

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 35/36 (1900)  
**Heft:** 15

**Artikel:** Modell und Modellbelastung  
**Autor:** Griot, Gustav  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-22066>

### **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:** 06.02.2025

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

INHALT: Modell und Modellbelastung. — Die Entsumpfung der römischen Campagna. — Münchener bürgerliche Baukunst der Gegenwart. — Miscellanea: Die gewaltige Hochwasserkatastrophe. Gleichzeitige Kraftübertragung mit Gleichstrom und Wechselstrom. Desinfizierung eines Wasserrohrnetzes. Ausnutzung der Hochofengase für Motorenbetrieb. Monats-

ausweis über die Arbeiten am Simplon-Tunnel. — Konkurrenzen: Tonhalle in St. Gallen. — Nekrologie: † Carlo Fraschina. † Adolphe Fraisse. † August Müller. — Litteratur: Bulletin technique de la Suisse romande. — Vereinsnachrichten: Gesellschaft ehemaliger Studierender der eidgenössischen polytechnischen Schule in Zürich: Herbstsitzung. Stellenvermittlung.

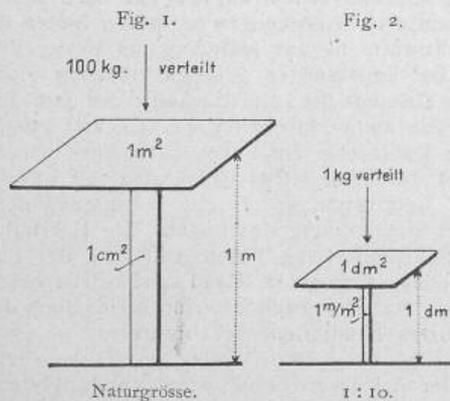
## Modell und Modellbelastung.

Von *Gustav Griot*, Brückeningenieur in Zürich.

Der Statiker weiss, wie oft ihn seine graue Theorie im Stiche lässt, wenn er die wirkliche Tragsicherheit eines statisch unbestimmten Stabgebildes zuverlässig, der Wahrheit entsprechend, beurteilen soll. In erster Linie sind es die grösseren Holzkonstruktionen, die einer genauen Berechnung meistens spotten. Dies rührt einerseits daher, dass die Holzverbindungen, besonders auf Zug, nicht absolut unverschieblich sind, andererseits sind die meisten Zimmerkonstruktionen der Form nach schon statisch unbestimmt und können wegen der genannten Verschieblichkeit nicht nach den Elasticitätsgesetzen berechnet werden wie Eisenkonstruktionen.

Dem ästhetisch schaffenden Baumeister treten auf diesem Gebiete immer mächtiger die Einwände der exakten Theorie entgegen, meistens mit Recht, oft aber auch unnötigerweise auf Kosten der Einfachheit und Schönheit. Das nächstliegende und überzeugendste Kontrollmittel sind in solchen Fällen die Probelastung und das Modell.

Zweck dieses Artikels soll es sein, die Eigenschaften des *masstäblichen Modells* und die *äquivalente Modellbelastung* näher zu besprechen und deren praktischen Wert zu begründen. Wenn einerseits das unrichtig oder gar nicht belastete Modell zu ganz falschen Schlüssen führen muss, so ist andererseits die naturgetreue Darstellung der Wirklichkeit durch das masstäbliche, äquivalent belastete Modell mindestens ebenso wahr, wie die üblichen Rückschlüsse von Festigkeitsproben auf die Bieg- und Knicksicherheit vielmal grösserer Querschnitte. Das Modell hat aber den Vorteil, alle unbestimmten Nebenumstände, wie teilweise Einspannung, excentrische Kraftwirkung etc., zu berücksichtigen und ist deshalb geeignet, das Resultat der Berechnung wesentlich zu ergänzen und zu berichtigen. Um das Kräftepiel am Modell mit dem richtigen Verständnis studieren zu können, muss aber solchen Versuchen immer eine sorgfältige statische Berechnung vorangehen.



**Zufällige Last.** Für die folgenden Ableitungen ist vorausgesetzt, dass das Modell in allen Dimensionen der Naturausführung geometrisch ähnlich ist und aus gleichem Material besteht wie diese.

