Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 95 (1977)

Heft: 26

Artikel: Die Grundlagen des sicheren Urteils in der statisch-konstruktiven Arbeit des Bauingenieurs

Autor: Schneider, Jörg

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-73416

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.07.2025

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

lesungen ungehalten reagierten – ich erinnere mich etwa an Rechts- und Mathematikvorlesungen für Studierende mehrerer Abteilungen, wo streunende Hunde architekturstudentischer Besitzer während Vorlesungen eher humorlose Reaktionen zur Folge hatten – hatte K. Hofacker nichts dagegen, dass zwei Studienkolleginnen von mir in die offenbar unzumutbar frühen Morgenvorlesungen mit Kaffee, Brötchen und Strickarbeit in Aufzügen erschienen, die heute zwar kein Aufsehen mehr erregen würden, damals aber doch bei den übrigen Dozenten der exakten Wissenschaften zu eisigen Bemerkungen Anlass gegeben hätten. Nicht so bei K. Hofacker: er ignorierte die beiden Damen, die es offenbar fertig brachten, auf andere Art und Weise in den Besitz der umfänglichen Abschreibungen von der Wandtafel zu gelangen.

Was K. Hofacker an der Abteilung für Architektur lehrte, war möglicherweise nicht stark befrachtet mit den Hauptproblemen der neuesten wissenschaftlichen Forschung im Bauingenieurwesen, sondern er vermittelte die elementaren Dinge, mit denen sich zu befassen einem Architekten dann nützlich war und seinen damaligen Schülern auch heute noch ist, wenn sie später zu einer *konstruktiven Zusammenarbeit mit Bauingenieuren* kommen wollten; wenigstens die Hauptanliegen, die wichtigsten Prinzipien und die Sprache der Bauingenieure sollte ein Architekt verstehen, sonst läuft er Gefahr, aus dem Formalen heraus die Konstruktion zu vergewaltigen, bauwirtschaftliche Fehlleistungen zu begehen und er begibt sich der Chance, auch aus konstruktiven Gegebenheiten Gestalt zu entwickeln. Ich meine, den Sinn dafür konnten wir damalige Studierende bei K. Hofacker entwickeln –, wenn wir wollten. Er war sich allerdings bewusst, dass seine elementaren Vorlesungen für den praktischen Gebrauch der künftigen Architekten etwas detailliert waren und eher eine Belastung darstellten, sah jedoch keine Alternative angesichts der Tatsache, dass die von ihm vermittelten Fächer den aus Sparrücksichten gleichzeitig mithörenden Absolventen der Abteilungen für Forst- und Kulturingenieurwesen für die selbständige Lösung ihrer Probleme genügen mussten, wogegen der Architekt im allgemeinen einen Bauingenieur zuziehen kann.

Die Tatsache, dass K. Hofacker um seine relativ hohen und manchmal unbequemen Anforderungen an die Architekturstudenten wusste, seine Forderungen aber trotzdem durchsetzte und sich dabei aber der musischeren Komponenten des Architektenberufes bewusst war, hat seine Begründung darin – und das erfuhren einige von uns erst später –, dass Hofacker früher selbst sehr gut in Öl und Aquarell malte, noch heute Geige spielt und einen guten, freundschaftlichen Kontakt nicht nur mit Ingenieurkollegen, sondern auch mit Berufsleuten der bildenden Künste pflegte und heute noch pflegt.

Wir hatten stets den Eindruck, dass K. Hofacker seine Berufserfüllung in allererster Linie in seiner Arbeit mit und für die Studierenden sehe; seine Tätigkeit als Hochschullehrer war ihm Be-Rufung. Er hat uns auch dort begleitet, wo dies von ihm nicht unbedingt erwartet wurde, so z.B. auf den Auslandstudienreisen der oberen Entwurfsklassen. Typisch für seine asketische Lebensweise: Er flog dabei nicht etwa mit Prof. W. Dunkel zum Startpunkt der Reise im Studienland – z. B. nach Madrid –, sondern fuhr als «Begleitperson aus dem Lehrkörper» mit uns auf hölzernen Drittklassbänken durch die Pyrenäen, um dann auch zusammen mit uns in einem Tunnel bei Burgos nächtlicherweile und schlafenderweise eine spanische Zugsentgleisung mitzuerleben, deren glimpflicher Ablauf für K. Hofacker ebenso selbstverständlich war wie unser Anhalten des Madrid–Barcelona-Espress auf einer kleinen Landstation, weil ein Exkursionsteilnehmer beim Fusswaschen durch das Porzellan des Lavabos getreten war und ein Vieharzt für einen Notverband benötigt wurde.

K. Hofacker hat zahlreiche Studentengenerationen für einen *rationalen* Teil ihrer zukünftigen Berufsausübung vorbereitet. Er war für seine Studierenden das wichtige Element der Kontinuität durch deren Studium unterschiedlicher Entwurfsauffassungen. Und er pflegte und pflegt mit damaligen Studenten auch nach dem Studienabschluss weiterhin freundschaftlichen Kontakt. Wir danken ihm dafür herzlich, gratulieren zum Beginn des neunten Lebensjahrzehnts und wünschen ihm und seiner Frau, die seine musische und musikalische Partnerin ist, gute Gesundheit und weiterhin geistige Frische.

