Vorwort.

Die vorliegende Abhandlung soll die Grundlagen und die Entwicklung des Brückenbaues einem nicht fachverständigen Leserkreise, im besonderen den Schülern der oberen Klassen höherer Lehranstalten vorführen. Veranlassung hierzu gab die Erbauung der Bonner Strassenbrücke, welche in unmittelbarer Nachbarschaft der städtischen höheren Schule gegründet und unter den Augen der Schüler fast vollendet, in allen Zuständen ihrer Erbauung dauernd das Interesse der heranwachsenden Jugend auf sich zog. Gegenüber solchem Interesse an einem technischen Meisterwerke soll aber die Schule, soweit sich die Möglichkeit bietet, Verständnis für die dem Bauwerke zu Grunde liegende Idee, die Hauptteile, deren Aufgabe, Konstruktion und Zusammenwirken erwecken. Dieses Verstehen eines Bauwerkes, wenn es nicht auf eine rein äusserliche ästhetische Betrachtung hinauslaufen soll, wird sich allein dadurch ermöglichen lassen, dass der Leser vorher mit der Entwicklung des betreffenden Zweiges der Baukunst, d. h. in unserem Falle mit der statischen und geschichtlichen Entwicklung des Brückenbaues überhaupt, bekannt gemacht wird. Hieraus ergeben sich für diese Abhandlung drei Hauptteile, nämlich:

I. Die statische Entwicklung des Brückenbaues.
II. Die geschichtliche Entwicklung des Brückenbaues.
III. Der Bau der Bonner Rheinbrücke.

In diesen drei Teilen werde ich mich meines Leserkreises, aber auch des Raumes wegen auf die einfachsten statischen Verhältnisse beschränken und die ganze Elasticitätslehre ihrer Schwierigkeit wegen ausschliessen; meine Arbeit wird deshalb einem Fachmanne nichts Neues bieten. Ebensowenig konnte ich den verschiedenen Methoden, welche man beim eigentlichen Aufbau der Brücken, namentlich bei der Pfeilergründung anwendet, so interessant und lehrreich dieselben oft sind, aus Raummangel eine eingehendere Besprechung widmen. Der darzustellende Gegenstand musste aber trotzdem, namentlich im ersten Teile, einige Sätze als bekannt voraussetzen, da deren Ableitung mich zu weit geführt hätte und dieselben ausserdem in den betreffenden Lehrbüchern leicht aufgesucht werden können. Um den Gang der Abhandlung möglichst ungestört zu erhalten und zugleich den mathematisch-physikalischen Standpunkt des ersten Teiles zu kennzeichnen, habe ich dieselben in den Eingang gestellt. Sollte der erste Teil mangels der nötigen Vorkenntnisse einem Leser zu schwer verständlich erscheinen, so möge er sich dem zweiten und dritten Teile zuwenden, da deren Lektüre auch unter diesen Umständen nicht ohne Nutzen sein wird.

Den dritten Teil der Abhandlung konnte ich natürlich nicht ohne direkte Unterstützung der Leiter des Bonner Brückenbaues abfassen. Dieselbe ist mir aber auch in der liebenswürdigsten Weise zu teil geworden, und ich spreche an dieser Stelle den Herren Regierungs-Bau-

meister Frentzen und Regierungs-Bauführer Jührens meinen aufrichtigen Dank aus für die Förderung, die sie meinem Unternehmen haben zu teil werden lassen.

A. Für den ersten Teil der Abhandlung werden an mathematischen Kenntnissen vorausgesetzt:

1. Aus der Algebra: die Buchstabenrechnung bis zur Bildung von Quadraten und Quadratwurzeln; die einfachen Gleichungen I. Grades mit einer Unbekannten. — Ausserdem ist für § 6 noch folgender Satz erforderlich: Die Summe aller ganzen Zahlen von 1 bis n ist gleich $\frac{1}{2}n(n+1)$ [Beispiel: Die Summe aller ganzen Zahlen von 1 bis 100 ist gleich $^1/_2$ 100.101 = 5050].

