

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 87/88 (1926)
Heft: 12

Artikel: Mechano-statische Untersuchungen hochgradig statisch unbestimmter Tragsysteme
Autor: Hofacker, Karl
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-40863>

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: 05.04.2026

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

INHALT: Mechano-statische Untersuchungen hochgradig statisch unbestimmter Tragsysteme. — Der neue Basler Gottesacker am Hörnli. — Probleme der schweizerischen Elektrizitätswirtschaft. — Sondertagung der Weltkraft-Konferenz Basel 1926. — Miscellanea: Verkauf von fertigmischtem Beton zu Bauzwecken von einer zentralen Mischanlage aus. Die Herstellung der photographischen Trockenplatten und der Filme. Ausstellung „Geregelter Verkehr“ in Frankfurt a. M. Die Gesellschaft selbständig prak-

tizierender Architekten Berns. Ausbau der Rheinstrecke Basel-Bodensee. Eidgenössische Technische Hochschule. Die Wasserstandsverhältnisse in der Schweiz. Schweizerische wirtschaftliche Studienreise nach Nord-Amerika. — Nekrologie: Paul Seippel. — Konkurrenzen: Bierhalle der Aktienbrauerei Basel. — Literatur. — Vereinsnachrichten: Technischer Verein Winterthur, Sektion Winterthur des S. I. A. Zürcher Ingenieur- und Architekten-Verein. Maschineningenieur-Gruppe Zürich der G. E. P. S. T. S.

Band 87. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 12

Mechano-statische Untersuchungen hochgradig statisch unbestimmter Tragsysteme.

Von Ing. KARL HOFACKER, Luzern.

I. Das Verfahren von Prof. Beggs.

Am 7. Juli 1923 hatte Herr Prof. G. Beggs von der Princeton University N. Y., auf einer Studienreise durch Europa begriffen, die Freundlichkeit, vor den Studierenden der Ingenieur-Abteilung der E. T. H. einen Vortrag über seine mechanische Methode zur Lösung statisch unbestimmter Probleme zu halten. Die Hauptgedanken dieser Methode, die an Hand sinnreich konstruierter Modelle aus Zelluloid, Balken-, Rahmen- und Bogentragwerke vollwandiger Art darstellend, entwickelt wurden, seien im folgenden kurz festgehalten.

Die Grundlage des mechanischen Verfahrens ist natürlich die gleiche, wie beim rechnerischen und graphischen Verfahren, nämlich die Elastizitätstheorie. Die Ermittlung der statisch unbestimmten Kräfte oder Momente, d. h. jener Grössen, die aus den Gleichgewichts-Bedingungen allein nicht mehr berechnet werden können, erfolgt mit Hilfe des Prinzips der virtuellen Arbeit.

Der prinzipielle Unterschied der Methode von Prof. Beggs gegenüber den bisherigen ist der, die Durchbiegungen am Hauptsystem statt zu rechnen, was oft sehr zeitraubend und umständlich ist, an Pappmodellen mit dem Mikroskop zu messen. Seine ersten Versuche begann er im Jahre 1916, anlässlich der Untersuchung der Hauptträger der Brücke über den Allegheny River. Es handelte sich dort um durchlaufende Fachwerkbalken über drei Öffnungen (vergl. Abbildung 1).

Aus der Elastizitätslehre ist bekannt, dass die Einflusslinien als Biegelinien bestimmt werden können. Um z. B. die Einflusslinie von R_1 zu erhalten, wurde eine Stange mit konstantem Querschnitt (was gegenüber der Wirklichkeit, Hauptträger mit veränderlicher Höhe, eine Annäherung bedeutet) und 10 Fuss Länge mittels Nägeln in R_2, R_3 und R_4 befestigt und in R_1 um einen Betrag, der der Belastung von 1000 Pfund (Krafteinheit) entspricht, durchgebogen. Die Gegenüberstellung der Messresultate dieser rohen Methode und der nach der Theorie berechneten Werte ist in Tabelle I dargestellt und zeigt eine gute Uebereinstimmung.

Prof. Beggs nahm im Sommer 1919 die Erweiterung der Versuche auf Rahmenkonstruktionen vor. Er liess sich dabei vom Gedanken leiten, dass die Ergebnisse, die der Natur in direkter Weise abgewonnen werden, mindestens so genau seien, als die durch Anwendung oft sehr fragwürdiger Formeln errechneten.

Wir betrachten den durchlaufenden Rahmen mit gewölbten Riegeln (Abbildung 2). Es sei der Horizontal Schub am Fussgelenk der Säule III gesucht, der bei Belastung des Rahmens durch eine Last P im ersten Bogen entsteht. Das betreffende Fussgelenk wird ersetzt durch ein Rollenlager; somit ist jetzt in horizontaler Richtung jede Verschiebung möglich. Das siebenfach statisch unbestimmte System ist auf ein sechsfach statisch unbestimmtes Hauptsystem zurückgeführt. Am Fusse des dritten Ständers

Tabelle I. Vergleich der Ordinaten der Einflusslinien erhalten durch Theorie und Versuch (zu Abbildung 1).