Die Grundlagen des sicheren Urteils in der statisch-konstruktiven Arbeit des Bauingenieurs

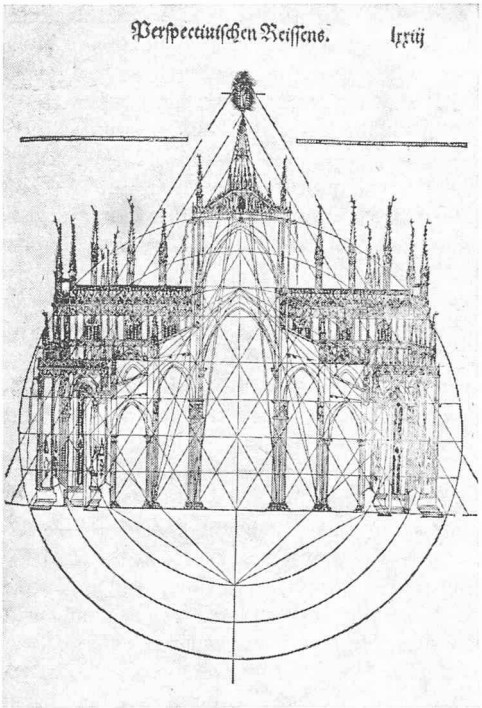
Von **Jörg Schneider**, Zürich

Am Anfang der beruflichen Tätigkeit des Schreibenden steht eine wegweisende Demonstration ingenieurmässigen Denkens. Als Assistent an der Architekturabteilung hatte er Diplomanden in statisch-konstruktiver Hinsicht zu beraten. Ein im Spannungsverlauf ausserordentlich undurchsichtiges Tragwerk war zu kritisieren. Der Assistent hielt – in jugendlicher Überheblichkeit – das ganze von vorneherein für aussichtslos. Nicht so – wider alles Erwarten – sein Chef, Professor *Karl Hofacker:* «Schauen Sie, eines ist unbedingt nötig: die Kräfte müssen irgendwo durch. Aufgrund der Situation sind die zur Verfügung stehenden Wege vorgezeichnet. Ermitteln Sie mit den Gleichgewichtsbedingungen die Kräfte in diesen Wegen und bemessen Sie diese so, dass die Beanspruchungen mit Sicherheit klein genug bleiben. Ist dies der Fall, wird sicher nichts Gravierendes passieren. Alles andere ist nebensächlich.»

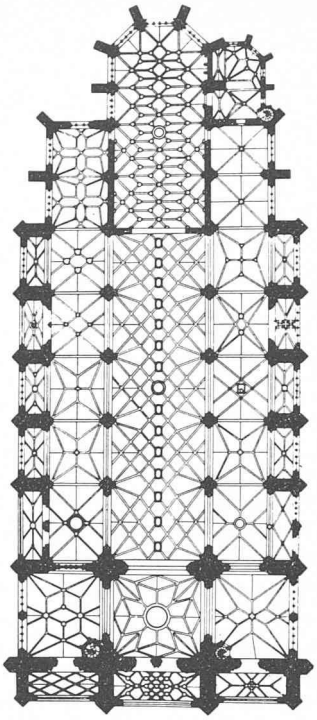
Für den in der Elastizitätstheorie und im Umgang mit zulässigen Spannungen gut geschulten, folgerichtigerweise überall Probleme, Zusatz- und Nebenspannungen sehenden jungen Ingenieur war das in seiner elementaren Einfachheit schockierend. Sollte alles wirklich viel einfacher sein?

Die wissenschaftliche – wenn auch weitgehend intuitiv fundierte – Begründung der hier demonstrierten einfachen Anschauung begegnete dem Schreibenden kurz darnach im statischen Grenzwertsatz der von *B. Thürlimann* begeisternd vertretenen Plastizitätstheorie [1]. Tatsächlich: unter wenigen einschränkenden Voraussetzungen ist es wirklich so einfach! Meist genügt es, den Kraftverlauf innerhalb undurchsichtiger Kontinua auf die diskretisierten Wege in einfachen, in der Regel fachwerkartigen Modellen zu verweisen und diese Wege ausreichend zu bemessen.

Die *Mörsch'sche Fachwerkanalogie* des Stahlbetons und manche spätere Verfeinerung beispielsweise findet hier ihre Begründung. Schwierigen Detailproblemen (Konsolen, Rahmenecken, Aussparungen usw.) stehen wir damit gut gerüstet gegenüber. Dass wir die *Plattentheorie* fast uneingeschränkt durch die *Streifenmethode* (oder andere statische Überlegungen) ersetzen dürfen, auch das ist nicht mehr schlichter Glaube, sondern eindeutiges Ergebnis eines klaren Grundgedankens. Und es wird offensichtlich, welche Kraft im einfachen Fachwerkmodell steckt und welche Bedeutung die sichere Beherrschung der Fachwerkstatik hat, obwohl



Der Entwurf. Zeichnung entnommen aus der dritten deutschen Vitruv-Ausgabe, Basel, 1582



Die Wege. Grundriss des Berner Münsters. Aus dem Buch «Das Berner Münster»

Die praktische Seite. Nach einem Holzschnitt von Jost Ammann, 1568

Fachwerke als Tragwerke längst aus der Mode sind.

Von diesen wegleitenden, in ihrer vollen Tragweite erst später erkannten Elementen ausgehend, sollen einige Folgerungen für die statisch-konstruktive Ausbildung von Ingenieuren und Architekten begründet werden.

