war, der als erster den richtigen Begriff der statischen Momente für beliebig gerichtete Kräfte mit dem senkrecht zur Krafrichtung gemessenen «potentiellen» Hebelarm eingeführt und gleichzeitig die Form und die inneren Kräfte eines belasteten Seiles, also der Umkehrung des Drucklinienbogens, richtig angegeben hat³⁾.

In Bild 2 ist auch der Verlauf der Werte

$$\frac{J \cos \varphi}{J_c} \text{ und } \frac{J_c}{F}$$

für die angenommene Scheitelstärke von $d_s = 9,0 \text{ m}$ (~ 15 Ellen) und der Schwerpunktsspannungen σ_s aus den Normalkräften sowie den Randspannungen σ_o und σ_u ,

$$\sigma_{o,u} = \sigma_s \pm \Delta \sigma$$

wobei $\Delta \sigma$ die Spannungen aus den Biegemomenten bedeutet, infolge ständiger Last (Gewölbe mit teilweise durchbrochenem Aufbau), für ein Raumgewicht des Steinmaterials von $\gamma = 2,8 \text{ t/m}^3$ ermittelt, aufgetragen. Endlich zeigt Bild 2 auch die Auflagerkräfte aus ständiger Last und die Grösse und Verteilung der Fundamentpressungen, wobei die gesamte Fundamentbreite gleich der Gewölbereite am Kämpfer mit 40 m angenommen wurde. Bemerkenswert ist die verhältnismässig günstige Richtung und Lage (innerhalb des Kerns der Fundamentfläche) der resultierenden Auflagerkraft.

Es kann nun kein Zweifel darüber bestehen, dass das Gewölbe im Ausführungsfalle ringweise gemauert worden wäre, denn diese Ausführungsweise war schon bei den Römern ständige Praxis und wurde auch im Mittelalter angewendet⁴⁾.

³⁾ S. z. B. Codice Arundel 263, fol. 1 verso.

⁴⁾ S. z. B. A. Leger, Les travaux publics, les mines et la métallurgie aux temps des Romains. Paris 1875.

Da diese Ausführungsweise die Gewölbeanspruchungen beeinflusst, muss sie hier etwas näher untersucht werden. Der erste Gewölbering wird vom Lehrgerüst allein getragen, während Lehrgerüst und erster Ring sich an der Aufnahme des Gewichtes des zweiten Ringes entsprechend ihrer relativen Steifigkeit gemeinsam beteiligen. Für die Gewölbedurchbiegung ist bemerkenswert, dass ein einzelner Ring unter seinem Eigengewicht sich annähernd gleich stark durchbiegt, wie das ganze Gewölbe unter seiner vollen Belastung. Bezeichnen wir (bei näherungsweise gleich angenommenem Verlauf der Biegunslinien von Lehrgerüst und Gewölbe) mit η_R die Durchbiegung (beispielsweise im Scheitel) eines Gewölberinges, mit η_L die Durchbiegung des Lehrgerüsts, beide für Belastung durch einen Ring gerechnet, so ergibt sich der Belastungsanteil μ_i des ersten Ringes am Gewicht des zweiten aus der Elastizitätsbedingung

$$\mu_2 \eta_R = (1 - \mu_2) \eta_L$$

zu

$$\mu_2 = \frac{\eta_L}{\eta_R + \eta_L}$$

An der Aufnahme des i -ten Ringes beteiligen sich das Lehrgerüst und die $i - 1$ vorher gemauerten Ringe und es ist

$$\mu_i \frac{\eta_R}{i - 1} = (1 - \mu_i) \eta_L$$

oder

$$\mu_i = \frac{\eta_L}{\eta_R + \eta_L (i + 1)}$$

Beim Absenken des Lehrgerüsts ist schliesslich noch die entsprechende Belastung vom fertigen Gewölbe zu übernehmen. Dabei dürfen wir mit für unsere Zwecke genügender Genauigkeit die einzelnen Ringe als gleichartig annehmen. Eine Besonderheit tritt noch deshalb auf, weil beim vorliegenden Gewölbe der Einfluss der Längskraftverformung auf die Spannungsverteilung beträchtlich ist; dagegen zeigt sich, dass wir für die verschiedenen Bauzustände nicht nur die Grösse der relativen Schwerpunktsspannungen σ_s , sondern auch das Verhältnis $\Delta \sigma : \sigma_s$ linear, d. h. proportional zur Gewölbereite aus den beiden Grenzfällen, volles Gewölbe einerseits und ideal schlanker Ring ($\Delta \sigma = 0$) andererseits, interpolieren dürfen.

