

# Wahl der zulässigen Inanspruchnahme der Eisenconstruktionen mit Rücksicht auf die Wöhler'schen Festigkeits-Versuche bei wiederholter Inanspruchnahme.

Im Auszuge vorgetragen im österr. Ingenieur- und Architekten-Vereine  
im Januar 1877

von

**Dr. E. Winkler,**

Professor an der k. k. technischen Hochschule in Wien.

Zu den wundesten Punkten in der Bestimmung der Dimensionen aller zum Tragen von Lasten bestimmten Construktionen gehörte bisher anerkannterweise die Wahl der zulässigen Inanspruchnahme oder die Wahl des sogenannten Sicherheitsgrades. Während man auf der einen Seite bemüht war, in der Bestimmung der Spannungen eine möglichst grosse Genauigkeit zu erzielen, verfuhr man auf der andern Seite bei der Wahl der zulässigen Inanspruchnahme meist in einer noch ziemlich rohen Weise. Es hat dies einen doppelten Nachtheil, nämlich zunächst einen directen, indem man sich entweder einer, bei exacterem Vorgange vielleicht möglichen Oekonomisirung in der Materialmenge begibt, oder umgekehrt, Construktionen mit zu geringer Materialmenge und deshalb zu kurzer Dauer erzielt, sodann aber auch einen indirecten. Man sündigt nämlich auf die Rohheit in der Wahl der Inanspruchnahme hin ungemein viel, sowohl in der Construktion, als in der Berechnung, indem man denkt, dass die Unsicherheit, in welcher man sich bei der Wahl des Sicherheitsgrades befindet, jede Feinheit in der Construktion und Berechnung illusorisch mache. Die Erzielung einer grösseren Bestimmtheit in der Wahl der Inanspruchnahme des Materiales muss daher als ein wesentlicher Fortschritt auf dem fraglichen Gebiete bezeichnet werden. Ein solcher Fortschritt aber ist durch die höchst werthvollen Wöhler'schen Versuche über die Festigkeit bei wechselnder Inanspruchnahme entschieden erreicht worden, wenn auch auf diesem Felde noch sehr viel zu leisten übrig bleibt; die Verwerthung dieser Versuche bei der Dimensionirung der Eisenconstruktionen ist der Hauptzweck dieses Vortrages; jedoch werde ich mir erlauben, vorher einen Blick auf die bisher üblichen Methoden zu werfen.

## §. 1. Bisherige Wahl der zulässigen Inanspruchnahme.

Die Bestimmung der Querschnittsdimensionen einer Construktion erfolgte bisher meist noch in der Weise, dass man eine für eine bestimmte Gattung von Construktionen constante zulässige specifische Spannung \*) annahm, welche ein bestimmter Theil entweder der durch Versuche festzustellenden specifischen Spannung beim Bruche, oder des sogenannten Festigkeitscoëfficienten, oder der specifischen Spannung an der Elasticitätsgrenze ist. Das Verhältniss der zulässigen specifischen Spannung zum Festig-

keitscoëfficienten nennen wir den Sicherheitsgrad. Keineswegs lässt sich behaupten, dass der bisher angewendete Sicherheitsgrad durch die Erfahrung festgestellt sei. Als z. B. die ersten eisernen Brücken für Eisenbahnen gebaut wurden, hatten die Constructeure keinen weiteren Anhalt, als die vordem ausgeführten Kettenbrücken für Strassen, bei denen man eine Maximalspannung von 1200 bis 1600, für Drahtbrücken selbst 2000<sup>kg</sup> per □<sup>cm</sup> und mehr anwendete. Man ging für die Eisenbahnbrücken nach blossem Gutdünken auf ungefähr 700 bis 900<sup>kg</sup> per □<sup>cm</sup> herab, und hierbei ist man bis heute so ziemlich auch geblieben, wenn man auch mannigfach hin- und herschwankte, indem man bald kühner wurde, und die zulässige Spannung auf 1000, selbst 1300<sup>kg</sup> per □<sup>cm</sup> erhöhte, aber durch einzelne mit der Inanspruchnahme vielleicht gar nicht zusammenhängende Unfälle wieder zurückgeschreckt, in das Gegentheil verfiel. Wir stellen in folgender Tabelle die Inanspruchnahme der hauptsächlichsten älteren Eisenbahnbrücken zusammen, welche, mit den heutigen Annahmen verglichen, zeigen, dass sich in der Sache nicht viel geändert hat.

Land	Bezeichnung der Brücken	Erbauer	Jahr der Erbauung	Grösste Inanspruchnahme		
				Spannung Kgr. per □ <sup>cm</sup>	Spannung Kgr. per □ <sup>cm</sup>	
England	Britannia-Röhrenbrücken (Blechr.)	Stephenson	1846	140	885	
	Conway-Röhrenbrücke	"	1847	122	710	
	Windsor-Brücke (Bogensehnen-träger)	Brunel	1849	56	330	
	Brücke über den Wye bei Chepstow	"	1850	91	340.410	
	Brücke über den Trent bei New-Wark (Warren)	Cubitt	1851	79	850	
	Crumlin-Viaduct (Warren)	Lidel & Gordon	1853	46	693	
	Boyne-Brücke bei Drogheda (Gitter)	Barton	1855	80	790	
	Tamar-Brücke bei Saltasch	Brunel	1858	139	653	
	Frankreich	Brücke bei Asnières (Kastenblechträger)	Flachat	1852	31	500
		Brücke bei Langon (Blechträger)	—	1855	75	600
Brücke über die Garonne bei Bordeaux (Gitter)		—	1859	71	560	
Deutschland etc.	Brücke über die Isar bei Grosshesselohe	Pauli, Werder	1857	56	720	
	Brücke über den Rhein bei Mainz	Gerber	1857	105	820	
	Brücke über die Weichsel bei Dirschau	Lentze	1857	121	684	
	Brücke über die Nogat bei Marienburg	"	1857	98	684	
	Brücken über die Eipel und Gran (österr. Staatsbahn)	Ruppert	1857	57.35	646	
	Brücke über den Rhein bei Waldshut	Gerwig	1858	52	600	
	Brücke über den Inn bei Passau	—	1860	90	686.847	
	Brücke über den Rhein bei Köln	Lohse	1860	98	684	
Brücke über die Brahe bei Czersk	Schwedler	1860	25	492.573		

Wo zwei Zahlen angegeben sind, gilt die erste für Druck, die zweite für Zug. Gegenwärtig werden diese Brücken in Folge des grösseren Locomotivgewichtes zum Theil stärker beansprucht.

\*) Specifische Spannung gleichbedeutend mit Spannung per Flächeneinheit.

Wir ergänzen diese Zahlen durch einige Angaben über übliche vorgeschriebene Inanspruchnahmen bei Eisenbahnbrücken:

	Kg. pr. □ <sup>cm</sup>
England, üblich bei Behörden, Zug 5 Tonn. per □ <sup>4</sup> Druck 4 " " "	790
Frankreich, üblich für Zug und Druck . . . . .	600
In Preussen üblich 10000 alte Pfd. per □ <sup>4</sup> . . . . . oder 10000 Zoll-Pfd. " . . . . .	684 730
In Oesterreich vordem üblich 10000 Pfd. pro □ <sup>4</sup> Verordnung für Oesterreich für Eisenbahnbrücken 1870 . . . . .	800 800
Amerika, gegenwärtig üblich für Zug 10000 bis 12000 Pfd. per □ <sup>4</sup> . . . . .	703—844
Grösste, vordem im Schmiedeisen der Schiffkornischen Brücken vorkommende Spannung . . . . .	1570
Rebhann empfiehlt 1856 (1) . . . . .	670
Schwedler empfiehlt 1862 (2) 10000 Pfd. per □ <sup>4</sup> preuss. . . . .	684
Comité des österr. Ingenieur- und Architekten-Vereines empfiehlt 1866 (3) . . . . .	790
H. Schmidt empfiehlt 1866 (5) für Hauptträger	700—800

Eine wesentliche Veränderung der jetzt üblichen Zahlen ist allerdings nicht denkbar. Geringer braucht man die Beanspruchungen durchschnittlich nicht zu wählen, da die bestehenden guten Eisenconstructions in Folge zu starker Inanspruchnahme keine nachtheiligen Veränderungen gezeigt haben. Aber auch eine wesentlich stärkere Beanspruchung erscheint nicht wohl zulässig, weil bei einer Erhöhung auf das Doppelte nahezu die Elasticitätsgrenze erreicht würde, und eine Erhöhung der Beanspruchung bis nahe auf das Doppelte unter Umständen factisch möglich ist. Immerhin aber muss der bisherige Vorgang noch als ein roher bezeichnet werden, weil man bei der Wahl der zulässigen Beanspruchung nicht alle Umstände, welche auf dieselbe Einfluss üben, gehörig berücksichtigt. In der Regel berücksichtigt man nur die Eigenthümlichkeiten der verschiedenen Materialien, die mehr oder minder lange beabsichtigte Dauer und die mehr oder minder grossen, bei der Wirkung der Kräfte auftretenden Stösse. In diesem Sinne wurde die Wahl des Sicherheitsgrades *n* für Hochbau- und Bauconstructions zuerst von Rebhann 1856 (1) präcisirt, indem er vorschrieb:

Umstände	Sicherheitsgrad <i>n</i> für					
	Holz		Schmiedeisen		Gusseisen	
	Zug	Druck	Zug	Druck	Zug	Druck
Günstigste Umstände . . . . .	4.0	2.7	2.5	2.0	2.2	4.1
Kurze Dauer bei mässigen Erschütterungen . . . . .	5.0	3.3	—	—	—	—
Lange Dauer bei mässigen Erschütterungen . . . . .	10.0	6.7	3.0	2.4	3.6	5.0
Lange Dauer bei starken Erschütterungen . . . . .	—	—	6.0	4.8	—	—

Für die damalige Zeit war eine grössere Vollkommenheit nicht denkbar, da insbesondere die Erfahrungen in Eisenconstructions noch zu ungenügend waren. Jetzt lässt

sich indess behaupten, dass einzelne Umstände früher gar nicht oder zu wenig Berücksichtigung gefunden haben, und dass es theilweise heute noch so ist. Es sind dies namentlich die folgenden Umstände:

a) Die Genauigkeit der Berechnung. Ein Sicherheitsgrad ist zum Theil deshalb nothwendig, weil man mit Rücksicht auf die specielle Constructionsweise oder die Unbestimmtheit der Kraftäusserungen nicht immer in der Lage ist, die Spannungen genau zu bestimmen. Offenbar wird man den Sicherheitsgrad um so kleiner wählen, je genauer sich die Spannungen bestimmen lassen; so z. B. wären aus diesem Grunde die Amerikaner berechtigt, in ihren mit gelenkartigen Verbindungen durchgeführten Brückenconstructions einen kleineren Sicherheitsgrad anzuwenden, als wir es bei unseren mit festen Nietverbindungen construirten Brücken thun dürfen. Leider lässt dieser Punkt auch jetzt noch so Manches zu wünschen übrig, und es steht hierin sowohl der Theorie, als dem Experimente, noch ein grosses Feld offen.

b) Die Stösse. Man pflegt die Constructions für eine ruhende Last nach rein statischen Gesetzen zu berechnen, während doch die Kräfte stossweise wirken können. Diese Stösse wirken in doppelter Weise, einmal, indem sie die Spannungen vergrössern, sodann aber auch, weil sie durch die von ihnen hervorgerufenen, schnell aufeinander folgenden Spannungsunterschiede die Festigkeit des Materiales vermindern. Unter den Bauconstructions sind es hauptsächlich die Brücken, welche eine Berücksichtigung der Stösse erfordern; allein dieselbe erfolgte bisher meist in ungenügender Weise. Man machte gewöhnlich nur einen Unterschied zwischen Eisenbahn- und Strassenbrücken, indem man z. B. bei ersteren eine fünffache, bei letzteren eine nur vierfache Sicherheit anwendete, während doch selbst bei Eisenbahnbrücken der Einfluss der Stösse, je nach der Spannweite und dem Verhältnisse des Eigengewichtes zur zufälligen Last, sehr verschieden sein kann. Wir gehen hierauf in §. 6 etwas näher ein.

c) Die Geschwindigkeit hat einestheils Einfluss auf die Grösse der Stösse, vermehrt aber auch, selbst wenn keine Stösse entstehen, die Beanspruchung durch die dynamische Wirkung der die Brücke passirenden Last. Indess haben Theorie, sowie eigends zu diesem Zwecke angestellte Versuche und die zahlreichen Brückenproben gelehrt, dass dieser dynamische Einfluss bei Brücken von grösserer Spannweite, selbst bis zu 10<sup>m</sup> Spannweite herab, so gering ist, dass er bei der Berechnung der Brücke unberücksichtigt bleiben kann. Die Theorie und auch die Beobachtung zeigen, dass bei sehr kleinen Spannweiten, z. B. Querträgern und Eisenschienen, bei 18<sup>m</sup> Geschwindigkeit sich die Beanspruchung bis auf etwa 25% erhöhen kann. Hier müsste also der Sicherheitsgrad entsprechend vergrössert werden, wenn man die Rechnung nur nach statischen Gesetzen durchführen will. Träger mit stärkerer Durchbiegung verhalten sich in dieser Beziehung ungünstiger, als solche mit kleinerer Durchbiegung, so dass hier die Trägerhöhe und das Trägersystem in Frage kommt. Auf ein weiteres Eingehen auf diesen Einfluss will ich indess verzichten. (Siehe: *Annales des ponts et chaussées* 1861. — Borneman's

Civil-Ingenieur 1862. — Erbkam's Zeitschrift für Bauwesen 1862. — *Bresse; mécanique appliquée.*)

d) Vergrößerung des Raddruckes. Der Raddruck der Locomotiven und Wagen wird durch die schwingende Bewegung, welche die Federn gestatten, vergrößert und vermindert; bei den Locomotiven kommt hierzu auch die Veränderung des Druckes durch die schiefe Lage der Schubstange und die Centrifugalkraft der Balancir-Gewichte. Bei zweiachsigen Fahrzeugen kann man das Maximum der Vermehrung und Verminderung zu etwa 40% annehmen; bei dreiachsigen Locomotiven beträgt dieselbe nach Versuchen von Weber sogar gegen 100% (?). Da beim Aufahren eines Zuges auf eine Brücke aus verschiedenen Ursachen (verschiedene Elasticität der Bettung, der Abschlussmauer und des Eisens, Absätze in Folge von Temperatur-Aenderungen, sowie Dilatations-Vorrichtungen) starke Unregelmässigkeiten der Geleise wirklich vorkommen können, so ist die Möglichkeit einer so starken Erhöhung des Raddruckes keineswegs ausgeschlossen. Nehmen wir an, dass sich der Druck eines Locomotivrades um 100% erhöht, so erhöht sich bei einer Spannweite von 3, 4, 5, 10, 20, 40<sup>m</sup> die Beanspruchung um bezüglich 80, 60, 50, 40, 25, 14%. Indess ist mit einer Vergrößerung des einen Raddruckes in der Regel eine Verminderung des anderen Raddruckes verbunden, wodurch die Wirkung abgeschwächt wird. Nehmen wir an, dass sich bei einer dreiachsigen Locomotive der Druck der einen äusseren Achse um 100% vermehrt, der der anderen äusseren Achse um 100% vermindert, so ist die Erhöhung der Beanspruchung bei den vorhin angegebenen Spannweiten nur bezüglich 72, 40, 28, 11, 3, 1%. Auch hierüber wären weitere Versuche sehr erwünscht.

e) Wiederholte Beanspruchung. Es ist eine schon längst aus verschiedenen Erscheinungen bekannte Thatsache, dass ein Körper um so leichter, d. h. bei um so kleinerer Spannung zerbricht, je öfter die Beanspruchung wiederholt wird. Eine genauere Berücksichtigung dieser Erscheinung war früher nicht möglich, weil das Gesetz derselben nicht bekannt war; erst die Wöhler'schen Versuche haben Klarheit in die Beurtheilung dieser höchst wichtigen Erscheinung gebracht. Allein so viel war bisher klar, dass die von der zufälligen Last erzeugten Spannungen in dieser Hinsicht besonders in Frage kommen, da sie eben zwischen gewissen Grenzen wechseln, dass also bei Feststellung der zulässigen Inanspruchnahme die zufällige Last eine grössere Berücksichtigung verdient, als das Eigengewicht. Da nun die zufällige Last gegenüber dem Eigengewichte um so grösser wird, je kleiner die Spannweite ist, so erscheint bei kleinen Spannweiten ein grösserer Sicherheitsgrad oder eine kleinere zulässige Inanspruchnahme angezeigt, als bei grösseren.