Lastpunkt	R_1		R_2		R_3		R_4	
	Theorie	Versuch	Theorie	Versuch	Theorie	Versuch	Theorie	Versuch
0	1000	1000	0	0	0	0	0	0
1	+ 881	879	+ 142	149	- 28	35	+ 5	6
2	760	754	287	307	- 55	71	8	13
3	641	633	428	450	- 83	104	13	22
4	526	518	561	585	- 103	128	17	27
5	414	404	687	717	- 120	148	20	29
6	309	302	798	825	- 128	150	21	29
7	216	209	880	910	- 113	139	17	30
8	134	124	942	977	- 89	115	13	22
9	62	57	981	1008	- 49	68	7	12
10	0	0	1000	1000	0	0	0	0
11	- 37	- 40	956	965	+ 105	102	- 24	- 25
12	- 64	- 63	890	894	223	218	- 49	- 46
13	- 81	- 78	807	798	346	345	- 71	- 68
14	- 86	- 79	702	685	475	480	- 91	- 86
15	- 79	- 75	573	560	613	619	- 107	- 100
16	- 67	- 63	445	435	736	738	- 115	- 109
17	- 49	- 48	313	312	845	842	- 109	- 105
18	- 32	- 32	195	187	924	930	- 88	- 89
19	- 13	- 13	85	82	980	981	- 52	- 54
20	0	0	0	0	1000	1000	0	0
21	+ 9	9	- 58	- 51	974	965	+ 74	74
22	15	17	- 97	- 85	917	895	165	169
23	19	18	- 121	- 90	834	792	268	282
24	18	18	- 120	- 95	710	665	392	409
25	16	17	- 105	- 79	551	520	531	545
26	11	12	- 75	- 55	381	350	682	690
27	8	7	- 45	- 32	201	180	836	840
28	0	0	0	0	0	0	1000	1000

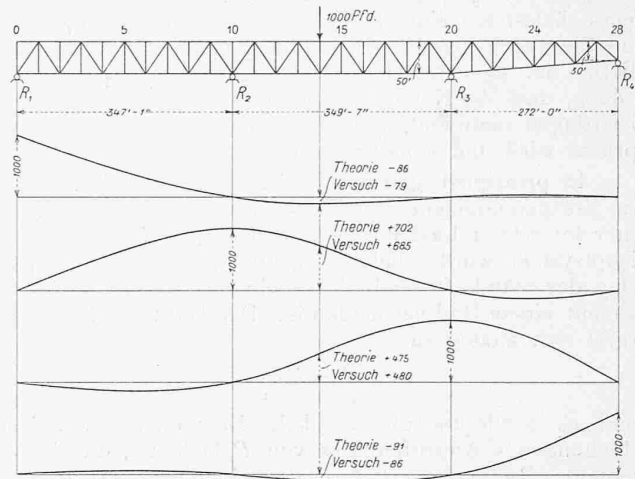


Abbildung 1.

befestigen wir nun ein Gewicht H , das mit Hülfe der Rolle einen horizontalen Fadenzug erzeugt, der genau so gross ist, wie der infolge P entstehende Horizontalschub. Entgegengesetzt zu diesem Zug bringen wir einen Zug f an, bestehend aus einem Eimer mit ein wenig Sand beladen. Am Gewicht H wird ein ebensolcher, jedoch leerer Eimer befestigt. Das kleine Gegengewicht verschiebt den Ständerfuss um den Betrag $1/2 d_1$ von Punkt 3 zu Punkt 1, während sich P von Punkt 6 nach 7 verschiebt. Wird hierauf die Stellung der Eimer vertauscht, so verschiebt sich der Ständer von 1 nach 2 um den Betrag d_1 ; gleichzeitig wird der Angriffspunkt der Last P von 7 nach 8 verschoben. Die horizontale Verschiebung des Angriffspunktes

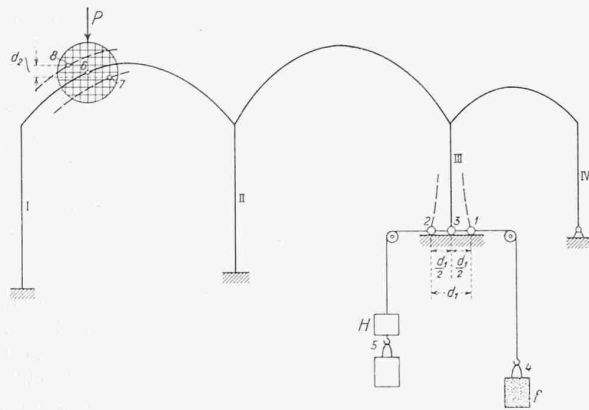


Abb. 2.

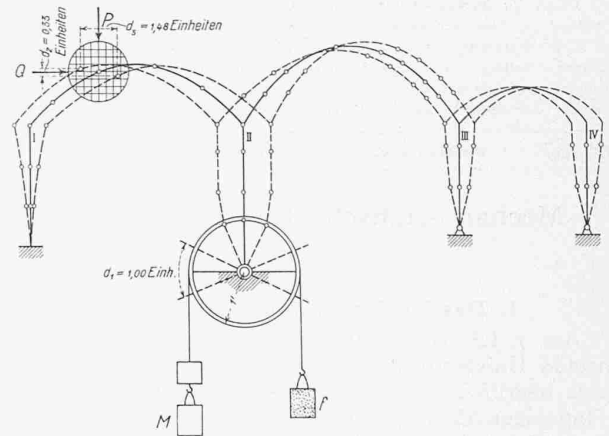


Abb. 3.