Die Gewölbedurchbiegung η_R kann mit einem Elastizitätsmodul des Mauerwerks von $E = 500 \text{ t/cm}^2$ zu $\eta_R \cong 5,0 \text{ cm}$ berechnet werden. Für das Lehrgerüst habe ich ein fächerförmiges System angenommen, das unter dem Gewicht des halben Gewölbes bis an die zulässige Grenze beansprucht wäre und dafür eine Durchbiegung von etwa 9 cm geschätzt. Bei einer Ausführung in 6 Ringen, die ich der Spannungsrechnung zu Grunde gelegt habe, wird damit $\eta_L = 3,0 \text{ cm}$. Es ist anzunehmen, dass bei einer Ausführung die Zahl der Ringe wesentlich grösser gewählt worden wäre. Auf Grund der hier skizzierten Ueberlegungen und Berechnungen ergeben sich die in Bild 3 vorgestellten Spannungsbilder für Kämpfer, Viertel und Scheitel des Gewölbes infolge ständiger Last.

Der Einfluss der Verkehrslast ist vernachlässigbar klein; infolge einer gleichmässig verteilten Belastung von 200 kg/m^2

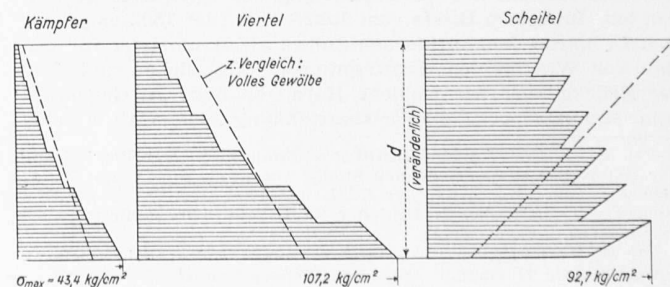


Bild 3. Eigengewichtsspannungen bei ringweiser Ausführung

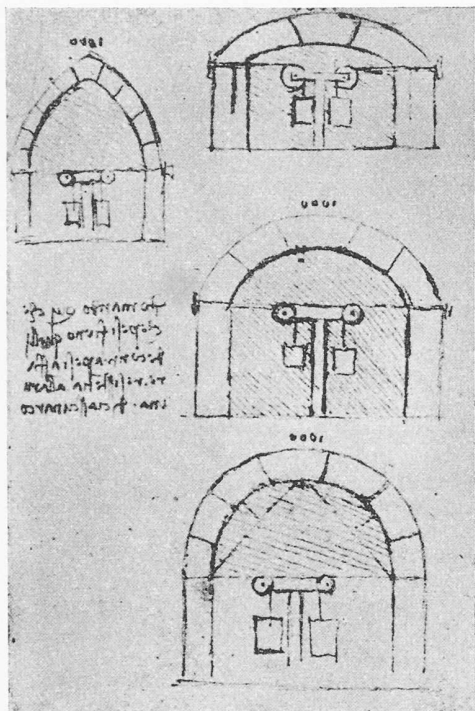


Bild 4. Gewölbewirkung

bzw. $24,0 \times 0,20 = 4,8 \text{ t/m}^2$ in ungünstigster Stellung ergeben sich Gewölbbeanspruchungen in der Grössenordnung von 1 bis 2 kg/cm^2 . Auch der Temperatureinfluss dürfte nicht gefährlich sein, da bei solchen Natursteingewölben die Temperatureausdehnungszahl ω_t klein ist; mit $\omega_t = 0,000003$ und $\Delta t = \pm 20^\circ$ ergeben sich die grössten rechnerischen Temperaturspannungen im Scheitel zu 18 kg/cm^2 . Ein Ausknicken des Gewölbes kommt bei den vorliegenden Abmessungen nicht in Betracht. Endlich ist noch darauf hinzuweisen, dass bei der sehr langen Bauzeit, die damals für die Erstellung eines solchen Bauwerkes notwendig gewesen wäre, auch die Gefahr nachträglicher Setzungen als gering einzuschätzen ist.