Wir sehen also, dass sowohl die Stösse, die Geschwindigkeit der Fahrt, die Vergrößerung des Druckes der Räder, als die wiederholte Beanspruchung, um so ungünstiger wirken, je kleiner das Eigengewicht gegen die zufällige Last, oder je kleiner die Spannweite ist, dass es also ganz ungerechtfertigt erscheint, für alle möglichen Spannweiten ein und denselben Sicherheits-

grad anzuwenden, wie es meistens geschehen ist und unbegreiflicher Weise noch geschieht.

Mehr sachgemässe Annahmen machte zuerst Gerber, indem er die Berechnung in der Weise durchführte, dass das Eigengewicht und die dreifache zufällige Belastung das Eisen bis zur Elasticitätsgrenze, nämlich bis zu 1600<sup>kg</sup> per □<sup>cm</sup>, anstrengen (Gerber, die Eisenbahnbrücke über den Rhein bei Mainz, 1863). Bezeichnet man die vom Eigengewichte erzeugte Spannung eines Theiles mit  $P_0$ , die von der zufälligen Last erzeugte mit  $P_1$ , so wäre demnach die Querschnittsfläche  $f$  dieses Theiles

$$1. \quad f = \frac{P_0 + 3P_1}{1600} = \frac{P_0}{1600} + \frac{P_1}{533}$$

Ist  $K$  die Inanspruchnahme per Flächeneinheit bei ruhender Belastung, so ist

$$f = \frac{P_0 + P_1}{K},$$

also

$$2. \quad K = 1600 \frac{P_0 + P_1}{P_0 + 3P_1} \text{ Klgr. per } \square^{\text{cm}}$$

Für einzelne Spannweiten  $l$  ergibt sich hiernach beiläufig:

$$l = 10 \quad 20 \quad 40 \quad 60 \quad 80 \quad 100 \quad 120 \quad 140^{\text{m}}$$

$$P_0 = 0.18 \quad 0.24 \quad 0.42 \quad 0.56 \quad 0.78 \quad 1.03 \quad 1.35 \quad 1.69 \cdot P_1$$

$$K = 593 \quad 612 \quad 664 \quad 701 \quad 754 \quad 806 \quad 865 \quad 918 \text{ Klgr. per } \square^{\text{cm}}$$

Nach diesen Principien sind von der Brückenbau-Anstalt von Klett & Comp. in Nürnberg viele Brücken erbaut worden.

Ein ähnliches Verfahren ist vereinzelt auch in Amerika in Anwendung, wo man die zufällige Last mit 1.5 oder 2 multiplicirt, und alsdann eine entsprechend höhere Inanspruchnahme wählt. Man pflegt daselbst auch für die den Stössen mehr direct ausgesetzten Theile entweder die zufällige Last um 10 bis 30% zu vermehren, oder die zulässige Inanspruchnahme entsprechend kleiner anzunehmen.

Der englische Ingenieur B. Baker (11) führt bei abnehmender Spannweite sowohl eine Vergrößerung der zufälligen Last, als eine Verminderung der Inanspruchnahme ein. Als zufällige Last  $p$  per laufenden Meter eines Eisenbahngeleises nimmt er bei der Spannweite  $l$  an:

$$l = 3 \quad 5 \quad 10 \quad 20 \quad 30 \quad 40 \quad 50 \quad 60 \quad 80 \quad 100^{\text{m}}$$

$$p = 10.8 \quad 8.7 \quad 6.8 \quad 4.9 \quad 4.6 \quad 4.3 \quad 3.9 \quad 3.8 \quad 3.6 \quad 3.3 \text{ Tonn. per Mtr.}$$

Diese Last vermehrt er für:

$$l = 3 \quad 5 \quad 10 \quad 20 \quad 30^{\text{m}}$$

$$\text{um } 20 \quad 14 \quad 7 \quad 3 \quad 0\%.$$

Die zulässige Spannung nimmt er normal zu 5 Tonn. per □<sup>cm</sup> = 790<sup>kg</sup> per □<sup>cm</sup> an, und vermindert dieselbe für

$$l = 3 \quad 5 \quad 10 \quad 20 \quad 30 \quad 40 \quad 50 \quad 60^{\text{m}}$$

$$\text{um } 20 \quad 19 \quad 16 \quad 13 \quad 10 \quad 7 \quad 2 \quad 0\%.$$

Er begründet dieses Verfahren ohne eingehendere Untersuchungen durch die Wirkung der Stösse, der Geschwindigkeit, der Vergrößerung des Raddruckes und der wiederholten Beanspruchung. Diesem würde nach der gewöhnlichen Auffassung entsprechen:

$$l = 3 \quad 10 \quad 20 \quad 40 \quad 60 \quad 80 \quad 100^{\text{m}}$$

$$K = 535 \quad 587 \quad 671 \quad 735 \quad 790 \quad 790 \text{ 790}^{\text{kg}} \text{ per } \square^{\text{cm}}$$

Ich selbst benutzte seit etwa zehn Jahren zur Bestimmung von  $K$  für eiserne Eisenbahnbrücken die folgende Regel:

$$3. K = \frac{870}{1 + 5 \frac{p}{p+g} \sqrt{\frac{h}{l}}} \text{ Klgr per } \square^{\text{cm}}.$$

Hierin bedeutet  $l$  die Spannweite in Metern,  $h$  die Trägerhöhe in Metern,  $g$  das Eigengewicht,  $p$  die zufällige Last per laufenden Meter. Diese Formel ist nach den Näherungsregeln der Stossfestigkeit in der Weise entwickelt, dass die Spannung  $800^{\text{kg}}$  per  $\square^{\text{cm}}$  beträgt, wenn ein Theil der zufälligen Last eine kleine Höhe herabfällt. Nach dieser Regel ergibt sich für einige Spannweiten:

$$l = 10 \quad 20 \quad 40 \quad 60 \quad 80 \quad 100 \quad 120 \quad 140^{\text{m}}$$

$$g = 0.18 \quad 0.24 \quad 0.42 \quad 0.56 \quad 0.78 \quad 1.03 \quad 1.35 \quad 1.69 \cdot p$$

$$\frac{l}{h} = \left\{ \begin{array}{l} 10 : K = 611 \quad 676 \quad 740 \quad 770 \quad 791 \quad 810 \quad 820 \quad 830 \\ 8 : K = 590 \quad 659 \quad 727 \quad 760 \quad 782 \quad 802 \quad 812 \quad 821 \end{array} \right\} \text{ Klgr. per } \square^{\text{cm}}.$$

Setzt man

$$f = \frac{P_0 + P_1}{K}$$

und für  $K$  den Ausdruck 3, so wird, da sich  $P_0 : P_1 = g : p$  verhält,

$$4. f = \frac{P_0 + P_1 \left( 1 + \frac{5 \sqrt{h}}{l} \right)}{570}$$

Von dem Gerber'schen Ausdrucke unterscheidet sich dieser Ausdruck in der Form nur dadurch, dass dort der Factor von  $P_1$  constant = 3, hier dagegen variabel (zwischen 1.13 und 1.60) ist.

Auch manche andere Ingenieure führten bisher eine je nach der Spannweite variable Inanspruchnahme schätzungsweise ein; so z. B. sagt Laissle und Schübler (Bau der Brückenträger, IV. Auflage, Stuttgart 1874), dass man durchschnittlich folgende zulässige Spannungen anwende:

Für kleine	Brücken	$K = 600^{\text{kg}}$	per $\square^{\text{cm}}$
" mittelgrosse	"	$K = 700^{\text{kg}}$	"
" grosse	"	$K = 800^{\text{kg}}$	"

Als im Jahre 1869 vom k. k. österreichischen Ministerium eine Verordnung über die bei Erbauung eiserner Brücken zu beobachtenden Sicherheitsrücksichten erlassen werden sollte, wurde unter Anderem auch von dem österr. Ingenieur- und Architekten-Vereine ein Entwurf hierzu vorgelegt (\*). In demselben wird als zulässige Spannung des Schmiede Eisens für Eisenbahnbrücken 100 österr. Ctr. per  $\square^{\text{cm}} = 800^{\text{kg}}$  per  $\square^{\text{cm}}$ , für Strassenbrücken 125 Ctr. per  $\square^{\text{cm}} = 1000^{\text{kg}}$  per  $\square^{\text{cm}}$  verlangt. Diesem wurde auch in dem von der k. k. General-Inspection der Eisenbahnen ausgearbeiteten Gesetzentwürfe beige pflichtet. Als das Polytechnikum in Wien vom Handelsministerium um eine Beurtheilung dieser Gesetzentwürfe ersucht wurde, wurde in dem vom Professor Rebhann und mir verfassten Gutachten (\*) auf die Unzulänglichkeit dieser Zahlen hingewiesen; in demselben wurde überhaupt keine bestimmte Inanspruchnahme vorgeschlagen, weil man der Meinung war, dass bei der grossen Verschiedenheit des Eisens ein Gesetz keine bestimmte Zahl vorschreiben könne; es wurde vielmehr nur ein bestimmter Sicherheitsgrad  $n$  in Vorschlag gebracht, und zwar:

Hauptträger	Eisenbahnbrücken	Strassenbrücken
Spannweite		
bis 6.3 <sup>m</sup>	$n = 6$	$n = 4$
von 6.3 bis 19.0 <sup>m</sup>	$n = 5\frac{1}{2}$	$n = 3\frac{3}{4}$
über 19.0 <sup>m</sup>	$n = 5$	$n = 3\frac{1}{2}$
Querträger	$n = 6$	$n = 4$

Wir hätten am liebsten einen continuirlich veränderlichen Sicherheitsgrad vorgeschlagen, glaubten aber, den Antrag in dieser Form am ehesten durchzubringen, da man es nicht liebt, in Gesetzen algebraische Formeln oder viele Zahlen zu haben. Unser Bemühen, der Wissenschaft Geltung zu verschaffen, blieb aber erfolglos. Denn in der kurz darauf vom k. k. Handelsministerium erlassenen und jetzt noch in Kraft stehenden Verordnung vom 30. August 1870 heisst es:

„§. 3. Unter Zugrundelegung der in §. 2 bestimmten zufälligen Belastung und des Eigengewichtes der Construction darf sich bei Zug, Pressung oder Schub keine höhere Inanspruchnahme des Schmiede Eisens ergeben, als  $800^{\text{kg}}$  pro  $\square^{\text{cm}}$  nutzbare Querschnittsfläche (d. i. nach Abzug der Nietlöcher). Bei Berechnung des Widerstandes der Nieten ist diese Zahl auf wenigstens  $600^{\text{kg}}$  herabzusetzen.“

## §. 2. Versuche über die Wirkung wiederholter Beanspruchung.

Die ersten Versuche über den Einfluss wiederholter Beanspruchung wurden in England durch Fairbairn im Jahre 1849 angestellt, und zwar zunächst mit Gusseisenträgern von 1.4<sup>m</sup> Spannweite. Es zeigte sich hierbei, dass bei 0.66 bis 0.81 derjenigen Last  $L$ , welche den Bruch sogleich herbeigeführt, sich die Durchbiegung im ersten Jahre vergrösserte, in den nächsten vier Versuchsjahren aber allmähig mehr constant wurde. Ferner wurden auf Träger mit 1.4 bis 4.3<sup>m</sup> Spannweite wiederholte Stösse ausgeübt, welche den Träger halb so stark bogen, als die Bruchbelastung  $L$ ; hier erfolgte ein Bruch nach etwa 4000 Schlägen.

Wichtiger für uns sind die Versuche, welche Fairbairn in den Jahren 1860 und 1861 mit einem 6<sup>m</sup> weit freiliegenden Blechträger anstellte (\*). Bei einer Beanspruchung mit  $703^{\text{kg}}$  per  $\square^{\text{cm}}$  hielt der Träger 0.6 Millionen, sodann bei  $914^{\text{kg}}$  per  $\square^{\text{cm}}$  0.4 Millionen Belastungswechsel aus, ohne dass sich Veränderungen zeigten; als aber die Spannung auf  $1290^{\text{kg}}$  per  $\square^{\text{cm}}$  gebracht wurde, brach der Träger bereits nach 5175 Belastungswechseln, während er doch bei ruhender Last erst bei einer Spannung von mindestens  $3000^{\text{kg}}$  per  $\square^{\text{cm}}$  gebrochen sein würde.

Allein erst die Wöhler'schen Versuche bieten das Mittel, bestimmte Schlüsse zu ziehen.