Wir werden die Wirklichkeit nie berechnen können

Vorherrschender Antrieb des Wissenschafters ist, die Wirklichkeit durchschaubar, ihr Verhalten berechenbar und damit voraussagbar zu machen. Der Baumeister hingegen muss bauen. Die wissenschaftlichen Hintergründe interessieren ihn weniger. Er stützt sich auf Erfahrung. Doch seine Frage ist entscheidend: wird das Tragwerk halten, wird es seinen Zweck erfüllen? Und dieser elementaren Frage sieht sich heute der wissenschaftlich ausgebildete Bauingenieur gegenübergestellt. Hat er aufgrund seiner Ausbildung die Kraft, die Frage klar und eindeutig zu beantworten?

Die Verwissenschaftlichung des Bauwesens führte zunächst in Sackgassen und zu mancher Kontroverse. Der bekannte Ausspruch des englischen Ingenieurs *Tredgold* († 1829): «The stability of a building is inversely proportional to the science of the builder» (zitiert nach [2], mag als Hinweis gelten. Heute ist uns klar, dass der hier durchschimmernde «Nur-Praktiker-Standpunkt» mit dem «Nur-Theoretiker-Standpunkt» immer unvereinbar sein wird. Es braucht in allem zwischen These und Antithese immer die Synthese, in vorliegendem Zusammenhang das ingenieurmässige Denken (frei nach [3]).

Um diese Synthese hat sich *L. Navier* († 1836) bahnbrechend bemüht. Aber auch seine Arbeit konnte zunächst den Widerspruch der angedeuteten Tendenzen nicht lösen. Er beugte sich zwar der Tatsache, dass eine genaue Lösung unerreichbar ist und operierte mit Hypothesen und Näherungen. Der Einzug wissenschaftlichen Denkens in das praktische Bauwesen geht damit auf ihn zurück, von seiner Grundeinstellung ausgehend aber auch die Tendenz, genauere Lösungen zu suchen, die «richtige» Lösung zu finden.

Diese Tendenz wirkt weiter und führt auch heute noch zu mancher oft kaum erkannten Inkonsequenz. Wir haben heute die Möglichkeit, zum Beispiel mittels finiter Elemente, auch die kompliziertesten Tragwerke zu berechnen. Ganz im versteckten (und wenn wir ehrlich sind, etwas verschämt) machen wir dabei einige keineswegs zutreffende Voraussetzungen (z. B. isotrop elastisches Materialverhalten) und schon spuckt der Printer der elektronischen Rechenanlage auf ungezählten Seiten die Ergebnisse aus. Ginge das nicht oft einfacher? Denn wir wissen ja oft ohnehin nicht, was wir mit den Ergebnissen und allen entdeckten Spannungsspitzen praktisch anfangen sollen. Eine grosszügige – oft als ingenieurmässig bezeichnete – Behandlung dieser Ergebnisse bricht zwar manche Spitze. Aber als Frage bleibt, ob und unter welchen Bedingungen das zulässig sei.

Wesentlich sicherer vertritt den ingenieurmässigen Standpunkt *R. Maillart* († 1940) mit der Feststellung [4]: «Einfachheit ist erstrebenswerter als grösste Genauigkeit, schon weil diese naturgemäss nicht erreichbar ist; selbst dann würde sie durch die auf roher Schätzung beruhenden Sicherheitszahlen überschattet.» Und er fährt fort: «Ist es aber nötig, in einem Berechnungsverfahren alle Nebenumstände zu berücksichtigen? Gewiss herrscht vielfach die Ansicht, es solle die Berechnung eindeutig und endgültig die Abmessungen bestimmen. Indes kann angesichts der Unmöglichkeit der Berücksichtigung aller Nebenumstände *jede Berechnung nur eine Grundlage für den Konstrukteur bilden, der sich darauf mit den Nebenumständen auseinanderzusetzen hat.*» *Berechnung* also nicht, um die Wirklichkeit rechnerisch zu erfassen, sondern *als Grundlage konstruktiver Arbeit.*

Der Ingenieur muss mit angemessenem geistigen und materiellen Aufwand sichere Bauwerke bauen. Es ist uns heute klar, dass er dies nur dann wird tun können, wenn er sich bei der Berechnung seiner Tragwerke in aller gedanklichen Klarheit darauf beschränkt, seinen Aussagen das *Verhalten von Modellen* zugrunde zu legen (siehe z. B. [5]). Der

Begriff Modell steht dabei für die Vorstellung einer gegenüber der Wirklichkeit idealisierten physikalischen Gegebenheit, präzisiert durch grundlegende Annahmen und Voraussetzungen für das nachfolgende methodische Rechenverfahren. Freilich bedarf es keiner Begründung der Tatsache, dass einfache Modelle einerseits einfach zu überblicken und damit wenig fehleranfällig sind, anderseits aber das Verhalten der Natur in der Regel auch nur in groben Zügen widerspiegeln. Auch von hier aus könnte also die Tendenz zu immer weitergehenden Verfeinerungen des Modells und der Wunsch nach immer differenzierteren Ergebnissen neu geweckt werden.

Diese Tendenz ist nach Meinung des Schreibenden falsch. Im Sinne des hier diskutierten Zusammenhangs wäre im Gegenteil die Forderung nach *möglichst einfachen Modellen* aufzustellen. Einfache Modelle, so aufgebaut und spezifiziert, dass sie geeignet sind, auf ganz bestimmte Fragen (im Extremfall auf eine einzige) ganz konkrete Antwort zu geben. An die Stelle eines polyvalenten Modells zur Beantwortung mehrerer Fragen sollten wir also besser mehrere einfache, eindeutige und in ihrer Aussage auf einzelne klare Fragen abgestimmte Modelle setzen.