Beweis: Bezeichnet S die gesuchte Summe, so schreiben wir:

$$S = 1 + 2 + 3 + \ldots\ldots\ldots + (n-2) + (n-1) + n$$
$$S = n + (n-1) + (n-2) + \ldots\ldots\ldots + 3 + 2 + 1$$
$$2\,S = (n+1) + (2+n-1) + (3+n-2) + \ldots\ldots + (n-2+3) + (n-1+2) + (n+1)$$
$$= (n+1) + (n+1) + (n+1) + \ldots\ldots\ldots + (n+1) + (n+1) + (n+1)$$
$$= n(n+1);\quad S = {}^1/_2\, n(n+1).$$

2. Aus der Planimetrie: die Sätze vom Parallelogramm; der pythagoräische Lehrsatz; die Formel des Kreisumfanges ($2\,r\,\pi$); die Proportionalität von Bogen (b) und zugehörendem Centriwinkel (φ), nämlich $b : \varphi = 2\,r\,\pi : 360$.

3. Aus der Trigonometrie: die Funktionen am rechtwinkligen Dreiecke.

B. Aus der Physik werden hauptsächlich folgende Sätze benutzt:

1. Kräfte werden ihrer Grösse und Richtung nach durch Strecken dargestellt und nach den für diese geltenden Sätzen behandelt.

2. Verschiebung, Vereinigung und Zerlegung von Kräften, die einen Punkt angreifen:

a) Kräfte lassen sich zu neuen Angriffspunkten verschieben, wenn diese Angriffspunkte jedes Mal in der Richtung der Kraft liegen und mit dem ursprünglichen fest verbunden sind. [Ob ein Wagen auf ebener Erde an einem langen oder kurzen Zugseil vorwärts bewegt wird, ist im allgemeinen gleichgültig.]

b) (Parallelogramm der Kräfte). Zwei einen Punkt P angreifende Kräfte k_1 und k_2 lassen sich nach Grösse und Richtung durch die Diagonale R des aus k_1, k_2 und $\sphericalangle(k_1\,k_2)$ gebildeten Parallelogramms ersetzen (Fig. 1 *). Hierbei kann $\sphericalangle(k_1\,k_2)$ alle Werte von 0° bis 180° annehmen. Ist $\sphericalangle(k_1\,k_2) = 90^0$, so ist $R = \sqrt{k_1^2 + k_2^2}$; ist dagegen $\sphericalangle(k_1\,k_2) = 0$ oder gleich 180°, so ist das Parallelogramm jedes Mal zur Linie geworden. Im ersteren Falle aber fällt die Diagonale mit der Summe, im zweiten mit der Differenz von k_1 und k_2 zusammen, und es ist dann $R = k_1 + k_2$ bezw. $R = k_1 - k_2$ oder $= k_2 - k_1$. Ist im letzten Falle $k_1 = k_2$, so ist $R = o$, und wir haben daraus den Satz: Zwei gleiche, aber entgegengesetzt gerichtete Kräfte heben sich auf.

c) Durch mehrfache Anwendung des vorigen Satzes lassen sich mehrere, einen Punkt angreifende Kräfte $k_1, k_2, \ldots k_n$ zu einer einzigen Resultante R vereinigen. (Fig. 2.)

d) Jede Kraft (R) kann nach dem Kräfte-Parallelogramm in zwei und mehr Seitenkräfte, Komponenten, zerlegt werden. (Fig. 1 u. 2.)

3. Hebel und statische Momente.

a) Ein Hebel ist eine um einen festen oder beweglichen Punkt drehbare Linie (Strecke, Stange, Balken, Körper), die von Kräften angegriffen wird.

b) Der Hebelarm (l) einer Kraft (k) ist die Länge der vom Drehpunkte (D) auf die Kraftrichtung gefällten Senkrechten. (Fig. 3.)

c) Das Produkt von Kraft (k) und Hebelarm (l) heisst das statische Moment (m). Es ist also $m = k\,l$.