Die Schlussfolgerung aus diesen Untersuchungen ist eindeutig: Die Ausführung der von Leonardo vorgesehenen Brücke über das Goldene Horn ist technisch möglich. Die grössten vorkommenden Beanspruchungen liegen in der Grössenordnung von 100 kg/cm^2 ; nennenswerte Zugspannungen kommen nicht vor. Wenn wir an die Festigkeiten der hier in Betracht kommenden Gesteine, wie etwa Granit, Basalt oder auch Marmor, die teilweise weit über 1000 kg/cm^2 liegen, und andererseits an die Bearbeitungsgenauigkeiten, die schon die alten Ägypter erreicht haben⁵⁾, denken, so dürfen wir feststellen, dass eine genügende Sicherheit des Bauwerkes ohne weiteres erreichbar ist.

Eine andere Frage ist die, ob die Ausführung der Brücke auch wirtschaftlich möglich gewesen wäre. Es braucht uns hier jedoch weiter nicht zu beschäftigen, ob der türkische Sultan damals imstande gewesen wäre, die für den Bau dieses gewaltigen Bauwerkes mit rund $140\,000 \text{ m}^3$ hochwertigem Quadermauerwerk erforderlichen Mittel und Arbeiterheere aufzubringen; es ist dies eine Frage, die die Leistung Leonardos nicht tangiert.

4. Eine letzte Frage, die sich hier stellt, ist die, ob Leonardo, wenn Sultan Bajezid ihm den Auftrag erteilt hätte, imstande gewesen wäre, die Brücke über das Goldene Horn auch wirklich auszuführen, oder, mit anderen Worten, ob Leonardo auf Grund seines Wissens und Könnens innerlich berechtigt war, dem Sultan seine Dienste als Baumeister dieser Brücke anzubieten. Ich glaube nicht, dass wir berechtigt sind, diese Frage eindeutig mit Ja oder Nein zu beantworten. Wir wissen nicht, ob das Schicksal

⁵⁾ Nach W. M. Flinders Petrie: The Arts & Crafts of ancient Egypt, London 1909, liegen beispielsweise die Abweichungen der Fugen von Blöcke der Cheops-Pyramide bei über 6 Fuss Länge gegenüber der Geraden unter einem Hundertstel Zoll.

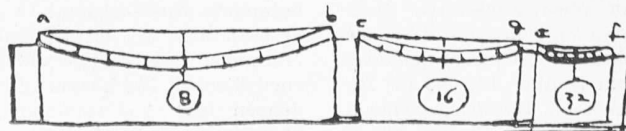


Bild 7. Balkenbiegung

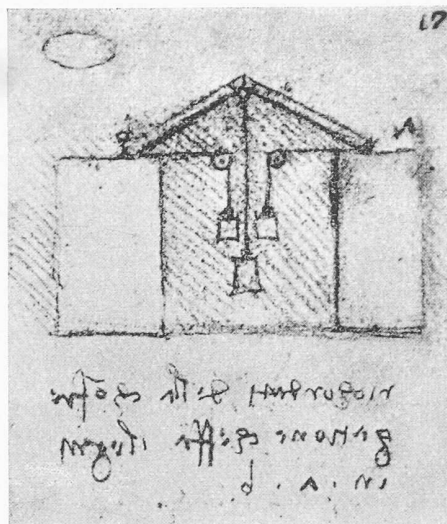


Bild 5. Horizontal-schub und Pfeiler

wissen nicht, ob oder wie Leonardo diese Schwierigkeiten gemeistert hätte. Was wir jedoch tun können, ist zu untersuchen, ob Leonardo die wichtigsten technischen Grundlagen und mechanischen Erkenntnisse besessen hat, die für die Ausführung eines solchen Bauwerkes notwendig sind.