Die Forderung birgt jedoch auch Gefahren, auf die der Schreibende an anderem Ort [6] hingewiesen hat: Man darf einfache, eindeutige Modelle nicht mit einfältigem Denken betrachten. Eindeutige Aussagen sind immer ein Hinweis darauf, dass die Wirklichkeit in ihrer Komplexität ausgeschlossen bleibt. Die eindeutige Aussage ist Teil der umfassenden Wirklichkeit, in ihren Grenzen richtig, aber nicht die Wirklichkeit selbst. Man darf das Ganze nicht aus den Augen verlieren, man muss wissen, was man tut. Der Schritt zum «terrible simplificateur» ist kurz.

Das Fachwerk als anpassungsfähiges Modell für die Verfolgung von Kräften in Tragwerken

Die Festlegung der Querschnittsabmessungen eines Biegeträgers oder der Schubbewehrung eines Trägerstegs bringt den Ingenieur normalerweise nicht in Bedrängnis. Er hat hierfür einfache, aussagekräftige Modelle. Bedrängend für einen Ingenieur – immer gleichzeitig auch Konstrukteur – sind vielmehr Fragen der Krafteinleitung, Kraftumlenkung, Kraftausbreitung, Kraftübertragung, Fragen nach dem Kraftverlauf bei Aussparungen in Tragelementen usw. Zur Beantwortung solcher Fragen wird er oft selbst Modelle bilden müssen. Und hier erweist sich das Fachwerk als eines der anpassungsfähigsten und damit besten Modelle. Es dürfte im vorliegenden Zusammenhang übrigens klar sein,

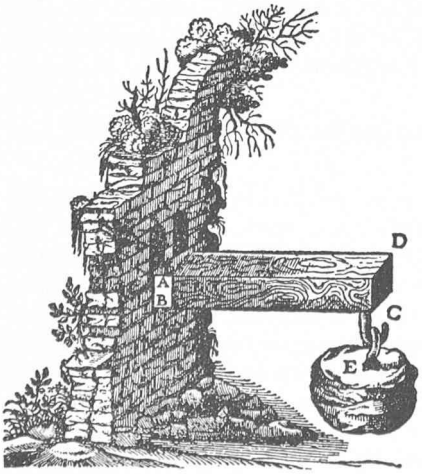
Fachwerkartige Versteifung von Stadtmaueranlagen. Aus M. Vitruvius «De architectura libri decem», Lyon, 1523

dass hier unter Fachwerk auch «degenerierte Fachwerke» wie Sprengwerke, Hängewerke, Stabbogen mit Zugband usw. zu verstehen sind und gegebenenfalls auch mehrfache (statisch unbestimmte) Fachwerke einschliesslich Zug- und Druckfeldern usw. nicht ausgeschlossen sind.

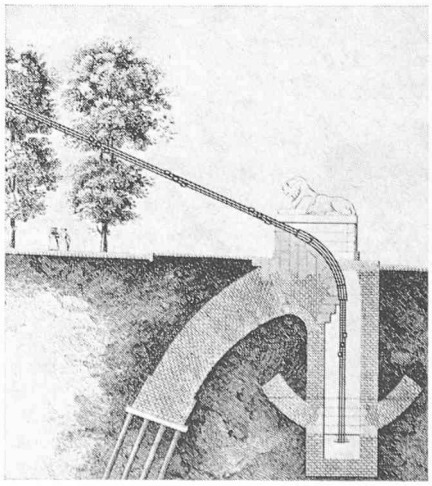
Die Ursachen für die besondere Eignung von Fachwerkmodellen sind rasch aufgezeigt: erstens kennen wir die Bildungsgesetze für stabile Fachwerke sehr gut. Es wird uns deshalb schwerlich der Fehler unterlaufen, unstabile Modelle zu bilden.

Zweitens: Die Frage nach den Schnittkräften reduziert sich – wenn wir ideale Gelenke in den Knoten voraussetzen – auf die Frage nach den Stabkräften, also auf wenige Informationen. Diese sind bei statisch bestimmten Fachwerkmodellen mit einfachen Mitteln, z. B. graphisch, rasch bestimmbar. Bei statisch unbestimmten Fachwerkmodellen ist die Ermittlung der Stabkräfte mühsamer, häufig jedoch gar nicht nötig, da wir von vorneherein wissen, dass die Kräfte vorwiegend den steiferen Systemteilen folgen und damit sofort oft diesen allein zugewiesen werden können. Bei der Ermittlung von Traglasten fällt übrigens diese Willkür dahin. Es handelt sich dann – wie bei statisch bestimmten Fachwerken – wieder nur um die korrekte Anwendung der Gleichgewichtsbedingungen allein.