Denkt man sich (Fig. 1) in Naturgrösse einen Stab von 1 m Höhe und 1 cm<sup>2</sup> Querschnitt, darauf eine Fläche von 1 m<sup>2</sup>, welche 100 kg verteilt trägt; stellt ferner Fig. 2 davon ein Modell im Masstab 1:10 dar, dann ergibt sich durch Betrachtung der Figuren folgendes:

Wird das Modell mit der gleichen zufälligen Last pro Flächeneinheit (100 kg pro m<sup>2</sup> oder 1 kg pro dm<sup>2</sup>) belastet, wie das Naturbauwerk, so sind die spezifischen

Spannungen an beiden Objekten gleich gross. Z. B. hier:

$$\sigma = \frac{100 \text{ kg}}{1 \text{ cm}^2} = \frac{1 \text{ kg}}{1 \text{ mm}^2}$$

Aber auch die Knickgefahr bleibt dieselbe, weil das Verhältnis des Trägheitsradius zur Stablänge konstant bleibt. Denkt man die Kräfte auf Zug wirkend, so ist leicht einzusehen, dass dies an der identischen Wirkungsweise nichts ändert. Dasselbe gilt von den Biegungsspannungen, weil Biegemoment wie Widerstandsmoment sich mit der dritten Potenz des Masstabes ändern.

Zur Bestimmung einer aufzulegenden Einzellast bedenke man, dass letztere immer die Lastsumme einer bestimmten Fläche ist. Die Einzellast reduziert sich für das Modell, wie ihre zugehörige Fläche, d. h. wieder das Quadrat des Masstabes. Die äquivalente Einzellast ist z. B. im Masstab 1:10, 10<sup>2</sup> = 100 mal kleiner als in Naturgrösse. Diese Regeln gelten für beliebig gerichtete Kräfte, also auch für Winddruck.

**Eigengewicht.** An einem Modell im Masstab 1:10 betragen alle Querschnitte  $\frac{1}{100}$  der Natur. Der Kubikinhalt des Modellmaterials, und folglich auch sein Gewicht beträgt aber nur  $\frac{1}{1000}$  der Natur.

Das Modell im Masstab 1:10 ohne weitere Belastung wird also in allen Teilen nur  $\frac{1}{10}$  so stark spezifisch beansprucht, wie das Naturbauwerk ohne zufällige Last.

Das unbelastete Modell erscheint dadurch viel stabiler als die Natur und kann leicht zu Trugschlüssen verleiten.

Das Misstrauen gegen Modellversuche ist wohl in erster Linie diesem Umstand zuzuschreiben. Um die Eigengewichtswirkung eines Bauwerkes am Modell naturgetreu darzustellen, muss das Modellgewicht mit der Verkleinerungszahl multipliziert gedacht werden. Z. B. ein Modell im Masstab 1:10 muss 10 mal schwerer gedacht werden, oder was auf dasselbe herauskommt: man muss das neunfache Modellgewicht an geeigneten Stellen künstlich auflegen.

Bedenkt man nun, dass Modelle meistens kleiner als 1:10 ausgeführt werden, so leuchtet ein, dass das einfache Modellgewicht für die statische Beurteilung fast ausnahmslos als verschwindend betrachtet werden kann. Ob man z. B. das neun- oder zehnfache Modellgewicht auflegt, bedeutet für die praktische Untersuchung keinen Unterschied. Erlaubt man sich diesen Fehler, so reduziert sich die Belastungsregel auf folgende einfache Form:

„Um durch ein Modell von beliebigem Masstab (kleiner als 1:10), aber geometrisch naturähnlicher Ausführung und von beliebigem, aber naturgleichem Material, ein naturgetreues Bild von der Stabilität eines Bauwerkes zu erhalten, sind *Eigenlast und zufällige Last in der gleichen Grösse pro Flächeneinheit aufzubringen, wie sie in Natur sind.*“

Man rechnet dabei am bequemsten nach dm<sup>2</sup>. Beträgt z. B. in Natur die Eigenlast 200, die zufällige Last 300 kg pro m<sup>2</sup>, so sind hierfür am Modell ebenfalls 200 und 300 kg pro m<sup>2</sup> oder 2 und 3 kg pro dm<sup>2</sup> aufzubringen.

Es ist nicht zu bestreiten, dass bei solchen Versuchen die gleichen unwesentlichen Fehler begangen werden, wie bei der üblichen statischen Berechnung; nämlich: dass das Eigengewicht an den Knotenpunkten angreifend gedacht wird, anstatt im Verhältnis der Materialmenge verteilt zu sein.