---

*) Die hier und im folgenden mit den Nummern 1, 2 u. s. w. angeführten Figuren finden sich auf den Tafeln am Schlusse der Abhandlung vor, während sich die Nummern I, II u. s. w. auf Figuren im Texte beziehen.

d) Das Drehvermögen einer Kraft wächst sowohl mit der Grösse der Kraft, als auch mit der des Hebelarmes und daher mit dem statischen Moment, und zwar gibt uns das statische Moment selbst die Grösse des Drehvermögens.

e) Man unterscheidet positive und negative Drehung; die letztere entspricht meist der Uhrzeiger-Drehung. Demgemäss unterscheidet man auch positive und negative statische Momente.

4. Hebelgesetz (Gleichgewicht gegen Drehung). Soll ein Körper (Hebel) trotz der angreifenden Kräfte keine Drehung erleiden, so muss die Summe aller positiven und negativen statischen Momente gleich Null sein.

Beispiel: (Fig. 4.) Es sei AB ein Hebel mit dem festen Drehpunkte D. Der Vereinfachung wegen sollen hier alle Kräfte senkrecht zum Hebel wirken. Im positiven Sinne drehen die Kräfte 7, 1, 4, 3 an den Hebelarmen 5, 1, 3, 8; im negativen Sinne die Kräfte 12 und 4 an den Hebelarmen 3 und 9. Dann ist die Summe der statischen Momente $7.5+1.1+4.3+3.8-12.3-4.9=0$. Mithin können die angreifenden Kräfte keine Drehung bewirken. Ebenso wenig können sie aber, so lange D fest ist, eine Verschiebung des ganzen Hebels herbeiführen.

Ersetzen wir jetzt noch die Festigkeit des Drehpunktes durch eine in D wirkende Kraft X, welche dem bisher in D wirkenden Drucke gleich und entgegengesetzt sein soll, so wird auch diese Kraft keine Drehung um D hervorrufen, weil ihr statisches Moment mangels eines Hebelarmes gleich Null ist. Mithin ist dann auch ohne festen Drehpunkt das Gleichgewicht gewahrt.

5. Gleichgewicht gegen Verschiebung:

Soll ein Körper keine Verschiebung nach einer bestimmten Richtung erleiden, so muss die Summe der positiven und negativen Kräfte, die in dieser Richtung wirken, bezw. die der entsprechenden Kraftkomponenten gleich Null sein.

Beispiel: Als es sich um Drehung handelte (Fig. 4), nahmen wir die der Uhrzeiger-Drehung entsprechende als negativ. Hier, wo es sich um Verschiebung handelt, wollen wir die nach unten gehende und also der Schwerkraft folgende als negativ und entsprechend die nach oben gerichtete als positiv nehmen. Dann sind im Sinne der Verschiebung positiv die Kräfte 12, 4, 3 und negativ 4, 1, 7. Ausserdem aber hatten wir noch an Stelle der Festigkeit von D eine noch unbekannte Kraft X eingeführt, welche so gross sein sollte, dass das Gleichgewicht gegen Verschiebung dadurch erreicht und also die Summe aller positiven und negativen Kräfte gleich Null sei. Mithin $12+4+3-4-1-7+X=0$, woraus $X=-7$; d. h. in D ist eine nach unten wirkende Kraft 7 erforderlich, um das Gleichgewicht zu bewahren, wenn D nicht fest ist. Die Festigkeit des Punktes D hatte mithin bisher eine nach unten gerichtete Kraft 7 zu leisten. Nach Einfügung der Kraft -7 und Beseitigung der Festigkeit von D ist also Gleichgewicht gegen Verschiebung erreicht, und auch die Summe der statischen Momente der wirkenden Kräfte ist jetzt für jeden beliebigen Punkt z. B. den Punkt A gleich Null. Ist nämlich $AD=10$, so drehen jetzt im positiven Sinne um A die Kräfte 12, 4, 3 an den Hebelarmen 7, 13, 18, im negativen Sinne 7, 1, 7, 4 an den Hebelarmen 5, 9, 10, 19 und die Summe der statischen Momente ergibt: $12.7+4.13+3.18-7.5-1.9-7.10-4.19=0$.