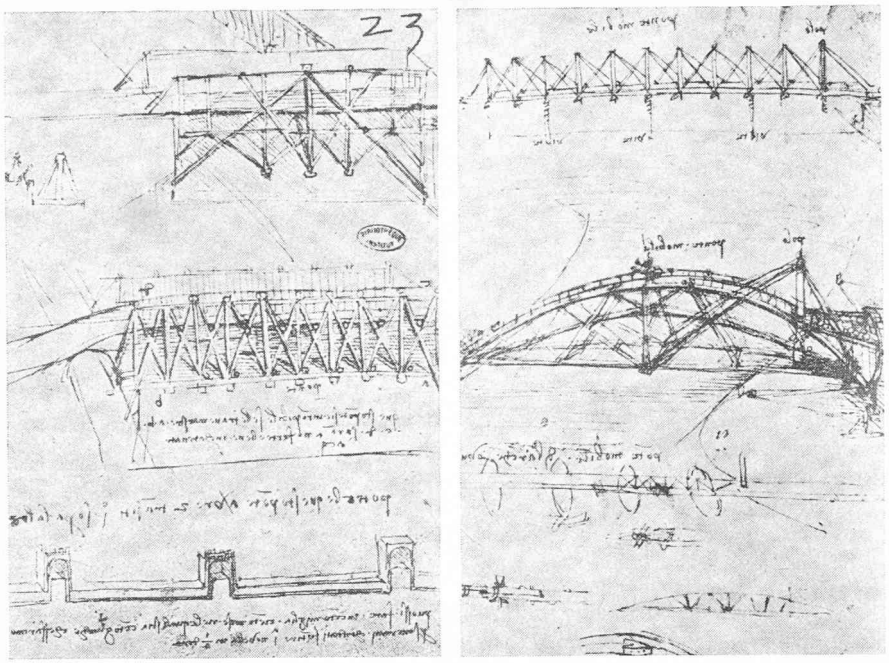
Drittens und letztens: Die Verfolgung von Kräften in Fachwerken ist einfach. Wir sehen sofort, wo die Kräfte in



Links: Die theoretische Seite. Galileo Galileis Illustration zum Biegeversuch. Aus Timoshenko, History of Strength of Materials



Rechts: Verankerung der Kabel der Hängebrücke «Les Invalides» in Paris. Originalgetreue Wiedergabe der Zeichnung Naviers. Aus F. Stüssi, Baustatik vor 100 Jahren, SBZ, 2. November 1940



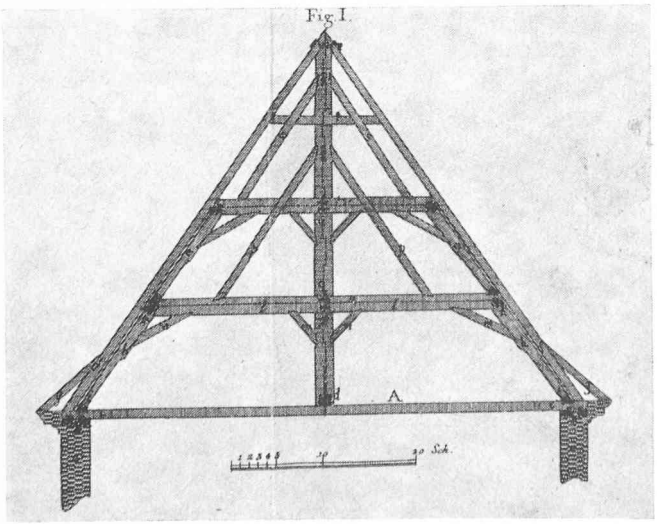
Skizzen zum Brückenbau von Leonardo da Vinci. Aus «Leonardo da Vinci – Lebensbild eines Genies», Vollmer Verlag, 1975

welchen Knoten mit welchen anderen Kraftkomponenten im Gleichgewicht stehen, wo sie sich abstützen müssen, wo Bewehrungsstäbe zu verankern sind usw. Und gerade dies sind die Antworten auf die drängenden Fragen des Ingenieur-Konstrukteurs. Die ausreichende Bemessung der im Fachwerkmodell diskretisierten Stäbe (im Stahlbetonbau z. B. der Bewehrungsstäbe) auf die für das Gleichgewicht nötigen Kräfte ist dann in der Regel sehr einfach.

Ein Ingenieur wird also im Falle schwieriger Fragen nach dem Kraftverlauf in Tragwerken versuchen, innerhalb der Tragwerkkonturen stabile Fachwerkmodelle zu bilden, die geeignet sind, die angreifenden Lasten zu übernehmen und auf die anschliessenden Bauteile und die Auflager zu übertragen. Dies wird ihm immer dann gelingen, wenn das betrachtete Tragwerk seiner Aufgabe gewachsen ist. Findet er kein solches Fachwerkmodell, muss er dies als einen starken Hinweis auf ein mögliches Ungenügen des betrachteten Tragwerks werten.

Oft hingegen wird es möglich sein, mehrere geeignete Fachwerkmodelle zu finden. Damit stellt sich die Frage, welches der konstruktiven Arbeit zugrundegelegt werden soll. Zunächst einmal sicher das, welches den konstruktiven Möglichkeiten am besten entgegenkommt. Sodann lässt sich die Aussage begründen, dass das steifste aller möglichen Fachwerkmodelle den «Wünschen der Wirklichkeit» stets am nächsten kommt. Denn die Natur hat die Tendenz, alle ihre Möglichkeiten und Wege so optimal zu nutzen, dass die Verformungen kleinstmöglich werden (Prinzip vom Minimum der Formänderungsarbeit). Schliesslich ist es sicher nicht abwegig, mit einem Fachwerkmodell den Kräften Wege zuzuweisen, deren Bemessung zum minimalen Kostenaufwand führt.