Von der Mechanik oder Baustatik aus sind die wichtigsten hier vorkommenden Elemente das Problem der Gewölbewirkung, das Problem der wachsenden Spannweite und eventuell noch das Problem der elastischen Instabilität. Nun wissen wir, dass Leonardo sich eingehend mit dem Problem der Gewölbewirkung beschäftigt hat; Bild 4⁶⁾ zeigt ein Beispiel dafür; klarer und deutlicher kann man die Wirkung des Gewölbeschubes nicht veranschaulichen. Die Skizze zeigt, dass Leonardo sich über den Einfluss der Gewölbeform Rechenschaft ablegte und dass er, mit der Klarheit der Problemstellung, auch die Grundlage zur erfolgreichen Durchführung von Modellversuchen besessen hat. Wie deutlich sich Leonardo der Wirkung des Horizontalschubes bewusst ist, zeigt der Vergleich der Bilder 5⁷⁾ und 6⁸⁾ mit der verschiedenen Pfeilerstärke bei Tragwerken mit vorhandenem und aufgehobenem Horizontalschub. Es ist bestimmt diese intuitiv erfasste richtige Erkenntnis der Gewölbewirkung, die Leonardo veranlasst hat, seiner Gewölbekonstruktion eine genügende Höhe («70 Ellen über Wasser») zu geben, und nicht etwa die Bedürfnisse der Schifffahrt. Sein Hinweis auf das Segelschiff, das unter der Brücke durchfahren könne, hat keine ursächliche Bedeutung für die Proportionen des Gewölbes; die freie Höhe ist eine willkommene Begleiterscheinung seines Entwurfes, auf die er den Laien, den Sultan, hinweist, im Sinne einer zusätzlichen Empfehlung.

Leonardo hat aber, wie Bild 7⁹⁾ beweist, auch den Zusammenhang zwischen wachsender Spannweite und abnehmender Tragfähigkeit bei gleichbleibendem Querschnitt klar und richtig erkannt; dieser Zusammenhang ist notwendig, um von der Tragfähigkeit von Modellen auf die Tragfähigkeit eines Bauwerkes zu schliessen. Ferner hat Leonardo auch das Problem der elastischen Instabilität qualitativ richtig erkannt, wenn auch seine in Bild 8¹⁰⁾ wiedergegebene Skizze über das Knickproblem quantitativ nur eine grobe Annäherung darstellt. Es darf aber doch vermutet werden, dass gerade die intuitive Erfassung des Knickproblems, über die Leonardo sich ausweist, ihn zu der zweckmässigen Formgebung seines Brückengewölbes mitveranlasst hat. Für die Querschnittswerte des

⁶⁾ Codice Forster II², fol. 92 recto.
⁷⁾ Codice Forster III¹, fol. 47 recto.
⁸⁾ Verdeutlichende Nachzeichnung nach Codice Forster III, fol. 4 verso.
⁹⁾ Nach Codice Atlantico, fol. 332 recto - b, seitenverkehrt.
¹⁰⁾ Codice Atlantico, fol. 152, recto - b.

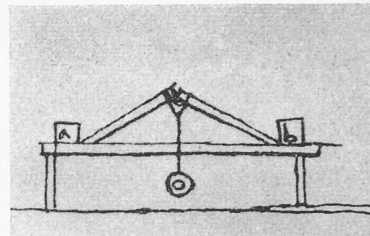


Bild 6. Aufgehobener Horizontalschub

Leonardo eine Katastrophe erspart oder ob es ihm den Ruhm, einer der kühnsten Brückenbauer aller Zeiten zu sein, zu Unrecht vorenthalten hat. Wir kennen heute die gewaltigen Schwierigkeiten, die bei der Verwirklichung eines so unerhört kühnen Bauwerkes auch bei richtiger Grundkonzeption auftreten, aber wir

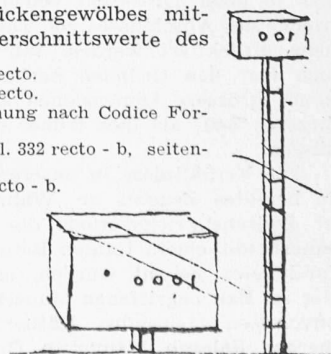


Bild 8. Knicken

untersuchten Gewölbes können wir einen kritischen Horizontalschub von

$$H_{Kr} \cong 200 \frac{E J_s}{l^2}$$

ausrechnen, einen Wert also, der dank der gegen die Kämpfer stark anwachsenden Steifigkeit sehr hoch liegt und jede Knickgefahr mit hoher Sicherheit ausschliesst.