Bereits im Jahre 1858 sprach Wöhler, k. preuss. Maschinenmeister, die Nothwendigkeit von Versuchen mit wiederholten Beanspruchungen aus; er hatte hierbei allerdings zunächst die Eisenbahnwagen-Achsen im Auge. In den Jahren 1859 bis 1870 führte nun Wöhler sehr ausgedehnte Versuche in diesem Sinne bei verschiedenen Be-



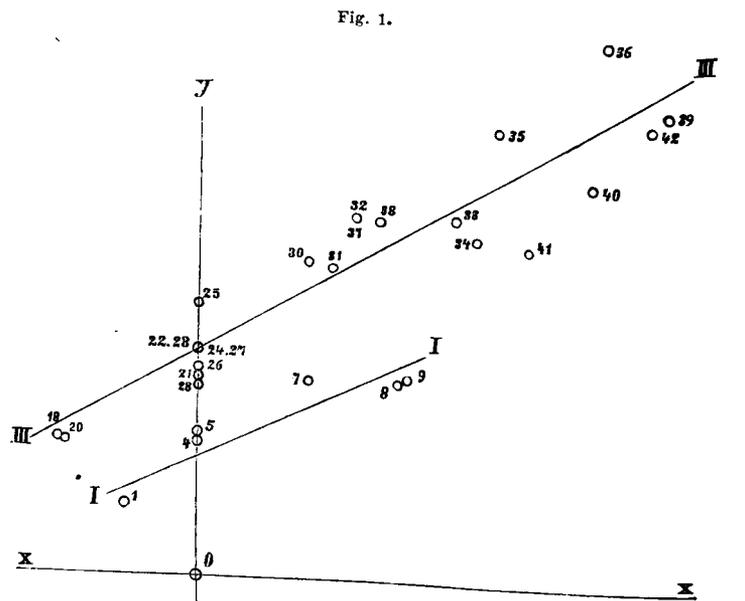
Beobachter	Lauf. Nr.	Material	Beanspruchungsweise	Spannung				
				Zoll-Ctr. per □ " preuss.		Tonnen per □ <sup>cm</sup>		
				Min.	Max.	Min.	Max.	
Wöhler	32	Stab aus Gussfederstahl..	Biegung	+ 400	800	+ 2.92	5.85	
	33	" " " ..	"	+ 560	800	+ 4.09	5.85	
	34	" " " ..	"	+ 600	900	+ 4.38	6.58	
	35	" " " ..	"	+ 660	1000	+ 4.82	7.37	
	36	" " " ..	"	+ 900	1200	+ 6.58	8.77	
	37	Gussstahlachse, schlanke Hohlkehle 1862.....	Zug	+ 350	800	+ 2.56	5.85	
	38	Gussstahlachse, schlanke Hohlkehle 1862.....	"	+ 400	800	+ 2.92	5.85	
	39	Gussstahlachse (Mittel aus drei Versuchen) 1862..	Ruh. Zug	+1042	1042	+ 7.62	7.62	
	40	Gussstahlachse (Mittel aus zwei Versuchen) 1853..	"	+ 875	875	+ 6.40	6.40	
	41	Gussstahlblech.....	"	+ 730	730	+ 5.34	5.34	
	42	Gussstahlschiene 1864...	"	+1010	1010	+ 7.38	7.38	
	W. Spangenberg	43	Gussstahl vom Bochumer Verein. Achse, schlanke Hohlkehle	Biegung	- 260	260	- 1.90	1.90
44		" " " ..	"	0	450	0	3.29	
45		Achse.....	Ruh. Zug	+ 885	885	+ 6.47	6.47	
46		Gussstahl von Vickers and Sons. Achse, schlanke Hohlkehle	Biegung	- 220	220	- 1.61	1.61	
47		Achse.....	Ruh. Zug	+ 580	580	+ 4.24	4.24	
48		Stahl von Firth and Sons. Werkzeugstahl, schlanke Hohlkehle.....	Biegung	- 220	220	- 1.61	1.61	
49		Gussstahl.....	"	- 240	240	- 1.75	1.75	
50		Stahl.....	"	0	450	0	3.29	
51		Gussstahl.....	Zug	0	460	0	3.36	
52		Werkzeugstahl.....	Ruh. Zug	+1150	1150	+ 8.40	8.40	
Wöhler		53	Gussstahl von Borsig. Achse, schlanke Hohlkehle	Biegung	- 250	250	- 1.83	1.83
		54	" " scharf abgesetzt ..	"	- 200	200	- 1.46	1.46
	55	Gussstahlblech.....	Ruh. Zug	+ 690	690	+ 5.04	5.04	
	56	Achse.....	"	+ 802	802	+ 5.86	5.86	

So werthvoll diese Versuche auch sind, so sind sie doch zur vollständigen Lösung der fraglichen Aufgabe für Bauconstructions noch keineswegs ausreichend. Hierzu würden etwa die folgenden Ergänzungen nothwendig werden: 1. Versuche mit dem in den Bauconstructions angewendeten Materiale, insbesondere Flach- und Formeisen; 2. Ausdehnung der Versuche auf Zerdrückung; 3. desgleichen auf Abscheeren und 4. Constatirung des Einflusses der Zeitdauer zwischen den Beanspruchungen. Bei den citirten Versuchen war diese Zeitdauer eine sehr kurze; es ist aber wahrscheinlich, dass die Anzahl der zum Bruche nöthigen Beanspruchungen, oder dass die Arbeitsfestigkeit etwas geändert wird, wenn dem Materiale mehr Zeit gelassen wird, in seine frühere Form zurückzukehren, oder wenn die Maximalspannung länger anhält u. s. w. Auch ist mehr Werth auf Versuche mit blossem Zuge oder Drucke, als auf Biegungsversuche zu legen, weil es bei letzteren

nicht möglich ist, die Spannungen genau zu bestimmen; denn die von Wöhler benützten Formeln gelten streng genommen nur innerhalb der Elasticitätsgrenze.

§. 3. Näherungsgesetz für die Arbeitsfestigkeit für Zug und Druck.

Um nun diese Versuchsergebnisse für die Bestimmung der Querschnittsdimensionen von Eisenconstructions anwenden zu können, wird es zunächst nothwendig, sie in ein bestimmtes mathematisches Gesetz zu bringen. Trägt man zu diesem Zwecke nach den soeben mitgetheilten Versuchsergebnissen die Minimalspannung *C* als Abscisse, die zugehörige Maximalspannung, welche einen Bruch erst bei



einer ungemein grossen Anzahl von Beanspruchungen herbeiführt, oder die Arbeitsfestigkeit *A* als Ordinate auf, (Fig. 1), so sieht man, dass die erhaltenen Punkte bei gleichartigem Materiale nahezu in einer geraden Linie liegen. Wir können daher annähernd

5.  $A = U + \alpha C$

setzen, wenn *U* und  $\alpha$  noch näher zu bestimmende Constanten bezeichnen. *U* ist die Maximalspannung, welche nach ungemein vielen Beanspruchungen den Bruch herbeiführt, wenn bei jeder Beanspruchung die Spannung mit Null beginnt; Launhardt nennt daher die Spannung die Ursprungsfestigkeit. Bezeichnen wir die Spannung, welche bei ruhender Belastung den Bruch herbeiführt, und welche wir (mit Weyrauch) zum Unterschiede Tragfestigkeit für Zug, Druck und Schub nennen wollen, für Zug mit *Z*, so muss *A* in *T* übergehen, wenn  $C = T$  ist. Demnach ist  $Z = U + \alpha Z$ , also

6.  $U = (1 - \alpha) Z$ .

Benützen wir zunächst für Eisen die Versuche Nr. 1, 4, 5, 7, 8, 9, so erhalten wir die Zahlen:

	Beobachtet:	Berechnet:
$C = - 1.17$	$A = + 1.17$	$A = + 1.47$
0	+ 2.27	+ 2.02
+ 1.75	+ 3.22	+ 2.84
+ 3.26	+ 3.26	+ 3.55

Nach der Methode der kleinsten Quadratsummen ergibt sich hieraus  $U = 2.02$  und  $\alpha = 0.47$ , also

$$A = 2.02 + 0.47 C.$$

Benützen wir ferner für besseres Eisen die Versuche Nr. 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, so erhalten wir als Mittel bei constantem  $C$  die Zahlen:

	Beobachtet:	Berechnet:
$C = -1.68$	$A = +1.68$	$A = +1.77$
$0$	$+2.63$	$+2.49$
$+4.28$	$+4.28$	$+4.33$

Hieraus ergibt sich  $U = 2.49$ ,  $\alpha = 0.43$ , also

$$A = 2.49 + 0.43 C.$$

Für Gussstahl benützen wir zunächst die Versuche Nr. 18, 20 bis 24, 26, 28, 29, 30 bis 35, 37, 39, 42; diese geben die Zahlen:

	Beobachtet:	Berechnet:
$C = -2.27$	$A = +2.27$	$A = +2.43$
$0$	$+3.49$	$+3.72$
$+2.76$	$+5.61$	$+5.29$
$+4.61$	$+6.94$	$+6.35$
$+7.50$	$+7.50$	$+8.00$

Hieraus ergibt sich nach der Methode der kleinsten Quadratsummen

$$A = 3.72 + 0.57 C.$$

Endlich geben noch die Versuche Nr. 43 bis 53 und 56 die Zahlen:

	Beobachtet:	Berechnet:
$C = -1.74$	$A = +1.74$	$A = +1.98$
$0$	$+3.31$	$+2.95$
$+6.24$	$+6.24$	$+6.44$

hieraus ergibt sich

$$A = 2.95 + 0.56 C.$$

Aus diesen vier Formeln ergibt sich als Tragfestigkeit für Zug  $Z = \frac{U}{1-\alpha}$  bezüglich 3.81, 4.37, 8.65, 6.70.

Nach den gefundenen Regeln können wir für Eisen  $A = U + 0.45 C$ , für Stahl  $A = U + 0.56 C$  setzen; nun aber wird  $U = (1 - \alpha) Z$ , also bezüglich 0.55  $Z$  und 0.44  $Z$ , mithin können wir jetzt setzen:

$$7. \begin{cases} \text{Schmiedeeisen} & A = 0.55 Z + 0.45 C, \\ \text{Gussstahl} & A = 0.44 Z + 0.56 C, \end{cases}$$

und diese Formeln lassen sich anwenden für alle positiven Werthe von  $C$ , sowie auch für negative Werthe von  $C$ , sobald hierbei  $A$  nicht  $\leq -C$  wird, d. i. beim Eisen bis zu  $C = -0.38 Z$ , beim Stahle bis zu  $C = -0.28 Z$ .

Für Druck wird man, bis weitere Versuche vorliegen, entsprechend dem für Zug aufgestellten Ausdrucke  $A = (1 - \alpha) Z + \alpha C$  setzen können:

$$8. A = (1 - \alpha_1) D + \alpha_1 C,$$

wenn  $D$  die Tragfestigkeit für Druck bedeutet. Bezeichnen wir die Arbeitsfestigkeit für den Fall, dass der Maximalzug gleich dem Maximaldrucke ist, mit  $G$ , so gibt die erste Formel  $G = (1 - \alpha) Z - \alpha C$ , also  $G = \left(\frac{1 - \alpha}{1 + \alpha}\right) Z$ ;

die zweite Formel gibt  $G = \frac{1 - \alpha_1}{1 + \alpha_1} D$ . Beide Werthe für  $G$  müssen aber gleich sein. Dies gibt:

$$9. \alpha_1 = \frac{(1 + \alpha) D - (1 - \alpha) Z}{(1 + \alpha) D + (1 - \alpha) Z}.$$

Setzen wir für Schmiedeeisen  $\alpha = 0.45$ ,  $D = \frac{7}{8} Z$ ,

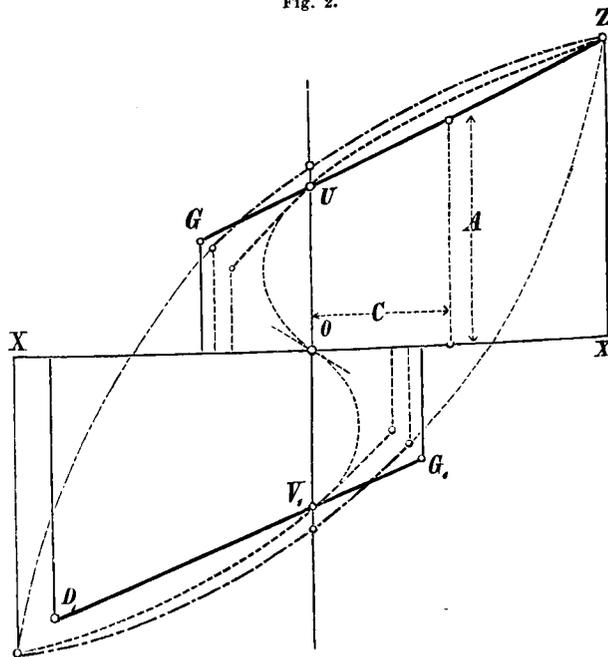
für Stahl  $\alpha = 0.56$ ,  $D = \frac{5}{4} Z$ , so wird bezüglich  $\alpha_1 = 0.40$  und  $\alpha_1 = 0.63$ , also

$$10. \begin{cases} \text{Schmiedeeisen} & A = 0.60 D + 0.40 C, \\ \text{Stahl} & A = 0.37 D + 0.63 C. \end{cases}$$

In Figur 2 haben wir das Gesetz graphisch dargestellt, indem wir  $C$  als Abscisse,  $A$  als Ordinate aufgetragen haben; es entstehen hierdurch die ausgezogenen Geraden  $GZ$  und  $G_1 D_1$ . Zum Vergleiche haben wir auch das von Gerber und Launhardt angenommene Gesetz, ersteres durch eine strichpunctirte, letzteres durch eine gestrichelte Linie dargestellt; wir gehen hierauf später etwas näher ein.

Es ist sehr möglich, ja sogar wahrscheinlich, dass das von uns angenommene Gesetz nicht das richtige ist. Wenn überhaupt für den Fall, dass  $C$  negativ ist, dasselbe Gesetz gilt, wie bei positivem  $C$ , so muss jedenfalls an die Stelle der von uns angenommenen Geraden eine Curve treten, weil ja für  $C = +Z$  auch  $A = +Z$  und für  $C = -D$  auch  $A = -D$  werden muss, welche Bedingung nur eine durch den Coordinaten-Anfang gehende Gerade erfüllen würde; es ist indess nicht denkbar, dass für  $C = 0$  auch  $A = 0$  wird. Ja die für ein und dieselbe

Fig. 2.