des Horizontalschubes infolge einer kleinen Kraft $2f$ von einer Grenzlage (1) zur andern (2) beträgt d_1 . Die entsprechende Verschiebung der Last P in ihrer Richtung (lotrecht) und infolge der kleinen Kraft $2f$ von der ersten Grenzlage (7) zur zweiten Grenzlage (8) beträgt d_2 . Da die Last P bekannt ist, kann nun der gesuchte Wert des Horizontalschubes berechnet werden zu

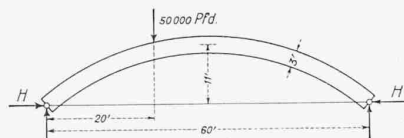


Abb. 4. Messungen an einem Zelluloid-Modell von 6 Zoll Spannweite des dargestellten Bogens, H gemessen 44600, H berechnet 44800.

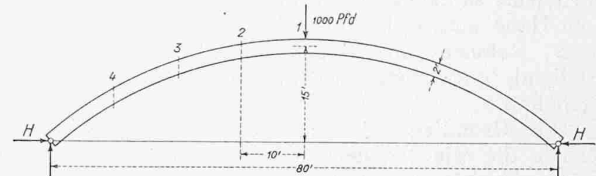


Abb. 5. Messungen an einem Karton-Modell von 20 Zoll Spannweite des dargestellten Bogens. Gemessene Werte: Bei P in Punkt 1: $H = 1000$ (berechnet 1000); bei P in Punkt 2: 920 (930); in 3: 720 (720); in 4: 420 (400).

$$H = P \frac{d_2}{d_1}$$

Aus der Ableitung dieser Beziehung folgt, dass innerhalb gewisser Grenzen die Grösse der kleinen Last $2f$ auf das Endresultat keinen Einfluss ausübt, indem nur das Verhältnis der Verschiebungen in Frage kommt; es kann der Quotient d_2/d_1 auch dadurch gefunden werden, dass dem unbelasteten Modell die kleine Verschiebung d_1 erteilt und die zugehörige Verschiebung d_2 genau gemessen wird. Hierbei ist zu empfehlen, die Verschiebung d_1 so anzuordnen, dass die Nullage des Modells die Mitte der beiden Grenzlagen einnimmt, weil der Rahmen so weniger beansprucht wird und genau arbeitet.

In prinzipiell gleicher Weise bestimmte Prof. Beggs das Einspannmoment am Fusse des Ständers II, infolge einer lotrechten Last im ersten Bogen (Abbildung 3). Das Hauptsystem wurde dadurch gebildet, dass die Einspannung des Ständerfusses II durch ein Gelenk ersetzt wurde, das mit einem Rad verbunden ist. Der Wert des Momentes ergibt sich analog zu

$$M = P \frac{d_2}{d_1}$$

wenn d_2 wiederum die vertikale Komponente der Verschiebung des Angriffspunktes von P bedeutet, die eintritt, wenn das Rad von einer Grenzlage in die andere gedreht wird. Die Verschiebungsgrösse d_1 wird als Weg eines Peripheriepunktes des Einheitskreises gemessen, der konzentrisch zum Rade liegt.

Stellt d_3 die horizontale Komponente der Verschiebung des Angriffspunktes der horizontal gerichteten Kraft Q dar, während der Drehung des Einspannquerschnittes des Ständers II um d_1 , so ist

$$M = Q \frac{d_3}{d_1}$$

das Einspannmoment infolge Q .

Zur Messung der Durchbiegungen in Richtung der wirkende Kräfte wurden Mikrometer-Mikroskope verwendet, in deren Gesichtsfeld eine mit felderförmiger Teilung versehene Glasplatte eingesetzt werden kann, und die gestatten, auf rund $1/640$ mm genau abzulesen.

Folgende Versuche mögen die Uebereinstimmung zwischen Messung und Rechnung illustrieren. Die anlässlich des erwähnten Vortrages vorgeführten Modelle waren alle aus Zelluloid hergestellt (vergleiche Abbildung 13 bis 16). Nach der Idee eines seiner Schüler entschloss sich Prof. Beggs, derer Herstellung dadurch bedeutend zu vereinfachen, dass er an Stelle von Zelluloid starken Karton verwendete, der mit dem Taschenmesser noch gut verarbeitet werden konnte. Als Gelenke werden Nadeln verwendet, die sich durch den Karton stecken lassen.

Das erste Tragwerk, das Prof. Beggs mit Hilfe der Mikroskope untersuchte, war ein Zelluloidmodell des in Abbildung 4 dargestellten Zweigelenkbogens. Das dem Bogen von 60 Fuss entsprechende, 6 Zoll Spannweite messende Modell wurde horizontal auf kleinen Kugellagern ruhend auf ein Reissbrett gesetzt. Rechts war der Bogen gelenkig, links horizontal verschieblich gelagert. Das erste Mikroskop gestattete das Messen der horizontalen Verschiebung des Kämpfers, das zweite mass die vertikale Komponente der Verschiebung des Lastangriffspunktes. Das Ergebnis war, wie aus der Legende zur Abb. 4 zu ersehen, sehr gut.

An einem Karton-Modell von 20 Zoll Spannweite eines Zweigelenkbogens von 80 Fuss Spannweite machte Prof. Beggs vier Messungen verschiedener Laststellungen, die wiederum sehr gut mit den berechneten Werten übereinstimmten (Abbildung 5).