Bei der Ausführung hätte wohl die Erstellung des gewaltigen Lehrgerüsts besondere Schwierigkeiten verursacht. Es ist mir kein Entwurf Leonardos für ein so grosses Lehrgerüst bekannt, wie es hier nötig gewesen wäre, aber seine Entwürfe für

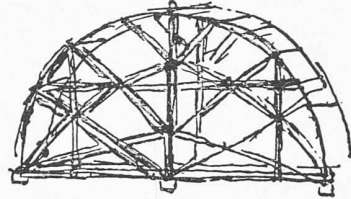


Bild 9. Lehrgerüst

die Lehrgerüste kleinerer Gewölbe, für die Bild 9¹¹⁾ ein Beispiel darstellt, zeigen, mit welcher klarer Folgerichtigkeit er eine möglichst direkte Ableitung der Belastungen auf die Auflagepunkte angestrebt hat. Ich vermute, dass der Abschnitt seines Briefes an Sultan Bajezid, in dem von Spundwänden («Bretterverschlägen») und Pfählen die Rede ist, sich

¹¹⁾ Nach Ms. B, fol. 67 verso.

auf die Fundation des Lehrgerüsts und nicht auf diejenige der Brücke selbst bezieht, denn es darf aus den Proportionen seiner Brückenskizze doch wohl geschlossen werden, dass er an eine Fundation der Brücke auf dem gewachsenen Fels gedacht hat. Leonardo hat durchaus die mathematischen Kenntnisse besessen, die nötig sind, um die Grösse der hier auftretenden Gewichte und Belastungen zu berechnen und es darf ihm, der gesagt hat «E però, o studianti, studiati le matematiche e non edificate senza fondamenti» wohl zugemutet werden, dass er diese mathematischen Kenntnisse hier auch angewendet hätte.

Zusammenfassend dürfen wir mindestens feststellen, dass, wenn vor 450 Jahren ein Mensch gelebt hat, der auf Grund seines Wissens und Könnens instande war, die Brücke über das Goldene Horn mit einer Spannweite von gegen 300 Metern zu verwirklichen, dieser Mensch der damals fünfzigjährige Leonardo — und nur Leonardo — war. Seine Brückenskizze ist im Zusammenhang mit den wissenschaftlichen Grundlagen, die er zur Theorie des Brückenbaues oder, in erweitertem Sinne, zur Wissenschaft der Mechanik beigetragen hat, zu würdigen, und damit wird sie zu einem Symbol jenes grossartigen Satzes, mit dem Leonardo den Uebergang vom empirisch-handwerklichen Bauen zum wissenschaftlich fundierten Konstruieren vollzogen hat: «Studia prima la scienza, e poi séguita la pratica, nata da essa scienza.»

Bauwerke aus Massencement, insbesondere Talsperren

Einführungsvorlesung von Prof. GEROLD SCHNITTER, gehalten am 8. Nov. 1952 in der ETH Zürich

DK 627.82 : 666.97

Einleitung

Bauwerke aus Massencement sind solche, die in Längs- und Querschnitt Abmessungen aufweisen, die das Einbringen und Verarbeiten von grossen Massen des in der Nähe der Baustelle künstlich hergestellten Baustoffes Beton in kurzer Zeit verlangen. Wir kennen verschiedenartige Typen von solchen Bauwerken, wie Schiffsschleusen, Trockendocks und insbesondere Talsperren. Wir verfügen auch schon über eine ausgedehnte Erfahrung in der Projektierung und der Ausführung von Bauten aus Massencement, und trotzdem ist es eine Tatsache, dass immer wieder von aufgetretenen Schäden berichtet werden muss. Ein Zeichen dafür, dass wir noch weit davon entfernt sind, sämtliche Faktoren, die zu vollem Erfolge führen müssten, genau zu kennen bzw. zu würdigen.

In der Schweiz wurden bereits in der Zwischenkriegszeit einige wenige grosse Bauwerke aus Massencement hergestellt und zwar sind die bedeutendsten die Staumauern: im Schräg der AG. Kraftwerk Wägital, Barberine der SBB im Kanton Wallis, Grimsel-Staumauern der Kraftwerke Oberhasli, Dixence der EOS im Wallis. Ueber ihr Verhalten orientieren die verschiedenen in der Fachliteratur bekanntgegebenen Beiträge und insbesondere die sehr aufschlussreichen «Messungen, Beobachtungen und Versuche an Schweizerischen Talsperren 1919—1945», redigiert von der Schweiz. Talsperrenkommission und herausgegeben vom Eidgenössischen Oberbauinspektorat. Mit der intensiven Entwicklung des Ausbaues der Wasserkraft in der ganzen Welt, wobei die Schweiz nur einen kleinen, wenn auch charakteristischen Ausschnitt darstellt, hat nun aber insbesondere nach dem letzten grossen Kriege eine stürmische Entwicklung auf dem Gebiete des Baues von Staumauern eingesetzt. Es gehört nicht in den Rahmen dieser Vorlesung, die Gründe dazu aufzuzeigen; stellen wir nur die offensichtliche Tatsache fest, dass in einer Grosszahl von Ländern grosse Mauern zum Zwecke des Abschlusses von Talbecken im Bau sind und noch mehr projektiert werden. Wir stellen ebenfalls fest, ohne auch hier den Gründen nachzugehen, dass diese Mauern immer grössere Dimensionen aufweisen und gleichzeitig in kürzerer Zeit, als dies früher der Fall war, gebaut werden müssen.