Durch Drücken und Rüttein, auch event. durch die schliessliche Bruchbelastung, kann am Modell mancher nicht sicher berechenbare Teil praktisch beurteilt werden, welcher auch in Naturgrösse wegen der enormen Steifigkeit dem Gefühl keine Antwort giebt.

Besonders auch in Bezug auf elastische Erscheinungen ist das Modell ein lehrreiches Auskunftsmittel.

Die eisernen räumlichen Fachwerke, z. B. Hohlkuppeln ohne Innenkonstruktion, prismatische Turmformen etc. zeigen sich im Modell ausserordentlich steif und unverschieblich, welcher Umstand rechnerisch schwer zu beurteilen ist. Gewöhnlich hält selbst der Statiker solche Gebilde für elastischer als sie sind.

Der ungewohnte Eindruck, den solche Miniaturbelastungen wegen ihrer scheinbar übermässigen Lasten hervorrufen, rührt daher, dass wir zur Schätzung des Gewichtes auf das Auge angewiesen sind. Das Auge beurteilt die Lastmassen, abgesehen von der stereoskopischen Wirkung, hauptsächlich nach der Ansichtsfläche, während Kubikinhalt und Gewicht in viel stärkerem Verhältnis wechseln. Daraus geht hervor, dass sehr grosse Lasten vom Gefühl allein immer unterschätzt werden, wenn nicht die mathematische Ueberlegung oder die Erfahrung nachhilft. Um diese Behauptung zu unterstützen, empfehle ich die Berechnung der äquivalenten Last für ein Steinbrückenmodell etwa im Masstab 1:100. Im Masstab 1:8 erscheinen die linearen Dimensionen des Lastkörpers im Verhältnis zu den linearen Abmessungen des Modells schon verdoppelt. Im allgemeinen ändert sich obiges Verhältnis wie die  $\sqrt[3]{V}$  aus der Verjüngungszahl. Je stärker die Verjüngung, desto auffallender die äquivalente Last. Diese Täuschung wird dadurch vermehrt, dass auch das Eigengewicht durch aufgelegte Gewichte dargestellt werden muss.

Die Abbildung Fig. 3 illustriert eine Belastungsprobe mit dem Modell für die Festhalle des eidg. Schützenfestes 1901 in Luzern, welche im Auftrage des Baukomitees als Ergänzung der statischen Berechnung vorgenommen wurde.

Es lagen zur Begutachtung zwei Binderentwürfe vor, von denen der eine durch die statische Berechnung genügend sicher beurteilt werden konnte. Der andere, namentlich für die Ausführung genehmigte Entwurf von Ing. Lubini in Luzern kann dagegen nur unter sehr fraglichen Voraussetzungen berechnet werden. Da das Baukomitee diesen Entwurf aus ästhetischen Gründen bevorzugte, so wurde die von zwei Experten übereinstimmend vorgeschlagene Modellierung beschlossen, um durch eine äquivalente Belastung bessern Aufschluss über die Sicherheit des Bauwerkes zu erlangen (Fig. 3).

Entsprechend der üblichen Berechnung wurden folgende zwei Belastungsfälle dargestellt:

I. Fall (nur Vertikallasten)		II. Fall	
Eigenlast	70 kg pro m <sup>2</sup>	Eigenlast vertikal	70 kg/m <sup>2</sup>
Wind	35 " " "	Wind horizontal	125 "

Die Windkraft wurde mittels Federwage am Binder stossweise ausgeübt.

Das Bild zeigt den Belastungsfall I mit 1,7facher äquivalenter Last (1,7fache Sicherheit für den vollbelasteten

mittleren Binder und zweifache Sicherheit für Pfetten und Sparren). Die aufgelegten Backsteine wiegen im Ganzen 520 kg über einer Grundfläche von 3 m<sup>2</sup>.

Obgleich schon auf Grund der statischen Berechnung einige Teile verstärkt worden sind, so zeigten doch die Belastungsversuche die Notwendigkeit weiterer Aenderungen. Bei einem ersten Belastungsversuch konnte die vorschriftsmässige Last nicht aufgebracht werden, ohne das Ausknicken der äusseren Pfosten zu riskieren. Nachdem die bloss zwischengeklebten Dübel der Pfosten eingelassen waren, zeigten sich die Pfosten ihrer Aufgabe gewachsen. Ursprünglich war beabsichtigt, wegen der Wiederverwertung des Holzes überall von dem Einschneiden der Dübel und der Kreuzungsstellen abzusehen. Die Belastungsversuche zeigten deutlich den günstigen Einfluss und die Unentbehrlichkeit des Einschneidens.