Die Untersuchung eines eingespannten Gewölbes anhand eines Modells aus Karton von ebenfalls 20 Zoll Spannweite wurde derart bewerkstelligt, dass das rechte Widerlager festgehalten, während am linken Widerlager nacheinander das Moment $M = 1$, die Längskraft $T = 1$ und die Querkraft $S = 1$ aufgebracht wurden (Abbildung 6). Mit Hilfe des einen Mikroskops wurden jeweils die Bewegungen des Widerlagers gemessen; das andere mass die Vertikalkomponenten der Durchbiegungen der Bogenaxe. Die Tabelle II gibt eine Uebersicht der Werte der Deformationen. Die gemessenen und berechneten Werte stellten dar: die Ordinaten der Einflusslinien für das Einspannmoment, die Längskraft und die Querkraft im Einspannquerschnitt. Bei der rechnerischen Lösung des Problems sind natürlich die Einflüsse der Normal- und Querkräfte auf die Verschiebungsgrössen berücksichtigt worden.

Die Abbildungen 7, 8 und 9 zeigen einfache Rahmenkonstruktionen. Während bei den beiden ersten Rahmen (Abbildung 7 und 8), die gemessenen und theoretischen

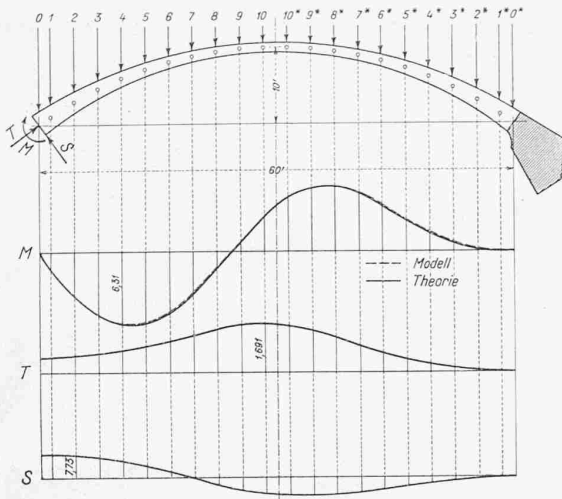
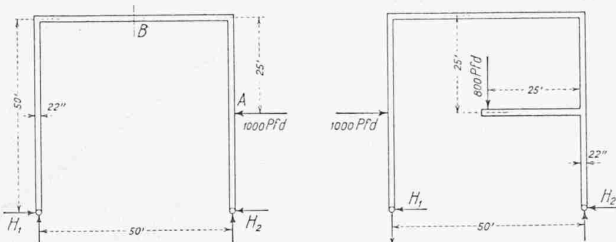


Abb. 6.



Am Modell gemessene Werte H_2 :
Bei P in A: 238 (berechnet 287),
in B: 81 (75); in A u. B: 364 (362).
Abb. 7.

Am Modell gemessener Wert H_2 :
497,4 (berechneter Wert 497).
Abb. 8.

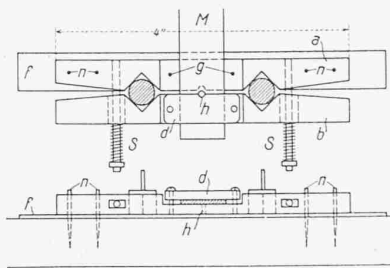
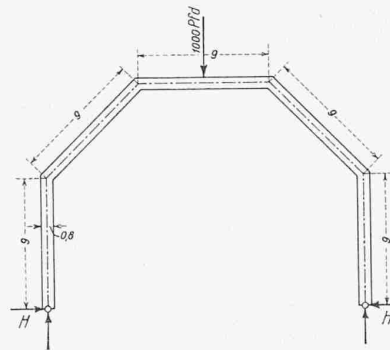


Abb. 11.

Abb. 10. Formänderungs-Schablone.



Am Modell gemessener Wert H:
1440 (berechneter Wert 1530).
Abb. 9.

Werte der Horizontalschübe sehr gut übereinstimmen, zeigen die Werte des Horizontalschubs des Modells Abbildung 9 Abweichungen, die weit über das gewöhnliche Mass bei einfachen Konstruktionen gehen. Jedenfalls dürfte der Modellwert der genauere sein, denn es ist nicht einzusehen, weshalb bei Tragwerken, die sich für die theoretische Behandlung als schwieriger erweisen, das Ergebnis am Modell weniger genau sein sollte, als bei solchen, die sich dank einer einfachen Form rechnerisch gut kontrollieren lassen.