Materialgattung in der Weise von Fig. 1 aufgetragenen Punkte deuten sogar auf eine solche Curve hin. Es hat demnach die Gerber'sche Curve viel mehr Wahrscheinlichkeit für sich. So lange man indess dem wahren Gesetze durch weitere Versuche nicht näher kommt, erscheint eine möglichst grosse Einfachheit geboten, namentlich deshalb, weil man hierdurch die allgemeine Einführung dieser neuen Berechnungsweise fördert. Dieser Umstand ist nicht zu unterschätzen, weil man es in dieser Angelegenheit vielfach mit Behörden zu thun hat, und daran gelegen sein muss, die gesetzlichen Bestimmungen entsprechend zu ändern. Wenn das von Herrn Gerber auf Grundlage seiner aufgestellten Theorie bearbeitete Programm von den mass-

gebenden bairischen Behörden angenommen wurde, so wird dies nicht in allen Ländern so leicht gehen. Haben wir ja hier nicht einmal vermocht, einen mit der Spannweite veränderlichen Sicherheitsgrad durchzusetzen. Diese Rücksichten allein bewogen mich, den von Gerber und Launhardt gemachten Vorschlägen einen neuen an die Seite zu stellen.

Für Constructionen mit beschränkter Dauer, z. B. Eisenbahnschienen und provisorische Constructionen, dürfen die für Arbeitsfestigkeit aufgestellten Regeln natürlich nicht ohne Weiteres angewendet werden.

Mehr noch würde man der Wahrheit nahekommen, wenn man zwei gerade Linien, die eine für positive  $C$ , die andere für negative  $C$  voraussetzen würde. Die weitere Anwendung auf die Querschnittsberechnung würde dadurch in keiner Weise erschwert. Allein auch hiervon haben wir Abstand genommen, da für negative Werthe von  $C$  noch zu wenig Versuche vorliegen.

§. 4. Anwendung auf Schubfestigkeit.

Direct über Schubfestigkeit angestellte Versuche mit wiederholten Beanspruchungen liegen zur Zeit noch nicht vor. Wir müssen uns daher zunächst mit ein paar Versuchsresultaten Wöhler's über Torsionsfestigkeit von Stahlachsen von Krupp und entsprechenden Resultaten über die Schubfestigkeit bei ruhendem Drucke behelfen. Diese gaben, wenn  $C'$  und  $A'$  die eingrenzenden Schubspannungen bedeuten, bei denen ein Bruch nach ungemein vielen Beanspruchungen erfolgt:

	Beobachtet:	Berechnet:
$C' = -1.60$	$A' = +1.60$	$A' = +1.81$
$C' = 0$	$A' = +2.78$	$A' = +2.47$
$C' = +4.93$	$A' = +4.93$	$A' = +4.12$

Hieraus ergibt sich

$$A' = 2.56 + 0.50 C',$$

während wir für dieselbe Stahlsorte für Zug  $A = 3.72 + 0.57 C$  erhalten hatten. Da indess das aus diesen wenigen Versuchen abgeleitete Resultat noch zu wenig Vertrauen verdient, so wollen wir vorläufig die für Eisen und Stahl für Zug gefundenen Werthe für  $\alpha$  auch für Schub anwenden, so dass wir für Eisen  $A' = U' + 0.45 C$ , für Stahl  $A' = U' + 0.56 C$  setzen können. Bezeichnen wir die Schubfestigkeit bei ruhendem Schube oder die Tragfestigkeit für Schub mit  $S$ , so wird bezüglich  $U' = 0.55 S$ ,  $0.44 S$ , also

$$11. \begin{cases} \text{Schmiedeeisen } A' = 0.55 S + 0.45 C, \\ \text{Gussstahl } A' = 0.44 S + 0.56 C. \end{cases}$$

Ein grosser Werth ist indess vorläufig diesen für Schub aufgestellten Formeln nicht beizumessen.

§. 5. Querschnittsbestimmung für eine Belastung, welche ohne Stoss wirkt.

Es sei nun die Querschnittsfläche  $f$  eines Constructionstheiles unter der Voraussetzung einer  $n$ -fachen Sicherheit zu bestimmen, d. h. so, dass, falls die Spannungen  $n$ -mal so gross würden, als sie wirklich sind, erst ein Bruch nach einer ungemein häufigen Wiederholung des Spannungswechsels eintreten würde.

a) Blosser Zugwirkung. Die Minimal- und Maximalspannung des betreffenden Theiles sei  $P_{\min}$  und  $P_{\max}$ ; ferner sei die Spannung, welche vom Eigengewichte her-

rührt  $P_0$ , die Maximalspannung, welche die zufällige Last erzeugt  $P_1$ . In der Gleichung  $A = (1 - \alpha) Z + \alpha C$  haben wir zu setzen:  $A = \frac{n P_{\max}}{f}$ ,  $C = \frac{n P_{\min}}{f}$ . Bezeichnen wir

den Werth von  $\frac{Z}{n}$ , d. i. von der zulässigen Inanspruchnahme bei ruhendem Zuge mit  $K$ , so wird  $P_{\max} = (1 - \alpha) K f + \alpha P_{\min}$  oder, weil  $P_{\min} = P_0$ ,  $P_{\max} = P_0 + P_1$  ist,  $P_0 + P_1 = (1 - \alpha) K f + \alpha P_0$ , also

$$12. f = \frac{P_{\max} - \alpha P_{\min}}{(1 - \alpha) K} = \frac{P_0}{K} + \frac{P_1}{(1 - \alpha) K}$$

b) Blosser Druckwirkung. Hier gilt dasselbe. Bezeichnen wir die zulässige Inanspruchnahme bei ruhendem Drucke mit  $K_1$ , so wird

$$13. f = \frac{P_{\max} - \alpha_1 P_{\min}}{(1 - \alpha_1) K_1} = \frac{P_0}{K_1} + \frac{P_1}{(1 - \alpha_1) K_1}$$

wobei natürlich die Spannungen ohne Rücksicht auf das Vorzeichen einzuführen sind.

c) Wirkung von Zug und Druck bei überwiegendem Zuge. Der erste Ausdruck der Formel 12 gilt ohne Weiteres auch hier, wenn man  $P_{\min}$  algebraisch nimmt, d. h. darunter den grössten Druck versteht und diesen negativ einführt. Bezeichnen wir hier die von der zufälligen Belastung erzeugte positive und negative Spannung dem absoluten Werthe nach mit  $P_1$  und  $P_2$ , so wird hier  $P_{\max} = P_0 + P_1$ ,  $-P_{\min} = P_2 - P_0$ , mithin  $(1 - \alpha) K f = P_{\max} - \alpha P_{\min} = P_0 + P_1 + \alpha (P_2 - P_0)$ , mithin

$$14. f = \frac{P_{\max} - \alpha P_{\min}}{(1 - \alpha) K} = \frac{P_0}{K} + \frac{P_1}{(1 - \alpha) K} + \frac{\alpha P_2}{(1 - \alpha) K}$$

d) Wirkung von Druck und Zug bei überwiegendem Drucke. Dieselbe Regel gilt auch hier, wenn man  $\alpha_1$  für  $\alpha$  und  $K_1$  für  $K$  setzt, und wenn  $P_{\max}$  die grösste Druckspannung,  $P_{\max}$  die grösste Zugspannung,  $P_1$  und  $P_2$  den von der zufälligen Last erzeugten grössten Druck und Zug bedeuten. Es wird also

$$15. f = \frac{P_{\max} - \alpha_1 P_{\min}}{(1 - \alpha_1) K_1} = \frac{P_0}{K_1} + \frac{P_1}{(1 - \alpha_1) K_1} + \frac{\alpha_1 P_2}{(1 - \alpha_1) K_1}$$

Die vom Eigengewichte erzeugte Spannung  $P_0$  ist mit Rücksicht auf das Vorzeichen einzuführen, und zwar ist bei Zug  $C$  als positiv, bei Druck  $D$  als positiv zu nehmen.

Für Schub sind die Formeln 12 und 13 ohne Weiteres anwendbar, wenn man für  $K$  die zulässige Inanspruchnahme  $K_2$  für Schub setzt.

Was nun die Wahl der Coëfficienten  $K$ ,  $K_1$ ,  $K_2$  anbelangt, so erhält man Resultate, welche mit den bisher ausgeführten Eisenconstructionen nahe in Uebereinstimmung sind, wenn man für Eisen eine 2.8fache Sicherheit anwendet; für Stahl dürfte vorläufig eine etwas grössere Sicherheit, etwa eine 3.2fache geboten sein. Man erhält alsdann für gutes Material ungefähr folgende Werthe:

	Schmiedeeisen:	Stahl:	
16. {	Zug: $K = 1400$	1800	} Klgr. per □ cm.
	Druck: $K_1 = 1200$	2200	
	Schub: $K_2 = 1150$	1500	

Die für Druck angegebenen Werthe sind nur anzuwenden, wenn der betreffende Theil gegen seitliche Ausbiegung entweder durch die Querschnittsverhältnisse oder

durch besondere Constructionen geschützt ist. Im entgegengesetzten Falle kommen die Regeln für die Knickfestigkeit in Betracht, worauf hier nicht näher eingegangen werden soll. Dass bei Nietverbindungen die hiernach berechnete Nietenzahl wegen etwaiger ungleichmässiger Druckvertheilung noch zu vergrössern ist, und dass bei besonders gutem Nieteisen  $K$  grösser als 1150, selbst 1400<sup>kg</sup> per  $\square^{\text{cm}}$  angenommen werden kann, sei nur nebenbei erwähnt.

Die angegebenen Zahlen sind anzuwenden, wenn die betreffende Construction eine sehr lange Dauer aufweisen soll. Für Constructionen von nur kurzer Dauer, die im Eisen allerdings selten vorkommen, liesse sich ein etwa nur  $\frac{2}{3}$  so grosser Sicherheitsgrad anwenden, also 1.9- und 2-fache Sicherheit.

Die für  $\alpha$  und  $\alpha_1$  einzuführenden Werthe sind nach dem Obigen:

$$17. \begin{cases} \text{Schmiedeeisen } \alpha = 0.45 & \alpha_1 = 0.40, \\ \text{Stahl } \alpha = 0.56 & \alpha_1 = 0.63. \end{cases}$$

Speziell für Schmiedeeisen ergeben sich nun hiernach die folgenden Regeln:

Blosser Zug oder überwiegender Zug:

$$18. f = \frac{1.82 P_{\max} - 0.82 P_{\min}}{1400} = \frac{P_0 + 1.82 P_1 + 0.82 P_2}{1400}$$

$$= \frac{P_{\max}}{770} - \frac{P_{\min}}{1700} = \frac{P_0}{1400} + \frac{P_1}{770} + \frac{P_2}{1700}.$$

Blosser Druck oder überwiegender Druck:

$$19. f = \frac{1.67 P_{\max} - 0.67 P_{\min}}{1200} = \frac{P_0 + 1.67 P_1 + 0.67 P_2}{1200}$$

$$= \frac{P_{\max}}{720} - \frac{P_{\min}}{1800} = \frac{P_0}{1200} + \frac{P_1}{720} + \frac{P_2}{1800}.$$

Wenn nur Zug oder nur Druck wirkt, so ist  $P_2 = 0$  zu setzen. Wenn Zug und Druck wirkt, so ist für  $P_{\min}$  bei überwiegendem Drucke der grösste Zug negativ einzuführen.

Für Schub ergibt sich die Querschnittsfläche  $\frac{140}{115} = \frac{5}{4}$  mal so gross als für Zug nach Formel 18.

Man kann hiernach die Querschnittsfläche in verschiedener Weise bestimmen. Am einfachsten erscheint das Verfahren, dass man die Spannung  $P_0$  in Folge des Eigengewichtes und die beiden Grenzspannungen  $P_1$  und  $P_2$  für die zufällige Last, oder dass man  $P_{\max} = P_1 + P_0$  und  $P_{\min} = P_0 - P_2$  bestimmt, und jede dieser Spannungen durch einen besonderen Coefficienten dividirt.

Für gezogene Theile ist  $f$  die nutzbare Querschnittsfläche, d. h. die Querschnittsfläche nach Abzug der Nietlöcher; für gedrückte Theile dagegen ist  $f$  die volle Querschnittsfläche. Es kommt indess ziemlich auf dasselbe hinaus, wenn man die für Zug aufgestellte Regel auch für Druck verwendet, alsdann aber unter  $f$  ebenfalls die Querschnittsfläche nach Abzug der Nietlöcher versteht. Dieses letztere Verfahren hat den Vortheil, dass man es nur mit den Coefficienten für Zug zu thun hat.

## §. 6. Querschnittsbestimmung für eine Belastung, welche mit Stoss wirkt.

Wir haben hier hauptsächlich die Brücken im Auge. Eine genaue theoretische Bestimmung der Stosswirkung ist zur Zeit noch nicht erfolgt; ebenso fehlt es an genügen-

den experimentellen Ermittlungen. Wir müssen uns daher vorläufig mit einer rohen Theorie, verbunden mit einer Schätzung, begnügen.

Denken wir uns, dass von der zufälligen Last  $p$  per Längeneinheit ein Theil  $\varepsilon p$ , wenn der Träger mit der Spannweite  $L$  bereits seine statische Durchbiegung in Folge des Eigengewichtes und der zufälligen Last angenommen hat, eine kleine Höhe  $h$  frei herabfällt, so ist die Arbeit, welche die Last  $\varepsilon p L$  nach dem Stosse verrichten kann,  $\frac{\varepsilon^2 p^2 L^2 h}{g L + p L} = \frac{\varepsilon^2 p^2 L h}{g + p}$ , wenn  $g$  das Eigengewicht per Längeneinheit bedeutet. Die Arbeit, welche nöthig ist, um den Träger bei gleichmässiger Belastung eine Maximaldurchbiegung  $y'$  zu geben, ergibt sich zu  $\frac{3072}{125} \frac{E W y'^2}{L^3}$ , wenn  $E$  den Elasticitäts-Coëfficienten,  $W$  das constant angenommene Trägheitsmoment des Querschnittes für die horizontale Schweraxe bedeutet. Setzt man beide Ausdrücke gleich, so ergibt sich

$$y' = \sqrt{\frac{125}{3072} \frac{\varepsilon^2 p^2 L^2 h}{g + p} \frac{E W}{E W}}$$

Die Durchbiegung  $y$ , welche bei ruhender Belastung und bei constantem Querschnitte entsteht, ist

$$y = \frac{5}{384} \frac{(g + p) L^4}{E W}.$$

Demnach ergibt sich die relative Vergrösserung  $\gamma$  der Durchbiegung durch den Stoss

$$\gamma = \frac{p}{g + p} \sqrt{\frac{240 \varepsilon^2 E W h}{(g + p) L^4}}$$

Man kann annehmen, dass sich in diesem Verhältnisse auch die Spannungen des Materiales vergrössern. Wir wollen diese Formel auch gelten lassen, wenn sich bei der Spannweite  $L$  nicht der ganze Träger, sondern bei partieller Stosswirkung nur ein Theil von der Länge  $l$  durchbiegt. Setzen wir jetzt bei der zulässigen Inanspruchnahme  $k$  per Flächeneinheit und der Trägerhöhe  $H$  eines Parallelträgers  $K W = \frac{1}{3} (g + p) L^3 \cdot \frac{1}{2} H$ , so erhalten wir

$$\gamma = \frac{p}{g + p} \sqrt{\frac{15 E \varepsilon^2 h L^3 H}{k l^4}} = \frac{p}{g + p} A \sqrt{\frac{L^3 H}{l^4}},$$

wenn  $A$  einen nahezu constanten Werth bezeichnet.