Wo ist das Fachwerk? Aus C. Walter «Zimmerkunst», Augsburg, 1769



In einem Exkurs über die *gedankliche* Kraft des Fachwerkbegriffs sollte ein knapper geschichtlicher Hinweis nicht fehlen. Das Wort «Fachwerk» wurde von *Karl Culmann* († 1881) im Jahre 1851 erstmals verwendet, und zwar ganz bewusst zur Bezeichnung des von ihm geklärten Begriffs. «Dies ... will ich Fachwerk nennen», schreibt er in seinem berühmt gewordenen Bericht über eine Reise durch die Vereinigten Staaten von Nordamerika [7]. Was er dort an Brückenformen sah, liess jede klare Vorstellung über den Kraftverlauf vermissen. Culmann klärte das Tragverhalten, bildete sich klare Modellvorstellungen, zeigte auf, wie der Kraftverlauf rechnerisch erfassbar sei und prägte den Begriff, der mit seinen klaren und eindeutigen Aussagen ganz wesentlich zum modernen Bauwesen beigetragen hat. Ein selten schönes Beispiel für die Tatsache, dass eine klare Begriffsbildung für den Fortschritt unerlässlich ist.

Der statische Grenzwertsatz der Plastizitätstheorie als Rückenstärkung

Das Vorstehende enthält letzten Endes die Behauptung, man könne bei der Bemessung statisch-konstruktiver Elemente von den aus willkürlich gewählten Fachwerkmodellen hergeleiteten, den Gleichgewichtsbedingungen genügenden Stabkräften ausgehen. Die Behauptung entspricht zunächst altem, intuitivem ingenieurmässigem Denken und bedarf als «Axiom» im Grunde keines Beweises. Jeder Ingenieur bedient sich, oft ohne es zu wissen, bei der Konzipierung seiner Tragwerke und deren Ausgestaltung und Bemessung dieses Axioms. Trotzdem ist die Frage berechtigt, ob auf

dieser Basis bemessene Konstruktionselemente wirklich sicher seien.

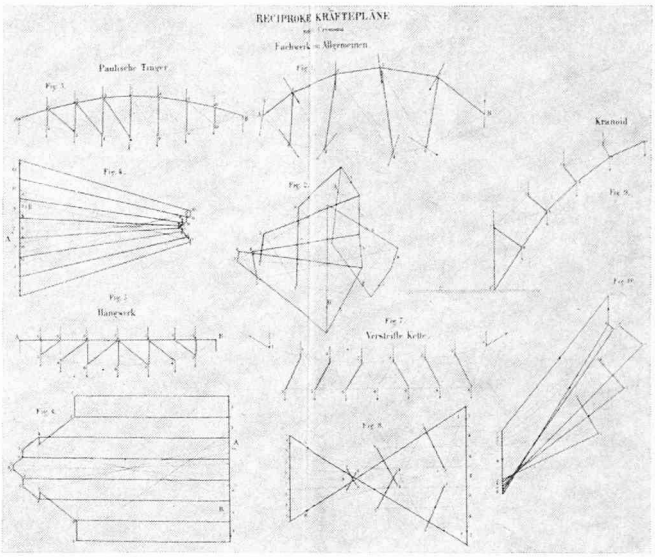
Zur Beantwortung dieser Frage greifen wir auf die von *Prager* und *anderen* etwa 1952 aufgestellten Grenzwertsätze der Plastizitätstheorie zurück, die bekanntlich duktiles Verhalten der Tragwerke voraussetzen, sonst jedoch einzig für die Behandlung von Stabilitätsproblemen ungültig sind. Diese beiden Einschränkungen gelten demnach auch für das Folgende.

In der Formulierung von *H. Ziegler* [1] lautet der erste oder statische Grenzwertsatz der Plastizitätstheorie, mit welchem untere Grenzwerte der Traglast von Tragwerken oder Tragwerksteilen hergeleitet werden können, wie folgt: «Jede Belastung, zu der sich ein (beliebiger) stabiler, statisch zulässiger Spannungszustand angeben lässt, liegt nicht höher als die Traglast.» In einer dem Bauingenieur geläufigeren Formulierung handelt es sich hierbei um die *Feststellung,* dass ein Tragwerk die einwirkenden Lasten tragen kann, wenn sich ein Gleichgewichtszustand finden lässt, der zu Beanspruchungen in den Tragwerksteilen führt, die kleiner oder höchstens gleich sind denen, die ein «Fliessen» des Materials hervorrufen.

Es ist nicht schwer, diese Feststellung in die Form einer *Forderung* zu bringen, die wir als Ingenieur bei der Bemessung von Tragwerksteilen in der Regel ohne weiteres erfüllen können: «Alle den (beliebig wählbaren) Gleichgewichtszustand vermittelnden Tragwerksteile sind so zu bemessen, dass die Spannungen in diesen ganz bestimmte (zum ‚Fliessen' des Materials führende) Grenzspannungen nicht überschreiten.» Da wir im übrigen sichere Tragwerke wollen, müssen wir gemäss heutiger Praxis dafür sorgen, dass die Forderung für die mit Sicherheitsfaktoren vergrösserten Lasten des Gebrauchszustandes erfüllt ist.

In dieser Forderung erkennen wir jedoch sofort auch die klare und einfache Ansicht wieder, die der Schreibende von einem seiner Lehrmeister mit auf den Berufsweg nehmen durfte und hier zum Ausgangspunkt seiner Ausführungen genommen hat. Es ist richtig: Wir können den Kräften beliebige Wege weisen. Die korrekte und bis ins letzte Detail konsequente Bemessung dieser Wege führt zu sicheren Konstruktionen. Es handelt sich hierbei um einen Satz ganz fundamentaler Bedeutung. Dem Schreibenden ist keine Aussage bekannt, die für den statisch-konstruktiven Teil der Ingenieur-Arbeit auch nur annähernd von gleichem Rang ist.