An Stelle der in den Abbildungen 2 und 3 gezeigten Anordnung zur Erzeugung von Verschiebungen und Dre-

hungen eines beliebigen Querschnitts führte Prof. Beggs bei spätern Versuchen die in Abbildung 10 dargestellte Formänderungs-Schablone ein. Handelt es sich z. B. darum, an einem Säuleneinde M eines Rahmens Verschiebungen und Drehungen zu erzeugen, so wird das betreffende Kartonstück zwischen der Platte d und dem Querriegel b festgeklemmt. Der beweglich bleibende Riegel b ist durch die beiden Schrauben und Spiralfedern S mit dem festgehaltenen Riegel a verbunden. Um dem Teil b freie Bewegung zu sichern, wird der Teil a auf ein Futter f aus Papier gelegt und mittels der Stiften n auf das Reissbrett genagelt. Zwischen den Teilen a und b sind drei Aussparungen angebracht, die dazu dienen, in der Mitte einen Gelenkkolben h für gewünschte gelenkige Lagerung des Tragwerkes einzuführen, bezw. in den äusseren Kerbungen Einlagen in Form von Stöpseln anbringen zu können, derart, dass zur Erzeugung einer Verschiebung in Richtung der Normalkraft zuerst Stöpsel mit grösserem Durchmesser und dann solche mit kleinerem Durchmesser eingesetzt werden. Die Differenz der Durchmesser dieser Stöpsel gibt die erzeugte Verschiebung. Soll eine Drehung ausgeführt werden, so wählt man links und rechts Stöpsel mit verschiedenem Durchmesser (II in Abbildung 10), deren Lage zur Herstellung einer Drehung links und rechts der Mittellage zu vertauschen sind. Aus dem Unterschied der Durchmesser der Stöpsel, und unter Berücksichtigung des Abstandes dieser beiden, kann der hervorgerufene Drehwinkel leicht ermittelt werden. Querverschiebungen lassen sich mit rechteckigen Einlagen (III in Abbildung 10) erzeugen, die die beiden Riegel a und b aus der Mittellage gegenseitig verschieben.

Beispiel: Es sei die Normalkraft in einem Ständer eines einfachen Rahmens infolge einer Last P in Richtung CA wirkend, zu bestimmen. Man stellt das Mikroskop über den Angriffspunkt der Last P (Abbildung 11) und orientiert die Kreuzlinien derart, dass die Komponente der Verschiebung dieses Punktes in Richtung CA gemessen werden kann. Als Einlagen sind Stöpsel mit grösserem Durchmesser eingesetzt. Nun liest man im Mikroskopfeld die Lage des Angriffspunktes A von P ab. Zur bequemerer Auswechslung der Stöpsel gegen solche mit kleinerem Durchmesser dienen zwei kleine Keile, die zwischen die Riegel a und b geschoben werden können.

Der Punkt A bewegt sich im Gesichtsfeld des Mikroskops geradlinig von A nach B. Die gesuchte Projektion von AB auf CA sei d_2 ; ist die ganze Normalkraft-Verschiebung an der Schablone d_1 , so ergibt sich der Wert

Tabelle II. (Zu obiger Abbildung 6.)

Lagepunkt	Moment M		Normalkraft T		Querkraft S	
	Theorie	Modell	Theorie	Modell	Theorie	Modell
0	-0,00	-0,00	+0,584	+0,584	+0,807	+0,807
1	-1,50	-1,38	0,585	0,590	0,810	0,780
2	-3,86	-3,70	0,626	0,660	0,773	0,785
3	-5,49	-5,60	0,706	0,737	0,700	0,680
4	-6,31	-6,18	0,828	0,848	0,586	0,588
5	-6,24	-6,02	0,982	1,015	0,430	0,420
6	-5,30	-5,28	1,168	1,175	0,240	0,219
7	-3,63	-3,33	1,353	1,365	0,030	0,030
8	-1,40	-1,29	1,515	1,540	-0,182	-0,191
9	+1,04	+1,17	1,645	1,635	-0,388	-0,364
10	3,25	3,13	1,691	1,675	-0,539	-0,522
10'	4,87	4,64	1,628	1,625	-0,627	-0,610
9'	5,67	5,70	1,466	1,470	-0,632	-0,612
8'	5,72	5,71	1,232	1,245	-0,573	-0,570
7'	5,06	5,14	0,980	0,990	-0,486	-0,494
6'	4,07	4,24	0,726	0,750	-0,375	-0,383
5'	2,89	3,19	0,482	0,503	-0,260	-0,272
4'	1,80	2,00	0,285	0,325	-0,159	-0,177
3'	0,93	1,00	0,140	0,175	-0,080	-0,089
2'	0,31	0,51	0,043	0,061	-0,038	-0,033
1'	0,00	0,03	0,000	0,004	-0,000	-0,007
0'	0,00	0,00	0,000	0,000	-0,000	-0,000

der Normalkraft am Auflager zu

$$N = P \frac{d_2}{d_1}$$

als Druckkraft, denn die Aufwärts-Verschiebung des Auflager-Querschnitts verschob den Lastangriffspunkt A entgegengesetzt zur Richtung der Last P. Die mechanische Lösung ergibt also sowohl Wert als auch Vorzeichen der gesuchten Grösse.

Sollen Momente, Längs- und Querkräfte bestimmt werden, die in einem Querschnitt eines innerlich statisch unbestimmten Systems auftreten, so ist das System, genau wie theoretisch bei der rechnerischen Lösung, an der betreffenden Stelle aufzuschneiden. Die beiden abgetrennten Teile werden mit der Formänderungsschablone wieder so vereinigt, dass je ein Ende auf Teil a bzw. b mit Hilfe zweier Platten d befestigt wird. Die kleinen Löcher g gestatten die Verschraubung einer Platte d.