Nach Formel 12 würde sich jetzt für den Fall, dass nur Zug wirkt, als Querschnittsfläche  $f$  ergeben:

$$f = \left[ \frac{P_0}{K} + \frac{P_1}{(1 - \alpha) K} \right] \left[ 1 + \frac{p}{g + p} A \frac{L \sqrt{H}}{l^2} \right],$$

oder wenn wir  $g = \beta p$ , also auch  $P_0 = \beta P_1$  setzen,

$$f = \frac{P_0}{K} + \frac{P_1}{(1 - \alpha) K} + \frac{P_1}{(1 - \alpha) K} \frac{1 + \beta - \alpha \beta}{1 + \beta} A \frac{L \sqrt{H}}{l^2}.$$

Der Werth von  $\beta$  liegt zwischen den Grenzen 0.2 und 1.7; es lässt sich innerhalb dieser Grenzen für  $\alpha = 0.45$  sehr nahe setzen:

$$\frac{1 + \beta - \alpha \beta}{1 + \beta} P_1 = (0.95 - 0.15 \beta) P_1 = 0.95 P_1 - 0.15 P_0.$$

Hieraus geht hervor, dass, um den Einfluss der Stösse zu erhalten,  $P_1$  zu vergrössern,  $P_0$  zu vermindern wäre; jedoch ist die Verminderung wesentlich geringer, als die Vermehrung; von der ersteren wollen wir ganz absehen. Hierdurch erscheint auch das von Gerber angewendete Ver-

fahren, die Stösse nur durch die Vergrößerung der zufälligen Last zu berücksichtigen, gerechtfertigt. Somit erhalten wir sehr nahe, wenn wir  $A \frac{L \sqrt{H}}{l^2} = \mu$  setzten,

$$f = \frac{P_0}{K} + \frac{(1 + \mu) P_1}{(1 - \alpha) K}$$

Setzt man  $l = L$ , so wird für  $H = \frac{1}{8} L$

$$L = 10 \ 20 \ 40 \ 60 \ 80 \ 100 \ 120 \ 140^m$$

$$\mu = 122 \ 79 \ 56 \ 46 \ 40 \ 35 \ 32 \ 29 \cdot 0.001 \ A.$$

Nimmt man dagegen  $l$  constant an, so wird für  $H = \frac{1}{8} L$ :

$$L = 10 \ 20 \ 40 \ 60 \ 80 \ 100 \ 120 \ 140^m$$

$$\mu = 11 \ 32 \ 90 \ 164 \ 253 \ 354 \ 464 \ 564 \cdot \frac{A}{l^2}$$

Beide Annahmen sind indess nicht richtig. Es erscheint daher, bis weitere Untersuchungen hierüber vorliegen, wohl als gerechtfertigt, für  $\mu$  im Allgemeinen einen constanten Werth einzuführen. Ueber die für  $\mu$  anzunehmende Grösse ist man allerdings noch ziemlich im Unklaren, da zur Zeit noch keine Beobachtungen über die Vergrößerung der Spannungen durch die Stösse vorliegen; die für die Vergrößerung der Durchbiegung gemachten Beobachtungen sind hier ziemlich ohne Werth, da sie nicht die locale Wirkung der Stösse repräsentiren. Gerber setzt für Eisenbahn- und Strassenbrücken  $\mu = 0.5$ . Wenn es auch richtig ist, dass bei Strassenbrücken mit unebener Fahrbahn die Stösse vielleicht verhältnissmässig ebenso gross werden können, als bei Eisenbahnbrücken, so ist doch auch zu berücksichtigen, dass bei letzteren sehr häufig die Besetzung der ganzen Brücke mit Lasten vorkommt, während dies bei Strassenbrücken nicht der Fall zu sein pflegt, so dass also der stossende Theil der der statischen Berechnung zu Grunde gelegten Belastung bei Eisenbahnbrücken grösser ist, als bei Strassenbrücken. Wir wollen daher für

$$\text{Eisenbahnbrücken } \mu = 0.3,$$

$$\text{Strassenbrücken } \mu = 0.2$$

einführen.

Wir erhalten hiernach speciell für Schmiedeisen folgende Regeln:

Eisenbahnbrücken.

Blosser Zug, oder überwiegender Zug:

$$20. \ f = \frac{P_0 + 2.37 P_1 + 1.07 P_2}{1400} = \frac{P_0}{1400} + \frac{P_1}{590} + \frac{P_2}{1300}$$

Blosser Druck, oder überwiegender Druck:

$$21. \ f = \frac{P_0 + 2.17 P_1 + 0.87 P_2}{1200} = \frac{P_0}{1200} + \frac{P_1}{550} + \frac{P_2}{1380}$$

Strassenbrücken.

Blosser Zug, oder überwiegender Zug:

$$22. \ f = \frac{P_0 + 2.18 P_1 + 1.00 P_2}{1400} = \frac{P_0}{1400} + \frac{P_1}{642} + \frac{P_2}{1400}$$

Blosser Druck, oder überwiegender Druck:

$$23. \ f = \frac{P_0 + 2.00 P_1 + 0.80 P_2}{1200} = \frac{P_0}{1200} + \frac{P_1}{600} + \frac{P_2}{1500}$$

Im Uebrigen gelten die im vorigen Paragraphen gemachten Bemerkungen.

Hiernach würde der Unterschied zwischen diesem und dem bisherigen Verfahren lediglich nur darin bestehen, dass man für das Eigengewicht und für die positive und

negative Wirkung der zufälligen Last gesonderte Coefficienten in Anwendung bringt, während man bis jetzt einen einzigen Coefficienten anwendete. Die Berechnungsweise ist also durch das gezeigte Verfahren nicht im Mindesten complicirter geworden. Auch für die Anwendung der graphischen Methoden zur Querschnittsbestimmung ist das gezeigte Verfahren sehr bequem.

Hinsichtlich der nur in einem Sinne beanspruchten Theile erhält man nach dem gewöhnlichen Verfahren dieselben Querschnitte, wenn man die folgende zulässige Inanspruchnahme  $K'$  für Zug anwendet:

Eisenbahnbrücken:

$$l = 10 \ 20 \ 40 \ 60 \ 80 \ 100 \ 120 \ 140^m$$

$$g = 0.18 \ 0.24 \ 0.42 \ 0.56 \ 0.78 \ 1.03 \ 1.35 \ 1.69 \cdot p$$

$$K' = 650 \ 665 \ 715 \ 745 \ 795 \ 835 \ 885 \ 925 \text{ Klgr. per } \square^{\text{cm}}$$

Strassenbrücken:

$$l = 10 \ 20 \ 40 \ 60 \ 80 \ 100 \ 120 \ 140^m$$

$$g = 0.45 \ 0.70 \ 1.10 \ 1.40 \ 1.80 \ 2.20 \ 2.70 \ 3.30 \cdot p$$

$$K' = 770 \ 825 \ 900 \ 940 \ 990 \ 1025 \ 1060 \ 1100 \text{ Klgr. pr. } \square^{\text{cm}}$$

Diese Zahlen sind durchschnittlich in Uebereinstimmung mit den üblichen; bei kleinen Spannweiten ergeben sich die Querschnitte etwas grösser, bei grossen etwas kleiner, als nach dem bisherigen Verfahren. Die Querschnitte von Theilen, welche auf Zug und Druck beansprucht werden, ergeben sich indess nach dem gezeigten Verfahren im Allgemeinen grösser, als nach dem bisherigen Verfahren.

Der für Eisenbahnbrücken angegebene Werth von  $\mu$  soll sich nur auf Bahnen mit grosser Geschwindigkeit und auf nicht zu kleine Spannweiten beziehen. Wenn die Geschwindigkeit nahezu auf die auf gewöhnlichen Strassen übliche herabsinkt, so kann man für  $\mu$  auch den für Strassen angegebenen Werth  $\mu = 0.2$  verwenden. Für Nebenbahnen mit geringer Geschwindigkeit (bis zu etwa 45<sup>km</sup> per Stunde) dürfte  $\mu = 0.25$  genügen. Bei sehr kleinen Spannweiten ist aus den in §. 1 unter *b, c, d* genannten Gründen eine Vergrößerung von  $\mu$  rathsam, und zwar kann man hier den für grössere Spannweiten für  $\mu$  giltigen Werth etwa mit  $1 + \frac{c^2}{400 l^2}$  multipliciren, wenn  $c$  die Maximalgeschwindigkeit in Metern per Secunde bedeutet. Für  $c = 18^m$  wird dieser Factor  $1 + \frac{0.8}{l^2}$ , wonach die Vergrößerung bei einer Spannweite von 1, 2, 3, 4, 5, 10<sup>m</sup> bezüglich 80, 20, 9, 5, 3, 1% betragen würde.

I. Beispiel. Ein Stab einer Eisenbahnbrücke erhalte durch das Eigengewicht eine Zugspannung von 18 Tonnen, durch die zufällige Last eine zwischen 0 und 28 Tonnen schwankende Zugspannung. Hier ist zu setzen  $P_0 = 18, P_1 = 28, P_2 = 0$ . Nach Formel 20 wird demnach die Querschnittsfläche

$$f = \frac{18000}{1400} + \frac{28000}{590} = 12.9 + 47.5 = 60.4 \square^{\text{cm}}$$

Nach der gewöhnlichen Auffassung würde hier die Inanspruchnahme  $\frac{18000 + 28000}{60.4} = 761^{ks}$  per  $\square^{\text{cm}}$ .

II. Beispiel. Ein Stab erhalte durch das Eigengewicht eine Zugspannung von 8 Tonnen, durch die zufällige Last eine zwischen - 20 und + 36 Tonnen schwankende Spannung. Hier ist  $P_0 = 8,$

$P_1 = 36, P_2 = 20$  zu setzen. Demnach wird nach Formel 20 die nöthige Querschnittsfläche

$$f = \frac{8000}{1400} + \frac{36000}{590} + \frac{20000}{1300} = 5.7 + 61.0 + 12.3 = 79.0 \text{ cm}^2.$$

Nach der gewöhnlichen Auffassung würde hier die Inanspruchnahme  $\frac{8000 + 36000}{79.0} = 557^{\text{kg}}$  per  $\text{cm}^2$ .

### §. 7. Wirkung einer Ueberlastung.

Die Wöhler'schen Resultate geben auch einen näheren Anhalt über die der statischen Berechnung zu Grunde zu legenden Belastung. Nach den aufgestellten, aus den Wöhler'schen Versuchen abgeleiteten Regeln wird man nämlich nur für die wirklich sehr häufig auftretenden Belastungen zu rechnen haben, nicht aber für aussergewöhnliche Belastungen. Für aussergewöhnliche Belastungen, welche überhaupt für die ganze Dauer der Brücke nur einige Male vorkommen können, würde man nur nach den für eine constante Belastung giltigen Regeln zu rechnen haben, hierdurch aber in der Regel kleinere Querschnittsflächen erhalten, als für eine sich ungemein häufig wiederholende Beanspruchung.

Bei Eisenbahnbrücken wird es also nicht nöthig sein, einen aus lauter Locomotiven bestehenden Zug anzunehmen, weil diese Belastung möglicherweise einmal im Kriege vorkommen könnte; es wird vielmehr genügen, eine oder höchstens zwei Locomotiven vorauszusetzen. Bei Strassenbrücken wird es ebenso nicht nothwendig, eine Besetzung mit lauter sehr schweren Wagen anzunehmen; es wird vielmehr genügen, die auf der fraglichen Brücke gewöhnlich verkehrenden Wagen und darunter vielleicht einen oder zwei sehr schwere Wagen anzunehmen. Auch bei denjenigen Theilen, welche auf Winddruck zu berechnen sind, wird es nicht nothwendig, auf einen äusserst selten auftretenden Winddruck Rücksicht zu nehmen.

Unter Umständen, namentlich bei grossem Eigengewichte, ist es indess wohl denkbar, dass eine solche abnorme Belastung, wenn man sie nach den für constante Belastung giltigen Regeln behandelt, grössere Querschnitte ergibt, als die gewöhnliche Belastung. Es ist immer leicht, sich hiervon die Ueberzeugung zu verschaffen.

Ebenso sind auch die Spannungen zu beurtheilen, welche durch den Wind in den Hauptträgern erzeugt werden. Es erscheint genügend, wenn der Querschnitt grösser ist, als er der Summe der vom Eigengewichte der mit 1.3, resp. 1.2 multiplicirten zufälligen Last und dem Winddrucke erzeugten Spannung für eine constante Kraftwirkung entspricht. Auch Gerber beurtheilt die Wirkung des Winddruckes in dieser Weise.

## Anhang.

Die Methoden von Gerber, Launhardt, Müller, Schäffer und Weyrauch.

### §. 8. Methode von Launhardt.

Dem Herrn Launhardt, Director des k. preuss. Polytechnikums zu Hannover, gebührt das Verdienst, die Wöhler'schen Resultate zuerst für die Berechnung von

Eisenconstruktionen empfohlen, und zu weiteren Arbeiten hierüber die Anregung gegeben zu haben (<sup>12</sup>).