Es muss jedoch konsequenterweise auch auf das am Schluss des zweiten Kapitels Gesagte verwiesen werden: Das

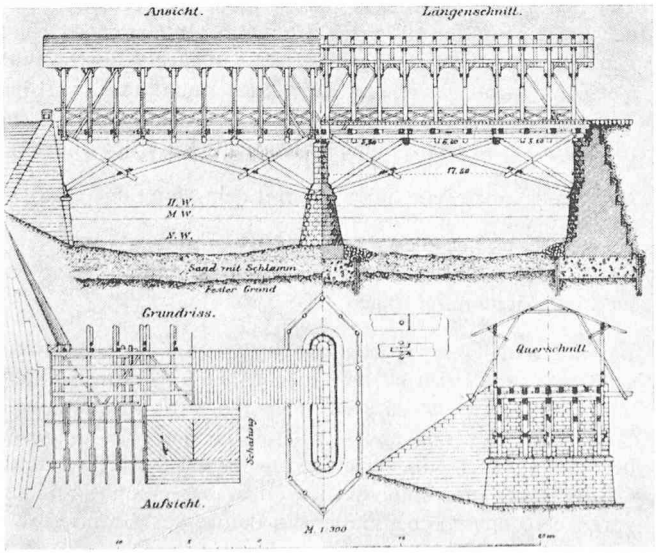


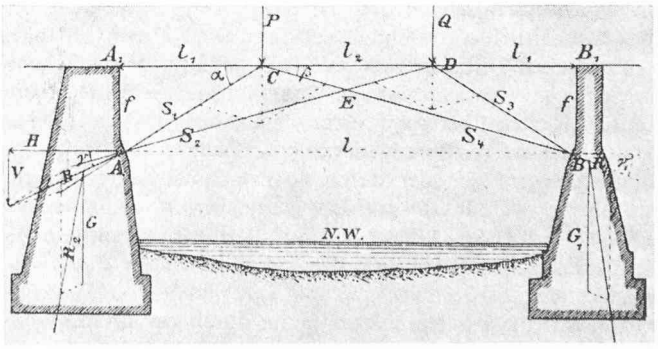
Reziproke Kräftepläne nach Cremona. Entnommen aus Tafel 10 der «Graphischen Statik» von C. Culmann, 1. Band, 2. Auflage 1875

Arbeiten mit einfachen, eindeutigen Modellen – und die so z. B. auf diskretisierte Fachwerkmodelle angewandte Plastizitätstheorie ist ein solches – führt zur klaren, einfachen und eindeutigen Aussage: «Das Tragwerk ist sicher!» Die Aussage ist richtig, aber nur Teil der komplexen Wirklichkeit. Das Tragwerk ist sicher, aber es kann *unbrauchbar* werden. Es kann z. B. grosse Verformungen erleiden. Wenn es ein Stahlbetontragwerk ist, können und werden sich – wie übrigens auch bei sogenannt genauer Berechnung – Risse bilden. Sorgfältige, z. B. auf das Gebrauchsverhalten des Tragwerks und andere wesentliche Gesichtspunkte ausgerichtete Überlegungen werden demnach das hier Dargestellte unbedingt ergänzen müssen. Auch müssen abschliessend noch einmal die Einschränkungen des hier herangezogenen Grenzwertsatzes der Plastizitätstheorie in Erinnerung gerufen werden: Die Aussagen gelten nur bei duktilem Verhalten der Tragwerke und unter Ausschluss von Stabilitätsproblemen.

Folgerungen für die Lehre

In pädagogisch bedingter Übertreibung: Wir – und damit meine ich uns Professoren – haben *zuviel wissenschaftliches Vokabular auf der Zunge und zuwenig Mut, in der Lehre auf die Kraft des Einfachen zu vertrauen.* Dies über-





Entwurf und Modell. Brücke mit unverschieblichem doppelten Sprengwerk. Aus «Handbuch des Brückenbaus», 2. Band, 4. Auflage, 1904

«Die an Ketten aufgehängte Twärrenbrücke» des 13. Jahrhunderts. 500 Jahre später durch das «Urner Loch» unnötig geworden. Zeichnung von R. Sager, aus «Bauen in der Schweiz – 75 Jahre Schweiz. Baumeisterverband», 1972

trägt sich auf unsere Studenten und führt dort einerseits zu blossem Nachplappern von Unverstandenem und anderseits zu etwa gleich gefährlicher Missachtung des kraftvoll Einfachen. Das können wir ändern und wir sollten es.

Die Folgerungen aus dem Dargestellten liegen auf der Hand: Wir müssen bei der Ausbildung von Ingenieuren entscheidendes Gewicht legen auf die alles überragende Bedeutung des Gleichgewichtsprinzips für den Bestand unserer Tragwerke. Fehler beim Gleichgewicht sind tödliche Fehler. Sie dürfen nicht vorkommen. Wir sollten uns überlegen, wie dieser Tatsache bereits im Studium und im Sinne pädagogischer Taktik auch in Prüfungen Rechnung getragen werden kann.