Im folgenden seien noch Versuche an kleinen Papiermodellen im Masstab 1:12 erwähnt, die mittels der Formänderungsschablone deformiert, und an denen die Verschiebungen des Lastpunktes mit Hilfe des Mikroskops gemessen wurden. Abbildung 12 zeigt einen durchlaufenden Rahmen mit zwei Oeffnungen mit eingespannten Ständern, belastet durch eine horizontale Kraft von 1000 Pfd. in Riegelhöhe. Mit Hilfe der Formänderungsschablone, die nacheinander in A, B und C angebracht wurde, gelang es durch Messen der horizontalen Verschiebungen des Angriffspunktes D die Komponenten V und H der Kämpferkräfte und die Einspannmomente M zu bestimmen. Die Zusammensetzung der drei Reaktionen mit der äusseren Kraft D erfüllte die Gleichgewichtsbedingungen in überraschender Weise. Setzen wir voraus: als positiven Wir-

MECHANO-STATISCHE UNTERSUCHUNGEN HOCHGRADIG STATISCH UNBESTIMMTER TRAGSYSTEME nach dem Verfahren von Prof. G. Beggs!

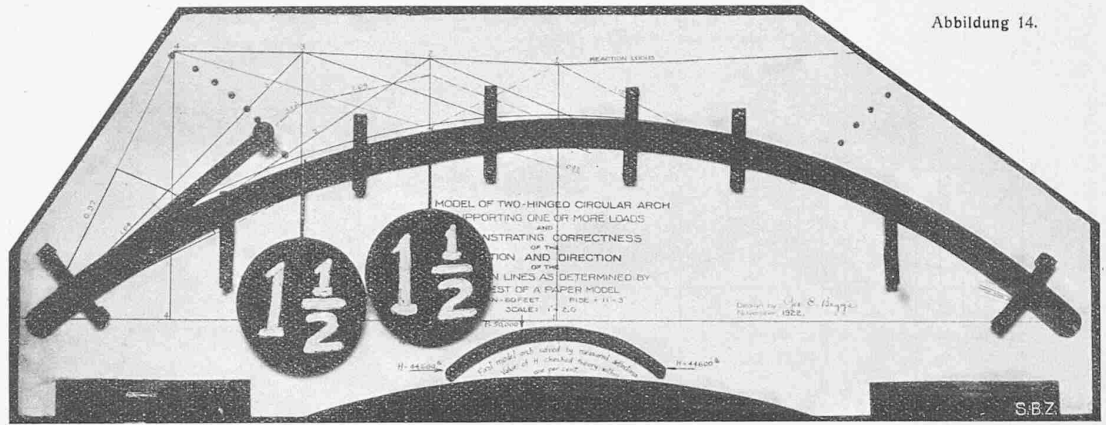


Abbildung 14.

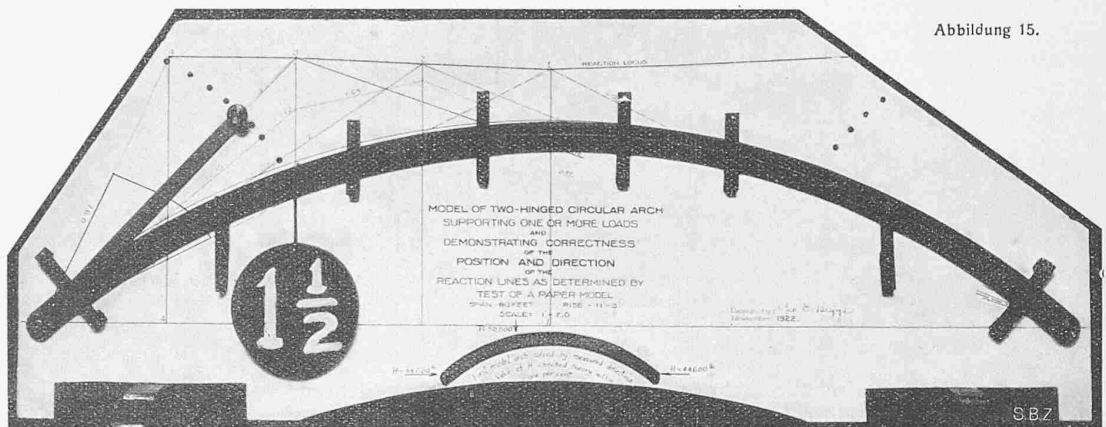


Abbildung 15.

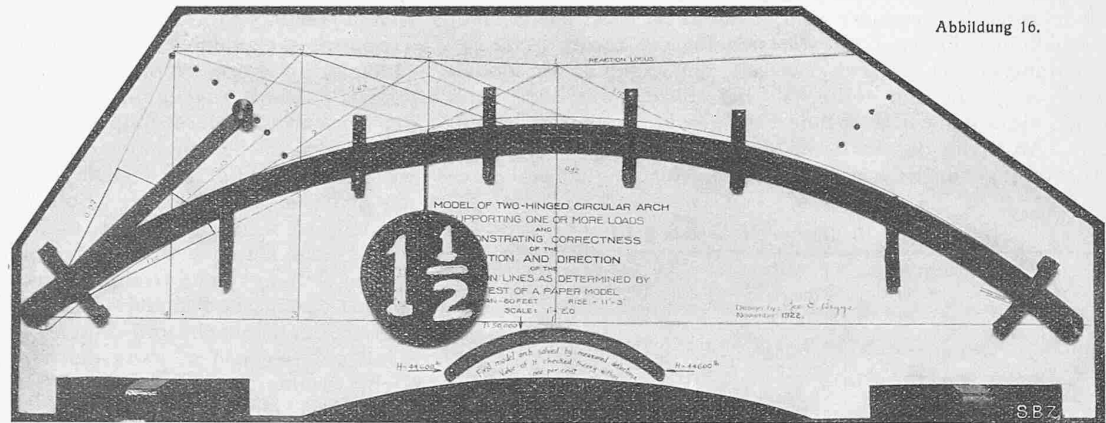


Abbildung 16.