Launhardt sagt, dass die einfachste Beziehung, welche man zwischen den Spannungsgrenzen  $C$  und  $A$ , welche bei einer ungemein grossen Zahl von Wiederholungen der Beanspruchung den Bruch herbeiführen, aufstellen könne, die folgende sei:

$$24. \quad A - C = \frac{Z - A}{Z - U} A;$$

denn für  $C = 0$  müsse  $A$  in  $U$  übergehen und für  $C = A$  müsse  $A = Z$  werden, was nach vorstehender Beziehung in der That der Fall sei. Für die Grenzfälle ist diese Beziehung also richtig; der Vergleich mit den Wöhler'schen Versuchsergebnissen zeigt indess bei blosser Beanspruchung auf Zug auch für zwischenliegende Werthe eine gute Uebereinstimmung, wenn man setzt für:

$$25. \quad \begin{cases} \text{Schmiedeeisen} & \frac{Z - U}{U} = \frac{5}{6}, \quad U = \frac{6}{11} Z = 0.545 Z, \\ \text{Gussstahl} & \frac{Z - U}{U} = \frac{6}{5}, \quad U = \frac{5}{11} Z = 0.454 Z. \end{cases}$$

Diese Werthe für  $U$  stimmen mit den von uns gefundenen ziemlich genau überein. Die Gleichung 24 lässt sich hiermit auf die folgende Form bringen:

$$26. \quad \begin{cases} \text{Schmiedeeisen} & A = \frac{6}{11} Z \left(1 + \frac{5}{6} \frac{C}{A}\right) = U \left(1 + \frac{5}{6} \frac{C}{A}\right), \\ \text{Gussstahl} & A = \frac{5}{11} Z \left(1 + \frac{6}{5} \frac{C}{A}\right) = U \left(1 + \frac{6}{5} \frac{C}{A}\right). \end{cases}$$

Setzt man nun bei  $n$ -facher Sicherheit  $Cf = n P_{\min}$   $Af = n P_{\max}$  und  $K_1 = \frac{A}{n}, K_0 = \frac{U}{n}$ , so erhält man

$$27. \quad f = \frac{P_{\max}}{K_1},$$

wenn man setzt

$$\text{Schmiedeeisen} \quad K_1 = K_0 \left(1 + \frac{5}{6} \varepsilon\right),$$

$$\text{Gussstahl} \quad K_1 = K_0 \left(1 + \frac{6}{5} \varepsilon\right),$$

worin  $\varepsilon$  das Verhältniss  $\frac{P_{\min}}{P_{\max}}$  bedeutet.

Launhardt nimmt indess noch an, dass in Folge von Zufälligkeiten oder durch stossweise Einwirkungen der Last die Maximalspannung  $S$  noch vergrössert werden könne, und nimmt daher  $\frac{3}{5} \varepsilon$  für  $\varepsilon$ . Alsdann aber wird

$$28. \quad \begin{cases} \text{Schmiedeeisen} & K_1 = K_0 \left(1 + \frac{1}{2} \varepsilon\right), \\ \text{Gussstahl} & K_1 = K_0 \left(1 + \frac{3}{4} \varepsilon\right). \end{cases}$$

Launhardt nimmt, wenn die Beanspruchung entweder nur auf Zug oder nur auf Druck erfolgt, und wenn man noch  $\frac{Z}{n} = K$  setzt, für

$$\text{Schmiedeeisen} \quad K_0 = 800, \quad K = 1433^{\text{kg}} \text{ per } \text{cm}^2,$$

$$\text{Gussstahl} \quad K_0 = 1200, \quad K = 2640^{\text{kg}} \quad "$$

Wenn ein Theil gleichzeitig auf Zug und Druck beansprucht wird, für welchen Fall die aufgestellten Formeln keine Giltigkeit mehr haben, schlägt Launhardt das ameri-

kanische Verfahren vor, nämlich bei dem Maximalzuge  $P_{\max}$  und dem Maximaldrucke  $P'_{\max}$  zu setzen

$$29. f = \frac{P_{\max} + P'_{\max}}{K_0}$$

Die Launhardt'sche Berechnungsweise lässt sich mit geringer Abweichung auf die einfachere von uns gegebene Berechnungsweise bringen. Man kann nämlich annähernd, indess ziemlich genau

$$\frac{1}{1 + \frac{1}{2}\epsilon} = 1 - 0.355 \epsilon \text{ und } \frac{1}{1 + \frac{3}{4}\epsilon} = 1 - 0.466 \epsilon$$

setzen, wenn  $\epsilon$  zwischen den Grenzen 0 und 1 liegt. Hierdurch gehen die Formeln 27 und 28 über in

$$\text{Schmiedeeisen } f = \frac{P_{\max} - 0.355 P_{\min}}{K_0},$$

$$\text{Gussstahl } f = \frac{P_{\max} - 0.466 P_{\min}}{K_0},$$

oder, wenn man  $P_{\min} = P_0$ ,  $P_{\max} = P_0 + P_1$  setzt, und für  $K_0$  die angegebenen Werthe einführt:

$$\text{Schmiedeeisen } f = \frac{P_0 + 1.58 P_1}{1240} = \frac{P_0}{1240} + \frac{P_1}{800},$$

$$\text{Gussstahl } f = \frac{P_0 + 1.87 P_1}{2250} = \frac{P_0}{2250} + \frac{P_1}{1200}.$$

Die Abweichung der hiernach berechneten Resultate von den nach den Formeln 27 und 28 berechneten beträgt im Maximum nur 3%. Die Querschnitte ergeben sich hiernach durchgehends etwas kleiner als nach unseren Formeln.

### §. 9. Ergänzung von Weyrauch.

Von Herrn Weyrauch, Professor am Polytechnikum in Stuttgart, wurde in seiner jüngst erschienenen Broschüre (17) die Launhardt'sche Methode empfohlen, nur setzt er etwas abweichend für Schmiedeeisen  $K_0 = 700$ , für Gussstahl  $K_0 = 1100^{ks}$  per  $\square^{cm}$ , für Gussstahl statt des Factors  $\frac{3}{4}$  den Factor  $\frac{9}{11}$  und ergänzt die Formeln ausserdem noch für Theile, welche auf Zug und Druck beansprucht werden, indem er setzt:

Nur Zug oder nur Druck:

$$30. \begin{cases} \text{Schmiedeeisen } K_1 = K_0 \left(1 + \frac{1}{2} \epsilon\right), \\ \text{Gussstahl } K_1 = K_0 \left(1 + \frac{9}{11} \epsilon\right); \end{cases}$$

Zug und Druck:

$$31. \begin{cases} \text{Schmiedeeisen } K_1 = K_0 \left(1 + \frac{1}{2} \epsilon\right), \\ \text{Gussstahl } K_1 = K_0 \left(1 + \frac{5}{11} \epsilon\right), \end{cases}$$

wobei im letzteren Falle  $P_{\min}$  den grössten Druck bedeutet, wenn der Zug überwiegt, den grössten Zug, wenn der Druck überwiegt und negativ einzuführen ist, so dass  $K_1 < K_0$  wird.

Setzt man auch hierin annähernd  $\frac{1}{1 + \frac{1}{2}\epsilon} = 1 - 0.355 \epsilon$ ,

$$\frac{1}{1 + \frac{9}{11}\epsilon} = 1 - 0.492 \epsilon, \quad \frac{1}{1 - \frac{1}{2}\epsilon} = 1 + 0.881 \epsilon, \quad \frac{1}{1 - \frac{5}{11}\epsilon}$$

$= 1 + 0.147 \epsilon$ , und zwar unter der Voraussetzung, dass  $\epsilon$  zwischen 0 und 1 liegt, so erhält man:

Nur Zug oder nur Druck:

$$\text{Schmiedeeisen } f = \frac{P_0}{1085} + \frac{P_1}{700},$$

$$\text{Gussstahl } f = \frac{P_0}{2165} + \frac{P_1}{1100};$$

Zug und Druck:

$$\text{Schmiedeeisen } f = \frac{P_0}{5880} + \frac{P_1}{700} + \frac{P_2}{800},$$

$$\text{Gussstahl } f = \frac{P_0}{4350} + \frac{P_1}{1100} + \frac{P_2}{1470}.$$

Die Abweichung von den nach den Formeln 30 und 31 berechneten Werthen beträgt im Maximum für Beanspruchung in demselben Sinne nur 3%, für Beanspruchung im entgegengesetzten Sinne indess 7%.

### §. 10. Vorschlag von Müller.

Herr G. Müller, Bau-Inspector in Wien, hat fast gleichzeitig mit Launhardt einen Vorschlag zur Verwerthung der Wöhler'schen Versuche bei Brückenconstruktionen gemacht (18). Er bringt die Wöhler'schen Resultate in keine algebraische Form, sondern verwendet sie direct, indem er durch eine graphische Darstellung die nöthigen Interpolationen macht, obwohl er hierin etwas zu weit geht, indem er die erhaltene Curve nach Gutdünken auch zum Gebrauche für Druckspannungen verlängert. Er gibt für Schmiedeeisen mittlerer Qualität die folgenden Zahlen (im Auszuge):

Nur Zug:

	$\epsilon = 0$	0.25	0.5	0.75	1
3.0fache Sicherheit	$K_1 = 533$	600	704	842	913
2.5 " "	$K_1 = 640$	720	845	1011	1096

Zug und Druck:

	$\epsilon = 0$	0.25	0.5	0.75	1	2	4	10	$\infty$
3.0fache Sicherh.	$K_1 = 533$	547	555	562	570	596	606	612	637
2.5 " "	$K_1 = 640$	655	667	676	685	716	728	735	765

Die Zahlen für Zug und Druck sind entschieden unrichtig, und mit den Wöhler'schen Versuchen nicht im Einklange; nach diesen Zahlen wäre für Zug und Druck, wenn  $\epsilon$  zwischen 0 und 1 liegt,  $K_1$  fast constant, während  $K_1$  abnehmen muss, wenn  $\epsilon$  wächst.

Müller spricht noch die Ansicht aus, dass die Längenänderung in Folge einer Temperaturänderung denselben Einfluss übe, wie eine gleiche durch äussere Kräfte hervorgerufene Längenänderung, dass also ein einmaliger Temperaturwechsel von 15° C. dieselbe Wirkung auf das Eisen ausübe, wie eine einmalige Belastung, was entschieden als unrichtig zu bezeichnen ist.

### §. 11. Methode von Gerber.

Herr H. Gerber, Director der süddeutschen Brückenbau-Actiengesellschaft in München, hat die Wöhler'schen Versuche bereits seit dem Jahre 1872 praktisch verwerthet, nachdem es ihm gelungen war, die maassgebenden Behörden zu bewegen, ein auf die Wöhler'schen Versuche basirendes Programm anzuerkennen. Die betreffende Arbeit Gerber's (16) verwerthet jedenfalls diese Versuche in der am meisten wissenschaftlichen Weise. Gerber setzt

$$32. \frac{C}{Z} = x, \quad \frac{A - C}{Z} = y,$$

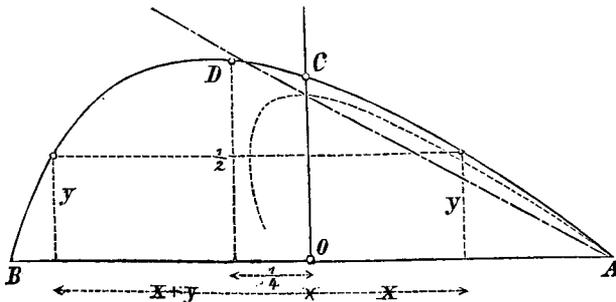
und denkt sich  $x$  und  $y$  als rechtwinklige Coordinaten einer Curve. Hierbei nimmt er das Vorzeichen von  $Z$  immer gleich dem der veränderlichen Spannung  $A - C$ , so dass  $y$  stets positiv ist. Es bedeutet dann  $Z$  sowohl die Tragfestigkeit für Zug als für Druck, welche beide von Gerber

als gleich vorausgesetzt werden. Um ein möglichst einfaches Gesetz zu erhalten, nimmt Gerber die Curve als Parabel an. Diese Parabel muss die Abscissenaxe in zwei Punkten schneiden und zwar entspricht diesen Punkten die ruhende Belastung, also  $A - C = Z$  oder  $x = +1$  und  $x = -1$ . Gerber macht ferner die Annahme, dass, wenn nach ungemein vielen Schwingungen ein Bruch bei den positiven Spannungsgrenzen  $+C$  und  $+A$  eintritt (wobei  $A > C$  ist), auch ein Bruch bei den Spannungsgrenzen  $-A$  und  $-C$  eintreten werde. Dem ersteren Falle entsprechen die Coordinaten  $x = +\frac{C}{Z}$ ,  $y = \frac{A-C}{Z}$ , dem letzteren die Coordinaten  $x_1 = -\frac{A}{Z} = x + y$ ,  $y_1 = \frac{(-C) - (-A)}{Z} = \frac{C-A}{Z} = y$ . Die Ordinaten der Curve müssen demnach für die Abscissen  $+x$  und  $-(x+y)$  einander gleich sein.

Die allgemeine Gleichung der Parabel ist

$$\alpha^2 x^2 + 2\alpha\beta xy + \beta^2 y^2 + \gamma x + \delta y + \varepsilon = 0.$$

Fig. 3.



Die Bedingung, dass  $y = 0$  wird für  $x = +1$  und  $x = -1$ , gibt  $\gamma = 0$  und  $\varepsilon = \alpha^2$ ; die Bedingung, dass die Gleichung noch erfüllt sein muss, wenn man  $-(x+y)$  für  $x$  setzt, gibt  $\beta = -\frac{1}{2}\alpha$ . Demnach wird  $\alpha^2 x^2 + \alpha^2 xy + \frac{1}{4}\alpha^2 y^2 + \delta y - \alpha^2 = 0$  oder

$$x^2 + xy + \frac{1}{4}y^2 - \frac{\delta}{\alpha^2}y = 1.$$

Für das Maximum von  $y$  oder für  $\frac{dy}{dx} = 0$  wird  $x = -\frac{1}{2}y$ . Bezeichnen wir das Maximum von  $y$  mit  $y_m$ , so wird  $y_m = \frac{\alpha^2}{\delta}$ ; daher kann man auch setzen:

$$33. \quad x^2 + xy + \frac{1}{4}y^2 + \frac{y}{y_m} = 1.$$

Gerber vergleicht nun die Versuchsergebnisse Wöhler's mit dieser Gleichung und findet, dass eine gute Uebereinstimmung stattfindet, wenn man für Schmiedeeisen  $y_m = \frac{2}{3}$ , für Stahl  $y_m = \frac{5}{9}$  setzt. Für Schmiedeeisen wäre demnach \*)

$$34. \quad x^2 + xy + \frac{1}{4}y^2 + \frac{3}{2}y = 1.$$

\*) Nach der von uns gezeigten Methode ist die Beziehung zwischen  $x$  und  $y$ :  $(1-x)x + y = 1-x$ , d. i. für Schmiedeeisen sehr nahe:

$$5x + 9y = 5.$$

Die entsprechende gerade Linie ist in Fig. 3 strichpunktirt angegeben. Nach der Launhardt'schen Methode ist die Beziehung zwischen  $x$  und  $y$ :

$$11(x+y)^2 - 6(x+y) - 5x = 0.$$

Die entsprechende Parabel ist in Fig. 3 punctirt angegeben.