Wir sollten weiter entscheidendes Gewicht legen auf die Ermittlungen von Schnittkräften in statisch bestimmten Systemen. Die Bemühungen um die Ermittlung überzähliger Grössen in statisch unbestimmten Systemen dürfen (als nicht sicherheitsrelevant) ohne Schaden etwas zurücktreten. Wir sollten besser üben, die einfachen Fragen der Festigkeitslehre klar und einfach zu behandeln und den Studierenden auch in diesem Bereich zu einer grösstmöglichen Sicherheit zu verhelfen. Bemessungsentscheide müssen sicher gefällt werden. Wir sollten sodann üben, Tragwerke auch der kompliziertesten Art in einfache Modelle überzuführen. Die Beschreibung undurchsichtiger Kraftverläufe mittels diskreter Fachwerkmodelle ist für den Ingenieur wichtiger als manche vermeintlich unabdingbare Theorie. Denn sie gibt ihm für die sichere Bemessung der Tragwerke die unerlässliche Basis.

Schliesslich sollten wir so früh wie möglich den *statischen Grenzwertsatz* der Plastizitätstheorie mit allen Einschränkungen und Folgerungen als *ordnendes Prinzip* ins Zentrum der Vermittlung ingenieurmässiger Denkweise stellen. Wir helfen damit, Wesentliches vom Unwesentlichen zu trennen und geben damit unseren Studenten entscheidende Hinweise auf die Notwendigkeit und die Kraft methodischen Denkens, wo wir heute gelegentlich ihr Denkvermögen mit Methoden unnötigerweise blockieren.

Literatur

[1] *Thürlimann, B./Ziegler, H.:* «Plastische Berechnungsmethoden». Fortbildungskurs an der ETH Zürich, 1963.

[2] *Stüssi, F.:* «Vorlesungen über Baustatik». Bd. 1, 2. Auflage.

[3] *Fuchssteiner, W.:* «Wenn Navier noch lebte . . .». Theorie und Praxis in der Statik. Beton- und Stahlbetonbau, 1954.

[4] *Maillart, R.:* «Aktuelle Fragen des Eisenbetonbaus». Schweiz. Bauzeitung, 1938.

[5] *Bachmann, H.:* «Die Arbeit des Ingenieurs zwischen Wirklichkeit und Algorithmus». Schweiz. Bauzeitung, 1970.

[6] *Schneider, J.:* «Der Teil ist nicht das Ganze». Die Bautechnik, 1970.

[7] *Culmann, K.:* «Der Bau der hölzernen Brücken in den Vereinigten Staaten von Nordamerika», (S. 86). Werner-Reprint-Reihe, Werner Verlag Düsseldorf, 1970.

Die Abbildungen stammen zum grössten Teil aus der Sammlung von Dipl.-Bau-Ing. ETH *U. Walder*, dem ich für die Hilfe bei der Auswahl zu Dank verpflichtet bin.

Brücken über kriechende Gehängeschuttdecken

Von **Walter Stampf**, Chur

Gehängeschuttdecken grossen Ausmasses und grosser Mächtigkeit sind in Gebirgsgegenden, sei es in den Alpen oder in den südamerikanischen Anden, oder anderswo sehr häufige Erscheinungen. Der für die Fundationen sichere Fels liegt meistens in sehr grosser Tiefe, so dass es unmöglich und unwirtschaftlich wäre, auf ihn zu fundieren. Diese Gehängeschuttdecken befinden sich meistens geotechnisch in einem *labilen Gleichgewichtszustand.* Tragfähigere Schichten sind sehr tief oder überhaupt nicht vorhanden. Ist ein solcher Hang noch wasserführend, sei es durch langanhaltende periodische Regenfälle oder durch Schneeschmelzen verursacht, so wird er sich in stetiger Bewegung talwärts befinden. Es können auch andere Ursachen für das Kriechen verantwortlich sein. Das Kriechen bewirkt für einen *beliebigen Punkt* des Hanges *eine jährliche vertikale und horizontale Verschiebungskomponente.* Muss ein solcher Hang durch ein Brückenbauwerk gequert werden, so ist es erforderlich, die periodischen Kriechbewegungen an der Oberfläche sowie in etwa 10 bis 15 Metern Tiefe in verschiedenen Punkten zu kennen. Am besten sind die Messpunkte dort zu wählen, wo Stützen und Widerlager des Bauwerkes angeordnet werden.

Anforderungen an das Brückenbauwerk

- Der Brückenoberbau muss gewisse ungleiche vertikale Stützensenkungen ohne zu grosse Zusatzmomente ertragen können. Er muss so gelagert werden, dass ungleiche horizontale Verschiebungen der Pfeiler keine Horizontalkräfte auf die horizontalen Fahrbahnscheiben erzeugen. Einzig die Lagerreibung soll in diesem Sinne berücksichtigt werden müssen.
- Das Brückenbauwerk muss sich mit dem Hang mitverschieben können.
- Die Fundationen der Pfeiler müssen den prekären Hangverhältnissen Rechnung tragen.
- Bei relativ grossen Kriechbewegungen, die nach Voraussicht nicht abklingen werden, müssen die Lagerkonstruktionen selbst sowie die zu stützenden Konstruktionsteile, wie Querträger des Oberbaues und Pfeilerbankette auf eine bestimmte Horizontalverschiebung zwischen Pfeiler und Oberbau so ausgebaut werden, dass sie eine bestimmte vorausberechnete Lebensdauer des Bauwerkes garantieren.