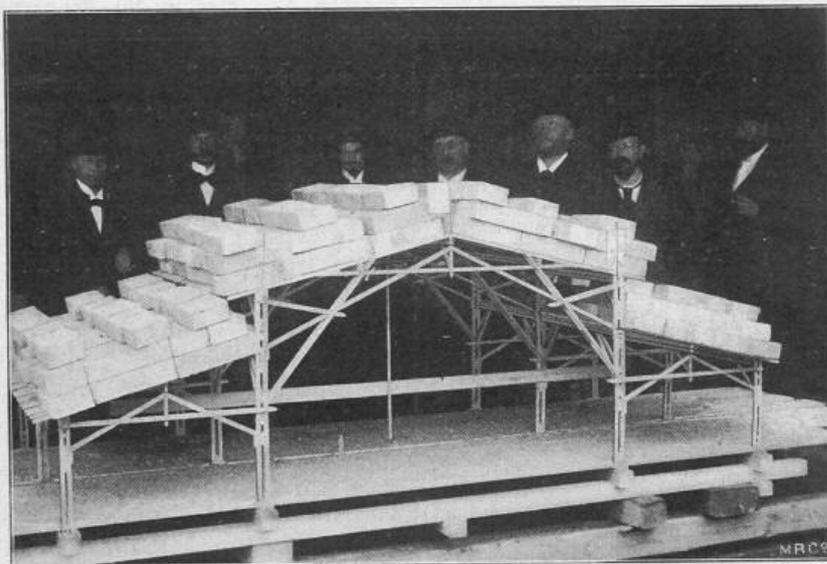
Wie vorauszusehen war, stand die wirkliche Kraftverteilung des Bindersystems nicht ganz im Einklang mit den Voraussetzungen der Berechnung, indem z. B. eine Hauptstrebe sogar Zug anstatt Druck aufwies, was sich durch Lösen einer Verbindung zu erkennen gab. Ausserdem gab das belastete Modell noch Auskunft über eine Reihe anderer Fragen, welche für die Ausführung von Belang sind.

## Die Entsumpfung der römischen Campagna.

Unter diesem Namen versteht man im allgemeinen die ganzen ehemals bedeutend, jetzt nur noch zum geringen Teile versumpften Niederungen zu beiden Seiten des Tiber von Rom abwärts bis zur Mündung ins Meer. Von diesen fast 3000 km<sup>2</sup> umfassenden Flächen befanden sich im ungünstigsten Zustande die Landstrecken nahe dem Tiberdelta, so namentlich am rechten Ufer das 108 km<sup>2</sup> grosse Sumpfgebiet von Maccarese, am linken Ufer jenes von Ostia mit 94 km<sup>2</sup> und im Delta selbst Isola sacra mit 13 km<sup>2</sup> (Fig. 1). Durch die Melioration sollten die Beseitigung der Malaria infolge der Entsumpfung des Bodens, die Herstellung einer besseren Bodenverteilung durch Auflösung der Latifundien und der Güter der toten Hand und wirtschaftliche Verbesserungen erzielt werden, um eine Besiedelung der weiten, unausgenützten Landstriche hervorzurufen.

In Nr. 38 der „Zeitschr. des österr. Ing.- und Arch.-Vereins“, der auch unsere bezüglichen Abbildungen entnommen sind, hat Herr P. Kresnik über die Ausführung der Melioration berichtet. Hinsichtlich der Entsumpfung des Tiberdeltas entschloss man sich für die tiefergelegenen Gebiete, aus denen das dem Boden entzogene Wasser nicht mehr mit natürlichem Gefälle ins Meer abfliessen kann, zur Beschaffung einer künstlichen Vorflut, d. h. das an gewissen tiefsten Punkten gesammelte Sumpfwasser soll mittels Pumpwerken in die Höhe gehoben werden, um weiter zum natürlichen Ablauf zu gelangen. Um das zu hebende Wasser auf das unvermeidliche Maass zu beschränken, wurden die von höheren Gebieten kommenden Tagwässer vorerst entsprechend hoch am Umfange des tieferen Sumpfgebietes mittels Umfangs-, Saum- oder Randkanälen U abgefangen;

Fig. 3. Modell und Modellbelastung.



Modell 1:20 für die Festhalle des eidg. Schützenfestes 1901 in Luzern.  
(Nach dem Entwurf von Ing. Lubini in Luzern.)