Die Reduction auf  $x$  und  $y$  gibt:

$$35. \quad \begin{cases} x = \frac{1}{2}(-y \pm \sqrt{4-6y}), \\ y = -3 - 2x + \sqrt{13+12x}. \end{cases}$$

Setzt man hierin  $x = \frac{C}{Z}$ ,  $y = \frac{A-C}{Z}$ , so erhält man

die Gleichung

$$(A+C)^2 + 6Z(A-C) - 4Z^2 = 0$$

oder

$$36. \quad A = \sqrt{13Z^2 + 12CZ} - C - 3Z.$$

Trägt man  $C$  als Abscisse,  $A$  als Ordinate auf, so erhält man wieder eine Parabel (in Fig. 2 strichpunktirt). Für  $C = -\frac{2}{3}Z$  wird  $A = -C = \frac{2}{3}Z$ . Für  $C = 0$  geht  $A$  in die Ursprungsfestigkeit  $U$  über und es wird  $U = (\sqrt{13} - 3)Z = 0.606Z$ , was mit dem von uns gefundenen Werthe  $U = 0.55Z$  nahe übereinstimmt.

Handelt es sich nun um die Bestimmung der Querschnittsfläche  $f$  eines Theiles, welche eine durch ruhende Belastung erzeugte Spannung  $P_0$  und eine durch die Verkehrslast erzeugte zwischen 0 und  $P_1$  schwankende Spannung aufzunehmen hat, so ist bei  $n$ -facher Sicherheit  $nP_0 = Cf$ ,  $nP_1 = (A-C)f$ . Bezeichnet man wieder die zulässige Inanspruchnahme  $\frac{1}{n}Z$  bei ruhender Belastung mit  $K$ , so wird

$$x = \frac{C}{Z} = \frac{nP_0}{Zf} = \frac{P_0}{Kf}, \quad y = \frac{A-C}{Z} = \frac{nP_1}{Zf} = \frac{P_1}{Kf}.$$

Die in die Gleichung 34 gesetzt, gibt

$$4P_0^2 + 4P_0P_1 + P_1^2 + 6P_1Kf = 4K^2f^2$$

oder

$$37. \quad f = \frac{3P_1 + \sqrt{16P_0^2 + 16P_0P_1 + 13P_1^2}}{4K},$$

oder, wenn man

$$38. \quad P_0 = \varphi P_1, \quad f = \sigma \frac{P_1}{K} \quad \text{oder} \quad f = \frac{P_0 + \tau P_1}{K}$$

setzt,

$$39. \quad \sigma = \frac{1}{4}(3 + \sqrt{13 + 16\varphi + 10\varphi^2}), \quad \tau + \sigma = \varphi.$$

Wenn Zug und Druck gleichzeitig wirkt, und der Zug überwiegt, so ist  $P_0 = -(P_2 - P_0)$  und  $P_1 = (P_0 + P_1) + (P_2 - P_0) = P_1 + P_2$  zu setzen. Wenigstens fasse ich die Sache so auf; Gerber spricht sich hierüber nicht ganz klar aus, scheint aber in etwas anderer Weise zu verfahren.

Mit Hilfe einer Tabelle, welche für verschiedene Werthe von  $\varphi$  die zugehörigen Werthe von  $\sigma$  gibt, lässt sich hiernach die Querschnittsfläche  $f$  leicht bestimmen.

Was nun die Grösse der anzunehmenden Belastung und Inanspruchnahme  $K$  anlangt, so führt Gerber das Eigengewicht wie es ist, die zufällige Last dagegen mit 1.5 multiplicirt ein, um den Einfluss der Stösse zu berücksichtigen, und setzt für Schmiedeeisen

$$K = 1600 \text{ kg per } \square^{\text{cm}},$$

und zwar sowohl für Strassen- als für Eisenbahnbrücken. Es entspricht dies nach der gewöhnlichen Auffassungsweise einer Inanspruchnahme von etwa 650 kg per  $\square^{\text{cm}}$  bei kleinen Spannweiten, und von 950 kg per  $\square^{\text{cm}}$  bei grossen Spannweiten für Eisenbahnbrücken (Theile, welche auf Zug und Druck beansprucht werden, ausgenommen).

I. Beispiel. Für das in §. 6 durchgeführte I. Beispiel ergibt sich hier:

$$P_0 = 18, P_1 = 1.5 \cdot 28 = 42, \varphi = \frac{18}{42} = \frac{3}{7} = 0.429,$$

$$\sigma = \frac{1}{4} (3 + \sqrt{13 + 16 \cdot 0.429 + 16 \cdot 0.429^2}) = 1.944,$$

$$f = 1.944 \cdot \frac{42}{1.6} = 51.0 \text{ cm}.$$

Nach der gewöhnlichen Auffassung würde hier die Inanspruchnahme  $\frac{18 + 28}{51.0} = 0.902$  Tonnen per  $\square^{\text{cm}}$ .

II. Beispiel. Für das in §. 6 durchgeführte II. Beispiel ist hier zu setzen:

$$P_1 = 1.5 (36 + 20) = 84, P_0 = - (1.5 \cdot 20 - 8) = - 22,$$

$$\varphi = \frac{22}{84} = - 0.262,$$

$$\sigma = \frac{1}{4} (3 + \sqrt{13 - 16 \cdot 0.262 + 16 \cdot 0.262^2}) = 1.537,$$

$$f = 1.537 \cdot \frac{84}{1.6} = 80.6 \text{ cm}.$$

Nach der gewöhnlichen Auffassung wird hier die Beanspruchung =  $\frac{8 + 36}{80.6} = 0.545$  Tonnen per  $\square^{\text{cm}}$ .

Die Resultate Gerber's lassen sich für die Anwendung wesentlich vereinfachen, ohne der Genauigkeit zu schaden. Trägt man  $\varphi$  als Abscisse,  $\sigma$  als zugehörige Ordinate auf, so erhält man innerhalb der hier in Frage kommenden Grenzen eine fast gerade Linie, welche dargestellt wird durch die Gleichungen:

$$\text{für positive } \varphi: \sigma = 1.65 + 0.85 \varphi,$$

$$\text{für negative } \varphi: \sigma = 1.65 + 0.30 \varphi.$$

Man könnte zwar einen einzigen Ausdruck für  $\sigma$  aufstellen; indess wird die Genauigkeit bei zwei Ausdrücken grösser, ohne dass hierdurch die Anwendung erschwert würde.

Für blossen Zug oder blossen Druck wird nun  $\varphi = \frac{P_0}{1.5 P_1}$ ,

$$Kf = \sigma \cdot 1.5 P_1 = \left(1.65 + 0.85 \frac{P_0}{1.5 P_1}\right) 1.5 P_1 = 2.47 P_1 + 0.85 P_0$$

oder, wenn man  $K = 1600$  setzt,

$$f = \frac{0.85 P_0 + 2.47 P_1}{1600} = \frac{P_0}{1880} + \frac{P_1}{650},$$

oder mit etwas minder grosser Genauigkeit  $f = \frac{P_0 + 3 P_1}{2000}$ , während

Gerber früher  $f = \frac{P_0 + 3 P_1}{1600}$  setzte.

Kann der betreffende Theil auf Zug und auch auf Druck beansprucht werden, so ist  $-(1.5 P_2 - P_0)$  für  $P_0$  und  $1.5 (P_1 + P_2)$  für  $1.5 P_1$  zu setzen. Es wird hier

$$\varphi = - \frac{1.5 P_2 - P_0}{1.5 (P_1 + P_2)} Kf = \sigma \cdot 1.5 (P_1 + P_2)$$

$$= 1.5 \left(1.65 - 0.30 \frac{1.5 P_2 - P_0}{1.5 (P_1 + P_2)}\right) (P_1 + P_2)$$

$$= 0.20 P_0 + 2.47 P_2, \text{ also}$$

$$f = \frac{0.20 P_0 + 2.47 P_1 + 2.17 P_2}{1600} = \frac{P_0}{8000} + \frac{P_1}{650} + \frac{P_2}{735}$$

oder auch  $1600 f = 0.20 P_0 + 2.47 (P_{\text{max}} - P_0) + 2.17 (- P_{\text{min}} + P_0) = 2.47 P_{\text{max}} - 2.17 P_{\text{min}} - 0.10 P_0$ , d. i. sehr nahe

$$f = \frac{P_{\text{max}} - 0.88 P_{\text{min}}}{650},$$

so dass hiernach der Querschnitt annähernd durch Division der Summe aus der positiven und negativen Maximalspannung mit 650 gewonnen wird.

## §. 12. Modification von Schäffer.

Herr Schäffer, Professor am Polytechnikum in Darmstadt, schliesst sich der Gerber'schen Auffassung an, modificirt indess die Anwendungsweise (15).

Schäffer setzt, wenn man unter  $k$  die Beanspruchung per Flächeneinheit in dem gewöhnlichen Sinne versteht,

$$40. f = \frac{P_{\text{max}}}{k}.$$

Er setzt ferner die Differenz der grössten und kleinsten Spannung per Flächeneinheit =  $\Delta$ , also  $P_{\text{max}} - P_{\text{min}} = \Delta f$ ; alsdann wird

$$\frac{\Delta}{k} = \frac{P_{\text{max}} - P_{\text{min}}}{P_{\text{max}}}.$$

Es ist nun, wenn man die Erschütterungen etc. durch Multiplication der zufälligen Last mit  $m$  berücksichtigt,

$$P_{\text{max}} = P_0 + m P_1, P_{\text{min}} = P_0 + m P_2,$$

wobei  $P_0, P_1, P_2$  algebraisch zu nehmen sind; daher wird  $P_{\text{max}} - P_{\text{min}} = m (P_1 - P_2)$  und

$$41. \frac{\Delta}{k} = \frac{m (P_1 - P_2)}{P_0 + m P_1}, f = \frac{P_0 + m P_1}{k}.$$

Es ist nun ferner  $P_{\text{min}} = P_{\text{max}} - \Delta f = (k - \Delta) f$ , also

$$x = \frac{P_{\text{min}}}{Zf} = \frac{k - \Delta}{Z}, y = \frac{P_{\text{max}} - P_{\text{min}}}{Zf} = \frac{\Delta}{Z}.$$

Dies in die erste der Gleichungen 35 eingesetzt, gibt

$$\frac{k}{Z} = \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta}{Z} \pm \sqrt{4 - 6 \frac{\Delta}{Z}} \right).$$

Durch Reduction auf  $Z$  und Division von  $Z$  in  $k$  erhält man, wenn man gleichzeitig eine  $n$ -fache Sicherheit einführt, d. h. nur  $\frac{1}{n}$  von  $Z$  in Anwendung bringt,

$$42. k = \frac{-3 \frac{\Delta}{k} + \sqrt{16 - 16 \frac{\Delta}{k} + 13 \frac{\Delta^2}{k^2}}}{\left(2 - \frac{\Delta}{k}\right)^2} \frac{Z}{m}.$$

In einem gegebenen Falle bestimmt man nach Ermittelung der Spannungen zunächst nach den Formeln 41 den Werth von  $\frac{\Delta}{k}$ , sodann nach Formel 42 den Werth von  $k$  und jetzt nach der zweiten der Formeln 41 die Querschnittsfläche  $f$ . Schäffer setzt wie Gerber  $m = 1.5$ ,  $n = 2.19$ ; dies gibt, wenn  $Z = 3500$  ist,  $\frac{Z}{m} = 1600 \text{ kg per } \square^{\text{cm}}$ .

Ein Unterschied im Resultate ergibt sich weder bei einer Beanspruchung in gleichem Sinne, noch in entgegengesetztem Sinne, wenn wir den letzteren Fall in der im vorigen Paragraphen angegebenen Weise auffassen.

I. Beispiel. Für das in §. 6 durchgeführte I. Beispiel ist zu setzen  $P_0 = 18, P_1 = 28, P_2 = 0$ . Daher wird nach der ersten der Formeln 41:

$$\frac{\Delta}{k} = \frac{1.5 \cdot 28}{18 + 1.5 \cdot 28} = 0.7.$$

Nach Formel 42 wird jetzt  $k = 0.735 \cdot 1.6 = 1.176$ ; daher nach der zweiten der Formeln 41:

$$f = \frac{18 + 1.5 \cdot 28}{1.176} = 51.0 \text{ cm},$$

in Uebereinstimmung mit dem im vorigen Paragraphen gefundenen Werthe.

II. Beispiel. Für das in §. 6 durchgeführte II. Beispiel ist zu setzen:  $P_0 = 8, P_1 = 36, P_2 = - 20$ . Daher wird nach der ersten der Gleichungen 41:

$$\frac{\Delta}{k} = \frac{1.5 (36 + 20)}{8 + 1.5 \cdot 36} = \frac{42}{31} = 1.355.$$

Nach Formel 42 wird nun  $k = 0.481 \cdot 1.6 = 0.770$ , daher nach der zweiten der Formeln 41:

$$f = \frac{8 + 1.5 \cdot 36}{0.770} = 80.6 \text{ cm},$$

in Uebereinstimmung mit dem im vorigen Paragraphen gefundenen Werthe.

### §. 13. Vergleich der Resultate.

Wir stellen in der folgenden Tabelle die Spannungen  $k$  zusammen, welche sich für die gewöhnliche Auffassung nach den verschiedenen Methoden für Eisenbahnbrücken ergeben, und zwar für verschiedene Werthe des Verhältnisses  $\frac{P_{\min}}{P_{\max}} = \epsilon$ :

Blosse Zugwirkung.

Methode von	$\epsilon = 0$	$\epsilon = 0.25$	$\epsilon = 0.5$	$\epsilon = 0.75$	$\epsilon = 1$
Baker .....	530	700	790	790	790
Gerber, früher.....	533	640	800	1067	1600
„ jetzt.....	646	794	998	1270	1600
Launhardt .....	800	900	1000	1100	1200
Müller.....	640	720	845	1011	1090
Weyrauch.....	700	787	875	963	1050
Winkler.....	591	690	831	1042	1400

Wirkung von Zug und Druck.