Aus (4) und (5) ergibt sich die Folgerung:

6. Soll ein Körper weder eine Verschiebung noch eine Drehung nach einer bestimmten Richtung erleiden, so muss:

a) die Summe der nach dieser Richtung wirkenden Kraftkomponenten gleich Null sein,

b) die Summe der statischen Momente derselben Komponenten für einen beliebigen Drehpunkt gleich Null sein.

7. Vom Schwerpunkte:

In jedem Körper gibt es einen Punkt, durch dessen Unterstützung der Körper gegenüber der Schwerkraft in jeder Lage im Gleichgewicht ist. Dieser Punkt heisst der Schwerpunkt. Wegen der Gleichgewichtsbedingung (6a) muss die unterstützende Kraft, falls nur die Schwerkräfte oder Gewichte der einzelnen Teile des Körpers in Betracht kommen, gleich der Summe dieser Kräfte d. h. gleich dem Gewichte G des ganzen Körpers sein, und wegen der Gleichgewichtsbedingung (6b) muss für einen beliebigen Drehpunkt die Summe der (positiven und negativen) statischen Momente der einzelnen Schwerkräfte gleich dem statischen Moment der Unterstützungskraft G sein. Da offenbar an dem ganzen vorhandenen Gleichgewichts-Zustand nichts geändert wird, wenn wir das Gewicht der einzelnen Teile im Schwerpunkte vereinigen, so haben wir die Folgerung: „Das Gewicht eines Körpers kann man im Schwerpunkte vereinigen, ohne dadurch den vorhandenen Gleichgewichts-Zustand zu verändern". Bei Körpern, wie cylindrischen oder vierkantigen Balken, die nach Form und Material als regelmässig bezeichnet werden können, liegt natürlich der Schwerpunkt im Mittelpunkte.

8. Von der Festigkeit.

Die (relative) Festigkeit eines horizontalen Balkens oder Trägers gegen Zerbrechen nimmt der Erfahrung nach zu proportional der Breite und dem Quadrate der Höhe, und nimmt ab proportional der Länge. Dieses Gesetz drückt sich durch die Formel $F = f\frac{b\,h^2}{l}$ aus, worin F die Tragfähigkeit, b die Breite, h die Höhe und l die Länge des Balkens bezeichnet. f ist die Tragfähigkeit, die derselbe Balken haben würde, wenn b, h und l gleich 1 wären. Weil also die Höhe h einen grösseren Einfluss auf die Tragfähigkeit hat als die Breite, so gibt man den als Träger verwandten Holzbalken fast ausnahmslos eine grössere Höhe als Breite, jedoch darf die Breite nicht unter ein gewisses Mass sinken, wenn nicht die Tragfähigkeit dadurch erheblich vermindert werden soll. Soll z. B. aus einem cylindrischen Baumstamme vom Radius r ein rechteckiger Balken von grösster Tragfähigkeit geschnitten werden, so muss man, wie die Maxima-Rechnung ergibt, $h = \frac{2}{3} r\sqrt{6}$ und $l = \frac{2}{3} r\sqrt{3}$ oder rund $h = 1{,}63\,r$ und $b = 1{,}15\,r$ nehmen. Bei eisernen Trägern nutzt man das zu verwendende Material dadurch noch besser aus, dass man dem Querschnitt eine Gestalt wie ein I, T, L oder C gibt. Hierdurch spart man an Material und verringert zugleich das die Stützpunkte belastende Gewicht, ohne die Tragfähigkeit wesentlich zu verkleinern.