Die Verhältnisse in unserem eigenen Lande legen dafür ein beredtes Zeugnis ab. Während in den rund 20 Jahren der Zwischenkriegszeit die vier oben erwähnten Staumauern mit einem totalen Betonvolumen von rund 1 350 000 Kubikmeter gebaut wurden, ergeben die seither gebauten oder im Bau begriffenen Mauern von je über 100 000 m³ Betonvolumen (Lucendro, Rätherichsboden, Rossens, Cleuson, Oberaar, Salanfe, Mauvoisin, Grande Dixence, Sambuco) ein Total von rund 10 550 000 m³. Dazu treten noch die zur Aus-

führung in diesem Dezennium bestimmten aber noch nicht begonnenen Talsperren hinzu: Lienne, Gougria, Val di Lei, oberes Maggial, Zervreila, Spöl mit total 4 650 000 m³, somit total 15 200 000 m³.

Es ergibt sich daraus, dass in den 15 Jahren von 1945 bis etwa 1960 Staumauern von total rund 15 Mio m³ Beton gebaut werden, was einer Investition von über 1 Milliarde Schweizerfranken Kapital allein in diesen Bauwerken entspricht. Dies stellt nicht nur eine grosse Summe Geldes dar, sondern vor allem eine gewaltige Leistung an menschlicher Anstrengung aller daran Beteiligten vom Handlanger bis zu den obersten Spitzen der verantwortlichen technischen und administrativen Leitung. Es ist deshalb dafür Sorge zu tragen, dass dieser Leistungsaufwand von Erfolg gekrönt sei. Soweit dies von der Technik abhängt, ist somit der Ingenieur, der projektierende und der ausführende, in erster Linie dafür verantwortlich.

Allgemeines über Projekt und Bau

Es wurde bereits einleitend erwähnt, dass die Entwicklung im Bau grosser Talsperren insbesondere dahin geht, die Dimensionen zu steigern bei gleichzeitiger wesentlicher Verkürzung der Bauzeiten, wodurch Tagesleistungen entstehen, die vordem für unmöglich gehalten wurden. Heute werden von einer zentralen Betonfabrik aus in ein einzelnes Bauwerk Betonkubaturen bis zu 6000 m³ pro Tag und mehr eingebracht (Grande-Coulée-Sperre z. B. 15 000 m³ maximale Tagesleistung). Diese Steigerung des Baufortschrittes, ein weiteres Symptom unserer auf Tempo eingestellten Zeit, ist im wesentlichen eine Folgerung wirtschaftlicher Ueberlegungen. Sie hat, was uns hier besonders interessiert, eine Reihe konstruktiver und ausführungstechnischer Probleme aufgeworfen, bzw. von grösserer Bedeutung erscheinen lassen, als dies beim herkömmlichen Arbeitstempo der Fall war.

Wir können diesen Vorgang überall feststellen, insbesondere natürlich in den USA. Dieses Land hat aus den verschiedensten Gründen (Hochwasserschutz, Flussregulierung, Bewässerung, Trinkwasserversorgung, Kraftgewinnung) eine bedeutende Zahl von Talsperren gebaut und verfügt deshalb über eine ausgedehnte und relativ nicht allzu kurze Erfahrung. Dass in diesem Lande der Bauzeitverkürzung eine ganz besondere Aufmerksamkeit geschenkt wird, ist ohne weiteres verständlich. Es ist deshalb interessant und lehrreich, die Methoden des Talsperrenbaues in den USA sowie unserer europäischen Nachbarn mit den eigenen zu vergleichen, Tendenzen und Auffassungen miteinander und gegeneinander abzuwägen unter sorgfältiger Einschätzung der jeweiligen besonderen Verhältnisse. Ein solcher Vergleich deckt Gleich-