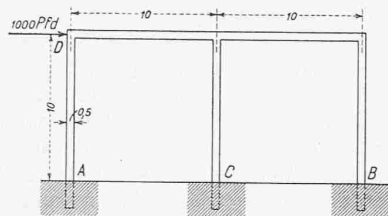


Abbildung 12.

Kämpfer	Moment M		Horizontalkraft H		Vertikalkraft V	
	Theorie	Modell	Theorie	Modell	Theorie	Modell
A	- 1771	- 1715	- 302	- 301	- 219	- 238
B	- 2084	- 1935	- 396	- 380	0	+ 10
C	- 1771	- 1720	- 302	- 309	+ 219	+ 225

kungssinn der Momente, die auf das betrachtete Tragwerk wirken, den des Urzeigers, als positiven Sinn der horizontalen Kräfte den der äusseren Kraft in D, d. h. von links nach rechts, und als positiven Sinn der vertikalen Kräfte die Richtung nach oben, so stellt die obige Tabelle die Resultate der Modellversuche und der Theorie, mit Vorzeichen behaftet, einander gegenüber.

Prof. Beggs bestimmte sowohl mechanisch als auch rechnerisch die Lage der Reaktionen verschiedener Tragwerke für einen jeweiligen Belastungsfall, bohrte auf der

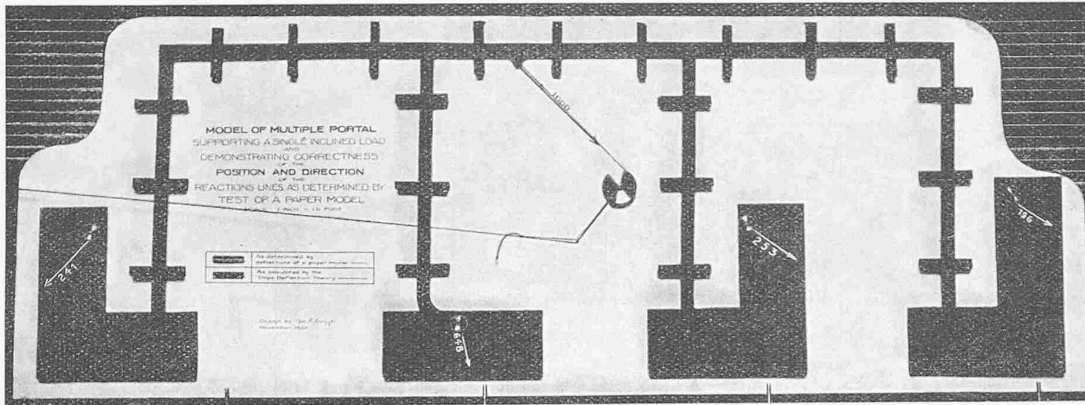


Abbildung 13.1)

Wirkungslinie dieser Kräfte auf den erweiterten Fundamenten Löcher und fixierte das Zelluloid-Modell in diesen Punkten durch Gelenkstifte. Das Modell wurde hernach mit einer veränderlichen Kraft belastet und, obgleich es sich teilweise sehr stark deformierte, blieben die Widerlager vollkommen in Ruhe, ein Beweis, dass die Kämpferdrücke durch die Gelenkpunkte verliefen (Abbildungen 13 bis 16).

Die Abbildung 14 veranschaulicht einen Zweigelenk-Bogen, der durch zwei Lasten ($1\frac{1}{2}$) beansprucht wird. Die Drucklinie des Bogens für die beiden Lasten in 2 und 3 ist gestrichelt angegeben. Der rechte Kämpfer des Zweigelenkbogens ist gelenkig gelagert, während der linke Kämpfer nach oben einen Ansatz aufweist, der oben erst gelenkig aufgehängt ist. Weil der Kämpferdruck links den Ansatz des Bogens nur rein zentrisch beansprucht, bleibt der linke Kämpfer vollkommen in Ruhe, obwohl sich der Bogen infolge der Lasten ziemlich stark deformiert.

In Abbildung 15 ist der Ansatz des linken Kämpfers für den Kämpferdruck eingestellt, der durch die Knotenlast 3 entsteht. Wieder bleibt das linke Kämpfergelenk bei der Deformation in Ruhe. Anders liegen die Verhältnisse, sobald der Kämpferdruck nicht mehr durch den Aufhängepunkt des linken Kämpfers geht, was in Abbildung 16 der Fall ist. Für die Last in 2 durchdringt der linke Kämpferdruck das unterste Stelloch, während der Ansatz im vierten Loch aufgehängt ist. In Bezug auf den Aufhängepunkt tritt ein Moment auf, das eine Verschiebung des linken Kämpfergelenkes zur Folge hat.

Die vorgeführten Modelle standen vertikal, sodass nirgends Reibungen die Deformationen verhindern oder vermindern konnten.

Herr Prof. Beggs hatte die Freundlichkeit, die Zeitschriften: „The American Architect and the Architectural Review“ Nr. 2397 vom 5. Juli 1922 und Nr. 2398 vom 19. Juli 1922 und eine Schrift des American Concrete Institute, Friesma Bldg, Detroit, Michigan, die Abhandlungen über seine Versuche enthalten, ebenso Photos der Modelle in verdankenswerter Weise der Ingenieur-Abteilung der E. T. H. zu überreichen. Neben den hier wiedergegebenen Versuchen enthalten die erwähnten Schriften noch Angaben über interessante Beispiele betr. Einfluss der Vouten auf die Auflagerkräfte und einen lehrreichen Vergleich einer amerikanischen und einer deutschen Lösung eines ähnlichen Rahmenproblems bei nur teilweiser bzw. vollkommener Kontinuität. Es sei hier auch auf die Aufsätze hingewiesen, die erschienen sind in der Zeitschrift „Beton und Eisen“ 1923, Heft 21 und im „Bauingenieur“ 1924, Heft 20.

Dass die Praxis den Wert solcher Modellversuche anerkennt, beweist die Tatsache, dass anlässlich der Studien für den im letzten Herbst begonnenen Umbau des Grandfey-Viaduktes der S. B. B., vom Brückenbau-Bureau der Generaldirektion unter der Leitung von Brückeningenieur A. Bühler zur Untersuchung des Problems der Mitwirkung der Aufbauponstruktion an der statischen Arbeit der Hauptgewölbe

neben statischen Berechnungen auch Modellversuche nach der oben besprochenen Methode von Prof. Beggs vorgenommen wurden. Das Resultat war, dass aus diesen Experimenten in einwandfreier Weise hervorging, in welchem ausgesprochenem Masse ein Zusammenarbeiten von Aufbau und Haupttragwerk stattfindet. (Forts. folgt.)

Der neue Basler Gottesacker am Hörnli.

(Schluss von Seite 146.)

Ehe wir mit der Darstellung der Hochbauten weiterfahren sei anhand des „Ratschlages“ noch einiges mitgeteilt über die Leistungsfähigkeit und die Bauausführung der in letzter Nummer vorgeführten Gesamtanlage.

Die Zahlen der in den drei verschiedenen Bauperioden der Ausführung dieser Friedhofanlage in Aussicht genommenen Grabstätten sind folgende:

	Bauperiode			Total
	I	II	III	
Reihengräber	11 082	9 250	9 250	29 582
Kindergräber	744	3 015	3 015	6 774
Familiengräber	6 205	550	550	7 305
Urnengräber und Nischen.	8 720	5 000	5 000	18 720
Arkadengräber	216			216
Insgesamt	26 967	17 815	17 815	62 597

Die spätere Belegung des Waldes mit Urnengräbern lässt sich leicht steigern, indem auf 12 m^2 ein Grab gerechnet ist; ausserdem steht das Gelände N im „Finster Boden“ noch zur Verfügung. Die vorgesehene Gesamtzahl der Begräbnisstellen ist rd. 65 100, wobei die Familiengräber und eine Anzahl Urnennischen zu je fünf Belegungen gerechnet sind. Man rechnet ferner in Basel (gegenwärtig 144 000 Einwohner) für die nächsten Jahre mit rd. 1500 Erdbestattungen und 350 Feuerbestattungen im Jahr. Bei durchschnittlich $6,5\text{ m}^2$ Bodenfläche pro Grab wird die Zahl von 44 880 Erdgräbern im Hörnli-Gottesacker dem gegenwärtigen durchschnittlichen Jahresbedarf für einen 30jährigen Turnus entsprechen. Für Näheres hierüber sei auf die Ausführungen des Ratschlages selbst verwiesen.

Es ist offensichtlich, dass kein Bedürfnis vorliegt, den Gottesacker jetzt schon in seiner ganzen Ausdehnung auszuführen; dagegen wird es des Massenausgleichs halber nötig sein, die ganze Rohplanie in der ersten Bauperiode zu erstellen. Ebenso ist es empfehlenswert, die Aufforstung aller Waldpartien in den ersten Jahren durchzuführen. Nur so wird später bei fortschreitendem Wachstum der Bäume eine einheitliche Wirkung der ganzen Anlage erreicht. Das Aufforsten kann sehr wohl vom Personal der Friedhof-Gärtnerei, das sowieso vorhanden sein muss, in einigen Jahren fertig erstellt werden.

In der ersten Bauperiode sollen fertig ausgebaut werden die Grabfelder A, B, C, D, E und K. Die Allee H sollte ebenfalls noch angepflanzt werden, weil sie, wie schon ausgeführt, neben den Gebäuden auf den Beschauer aus grösserer Distanz am stärksten wirken wird. Die Quer-Allee M mit den grossen Familiengrabstätten wird dann erstellt, wenn das Bedürfnis hierfür sich zeigt. Alle Stützmauern und anderen ähnlichen Bauten, die in das Gebiet der zweiten und dritten Bauperiode fallen, sind bei der

1) Die leider etwas undeutlichen Abb. 13 bis 16 mussten nach den uns zur Verfügung gestellten Originalen direkt clichéiert werden. Red.