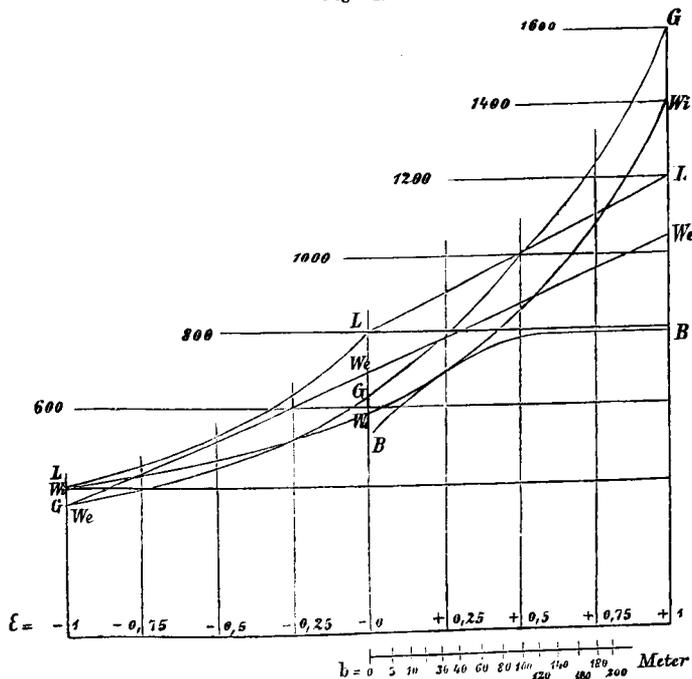
Methode von	$\epsilon = 0$	$\epsilon = -0.25$	$\epsilon = -0.5$	$\epsilon = -0.75$	$\epsilon = -1$
Gerber, jetzt, $\epsilon_0 = 0$	645	512	468	406	356
$\epsilon_0 = 1$	702	570	474	404	353
Launhardt (Amerika)	800	640	533	457	400
Weyrauch.....	700	613	525	438	350
Winkler..... $\epsilon_0 = 0$	590	530	481	440	406
$\epsilon_0 = 1$	675	397	535	485	444

In der letzteren Tabelle ist mit  $\epsilon_0$  das Verhältniss  $\frac{P_0}{P_{\max}}$  der vom Eigengewichte herrührenden Spannung zur positiven Maximalspannung  $P_{\max}$  bezeichnet. In Fig. 4 sind diese Zahlen graphisch dargestellt, indem  $\epsilon$  als Abscisse, die Inanspruchnahme  $k$  als Ordinate aufgetragen ist.

Ueber die absolute Grösse der einzelnen Zahlen lässt sich wohl noch streiten; ob man in unserer und der Gerber'schen Formel  $K = 1400$  oder  $1600 \text{ kg per cm}^2$  und  $\mu = 0.5$ , resp.  $0.3$  zu setzen hat, oder ob vielleicht andere Werthe entsprechender sein werden, das wird vielleicht erst die Zukunft lehren. Allein das zu Grunde zu legende mathematische Gesetz ist in ziemlich bestimmter Weise durch die Wöhler'schen Versuche gegeben; immerhin aber lassen diese, ohne dass es nöthig ist, aus dem durch sie bestimmten Rahmen hervortreten, noch Spielraum für verschiedene Linien. Bei dieser noch immerhin obwaltenden Unbestimmtheit scheint es mir, dass das von uns aufgestellte Gesetz seiner grossen Einfachheit wegen den Vorzug verdient. Der Vortheil, welcher hierdurch hinsichtlich der leichteren Einführung dieser neuen, rationellen Auffassung in die Praxis erreicht wird, wurde bereits in §. 3 erwähnt. Aber auch in wissenschaftlicher Beziehung wird ein Vortheil erreicht; die theoretischen Untersuchungen über die

Menge des Materialbedarfes und die sich hieran knüpfenden Folgerungen über die relative Zweckmässigkeit einzelner Systeme und der günstigsten Anordnungen der Construc-

Fig. 4.



tionen, was als eine Hauptaufgabe einer wissenschaftlichen Behandlung der Eisenconstructions angesehen werden muss, stösst bei Anwendung der Gerber'schen oder Launhardt'schen Methode auf Schwierigkeiten, während sich eine solche bei unserer Methode, die sich von dem bisher üblichen Verfahren lediglich durch die Anwendung eines eigenen Coëfficienten für das Eigengewicht und eines, resp. zweier Coëfficienten für die zufällige Last unterscheidet, nicht zeigt.

### Literatur.

Im Texte sind die benützten Arbeiten mit derselben Nummer citirt.

- 1) G. Rebhann. Theorie der Holz- und Eisenconstructions. Wien 1856. S. 24—29.
- 2) Fairbairn's Versuche über wiederholte Belastung eines Blechträgers. *Civil-Engin. and Archit.-Journal*, 1860. — *Erbkam's Zeitschrift für Bauwesen*. 1862. S. 249. — *Bornemann's Civil-Ingenieur*, 1864. — *Zeitschrift des Architekten- und Ingenieur-Vereines zu Hannover*. 1865.
- 3) Schwedler. Die Prüfung der Brücken mit eisernem Ueberbau auf den preussischen Eisenbahnen. — *Erbkam's Zeitschrift für Bauwesen*. 1862. S. 52.
- 4) Bericht der vom österr. Ingenieur- und Architekten-Vereine aufgestellten Commission zur Bestimmung der Inanspruchnahme des Eisens bei Brücken (Bochholz, Fink, Hermann, Hornbostel, Pontzen). — *Zeitschrift des österr. Ingenieur- und Architekten-Vereines*. 1866. S. 126.
- 5) H. Schmidt. Ueber die Bestimmung der äusseren auf ein Brückensystem wirkenden Kräfte. — *Förster's Bauzeitung*. 1866. Separatdruck. S. 12—17.
- 6) A. Wöhler. Resultate der in der Central-Werkstätte der niederschlesisch-märkischen Eisenbahn zu Frankfurt a. d. Oder angestellten Versuche über die relative Festigkeit von Eisen, Stahl und Kupfer. — *Erbkam's Zeitschrift für Bauwesen*. 1867. S. 67. (Siehe auch Jahrgänge 1860, 1863, 1866.)

- 7) M. M. v. Weber. Die Stabilität des Gefüges der Eisenbahngleise. Weimar 1869. S. 246.
- 8) Ueber die nothwendige Sicherheit bei den Querschnitts-Bestimmungen eiserner Brücken für Strassen und Eisenbahnen. Comitébericht. — Zeitschrift des österr. Ingenieur- und Architekten-Vereines. 1869. S. 205.
- 9) Bericht in Betreff einer zu erlassenden Verordnung über die bei Erbauung eiserner Brücken für Eisenbahnen und Strassen zu beobachtenden Sicherheitsrücksichten; erstattet von dem Comité des k. k. polytechnischen Institutes in Wien. 1869. — Im Auszuge: Deutsche Bauzeitung. 1870.
- 10) A. Wöhler. Ueber die Festigkeitsversuche mit Eisen und Stahl. — Erbkam's Zeitschrift für Bauwesen. 1870. S. 74. — Separat-Ausgabe 1870.
- 11) B. Baker. *Long-span railway bridges and short-span railway bridges.* London 1873. S. 87 etc.
- 12) Launhardt. Die Inanspruchnahme des Eisens. — Zeitschrift des Architekten- und Ingenieur-Vereines zu Hannover. 1873. S. 139.
- 13) G. Müller. Zulässige Inanspruchnahme des Eisens bei Brückenconstructionen. — Zeitschrift des österr. Ingenieur- und Architekten-Vereines. 1873. S. 197.
- 14) L. Spangenberg. Ueber das Verhalten der Metalle bei wiederholten Anstrengungen. — Erbkam's Zeitschrift für Bauwesen. 1874. S. 474. — 1875. S. 77. — Separat-Ausgabe 1875.
- 15) Schäffer. Bestimmung der zulässigen Spannung für Eisenconstructionen. — Erbkam's Zeitschrift für Bauwesen. 1874. S. 398. — Deutsche Bauzeitung. 1875. S. 396. — Deutsche Bauzeitung. 1876. S. 516.
- 16) H. Gerber. Die Bestimmung der zulässigen Spannungen in Eisenconstructionen. — Zeitschrift des bairischen Architekten- und Ingenieur-Vereines. 1874. S. 101. — Auch als Separat-Abdruck. München 1874.
- 17) Weyrauch. Dimensionirung der Eisenconstructionen. Leipzig 1876.
- 18) F. Ritter, Notiz über Festigkeits-Coëfficienten. — Wochenschrift des österr. Ingenieur- und Architekten-Vereines. 1877. S. 61.
- 19) Thurston. Einwirkung der Raschheit der Formänderung auf die Widerstandsfähigkeit der Materialien. — Dingler's polyt. Journal. 1877. B. 223. S. 333.

## Die Tunnel-Variante

der Langelsheim-Clausthaler Gebirgsbahn bei Wildemann in Station 156/72.

Von

**Alois Schlarbaum,**  
Ingenieur.

(Mit Zeichnungen auf Blatt Nr. 10.)

Die Langelsheim-Clausthaler Gebirgsbahn, eine für secundären Betrieb, jedoch normalspurig ausgeführte Zweigbahn, führt im Innerstethale entlang ab Station Langelsheim (Grauhof-Neuekrug) über Lautenthal-Wildemann nach den bergfiscalischen Anlagen der Frankenscharner Silberhütte, und dürfte eventuell in unmittelbarer Nähe der beiden Bergstädte Zellerfeld-Clausthal ihren Abschluss finden.

Die vortheilhafteste Lage einer Trace ist eben die Thalsole; die Thalwindungen sind jedoch hier so rasche, dass gerade diese, weniger das starke Gefälle des Flusslaufes, der Anlage oft bedeutende Schwierigkeiten entgegensezten; ja selbst die geologischen Verhältnisse waren hier bei Wahl der Trace an mehreren Stellen maassgebend gewesen.

Gerade letzterer Umstand gab Veranlassung zur Aufsuchung und späteren Ausführung der in Rede stehenden Tunnel-Variante bei Wildemann. Aus anliegenden Skizzen

ist Situation und Höhenlage der Trace und der Variante ersichtlich.

Die Situation zunächst ist so beschaffen, dass, abgesehen von geringen Abweichungen, eine andere Variante ausser bezeichneter Tunnel-Variante kaum denkbar ist. Die Lage des Ortes im engen Thale, hart am Flusse entlang zwischen den steilen Lehnen des sogenannten Badstubenberges und des Gallenberges, macht dies unmöglich.

Ein fernerer Umstand, welcher für Wahl bezeichneter Tracen maassgebend war, ist die Höhenlage der Bahn; das Planum der Bahn musste in dieser Strecke sehr hoch, mindestens 12<sup>m</sup> über der Innerste liegen, dies war durch die Lage der Bahn in der oberhalb liegenden Thalstrecke bedingt.

Gegen die Ausführung der zuerst gewählten Linie wurden jedoch noch vor definitiver Feststellung der Linie Bedenken erhoben; dieselben waren kurz folgende:

1. Wie schon erwähnt, geologische Verhältnisse. Die Bahn führte in Station 166/171, im Ausschnitte bei Anlage von hohen Stütz- und Futtermauern einer ungünstig geschichteten, stellenweise sehr nassen Felslehne (Grauwacke mit vorwiegenden Thonschieferlagen) entlang; eine Verschiebung der Linie nach rechts war durch die Unmöglichkeit (vielmehr Kostspieligkeit) einer Flussverlegung nicht leicht ausführbar.

2. Die für später, also während des Betriebes, befürchteten Rutschungen des Gebirges an bezeichneter Stelle, sowie Lawinenstürze etc. einer-, dann Feuergefährlichkeit andererseits, welche letztere eben durch zu nahe Lage der Bahn an Baulichkeiten der ganzen Strecke entlang geboten war.

3. Die Schwierigkeit der Ausführung der bedeutenden Sprengarbeiten in unmittelbarer Nähe so vieler bewohnten Gebäude.

4. Endlich war auch der Betrag der Anlagekosten dafür maassgebend, die sogenannte Tunnel-Variante durch den vorgeschobenen Kopf des Gallenberges ausfindig zu machen, welche schliesslich auch in Bezug auf alle vorher geltend gemachten Bedenken sich als die zur Ausführung geeignetere Linie herausstellte.

Die Ausführung des Tunnels speciell wurde contractlich den Italienern Rippa und Ruffini übertragen, welche am 23. Juni 1874 den nördlichen Richtstollen in Angriff nahmen.

Der Gallenberg wurde in der ganzen Länge von 361<sup>m</sup> mit einem 2—2.5<sup>m</sup> weiten Richtstollen, den man von beiden Seiten in Planumhöhe in Angriff nahm, durchfahren.

Ein Wasserzudrang im oberen (südlichen) Stollen war vor auszusehen, und war derselbe namentlich im November 1874, wo man circa an 80<sup>m</sup> Stollen vorgetrieben hatte, hieselbst bedeutend geworden. Aus Schöpfergruben, welche man zur Ansammlung des Wassers anlegte, schöpfte man dasselbe mit Eimer in einen auf einem Rollwagen befestigten, circa 1.25<sup>kbm</sup> haltenden dichten Kasten, welchen man mittelst Pferden nach einer Absturzstelle ausserhalb des Tunnels förderte.

An manchen Tagen (circa 1—2 Tage nach eingetretener Thauwetter) stieg die zu fördernde Wassermenge auf das 3—4fache des zu fördernden Gebirges, das ist rund auf 75—100<sup>kbm</sup>.

Der Richtstollen wurde als Sohlenstollen begonnen,

in Gegend der Tunnelanfänge zum Firste aufgeföhren und als Firststollen (Kappe) vorgetrieben. Der Ausbruch des vollen eingeleisigen Profils wurde also in Form des Strossenbaues ausgeföhrt, und rückte man mit der Strosse in Entfernungen von 10—15<sup>m</sup> dem Orte im Firste nach, so dass circa 3 Wochen nach dem Durchschlage im Richtstollen (10. Juni 1875) der Vollaushbruch des Tunnels (Anfang Juli 1875) beendigt war.

Der mehr oder minder unregelmässige Holzeinbau im Tunnelausbruche war im unteren Theile des Tunnels an

einer circa 40<sup>m</sup> langen sehr nassen Stelle (Grauwacke mit schwachen Thonschieferlagen), und im südlichen Theile in einer circa 20<sup>m</sup> langen sehr nassen Strecke im reinen Thonschiefergebirge erforderlich, hatte aber weniger den Zweck, Gebirgsdruck aufzunehmen, sondern vielmehr die Strecke gegen den Absturz von Felstrümmern bis zum Zeitpunkte der Mauerung zu sichern.

Nachstehende Tabelle zeigt den Fortschritt der Arbeiten im Zusammenhange mit den dabei aufgewendeten Arbeitskräften und Sprengmitteln.

### Mineurarbeit.

Baustrecke (à Station = 100 <sup>m</sup> )	Periode		Arbeitskräfte				Leistung		Bohrlöcher		Verwendete Materialien						Stückzahl der geschärfen Bohrer
	von	bis	Mineur	Schlepper	Pferde	Knechte	Curr.- Meter	Kub.- Meter	Länge in Meter	Anzahl	Kilogramm						
											Schw.- pulver	Dyna- mit	Brennöl	Kapsel	Zünd- schnur	lfd. M.	
Nördl. Richtstollen 163 + 52 bis 164 + 24	23. Juni 1874	24. Sept. 1874	706	279	—	—	72	288	1500	2200	368	70	—	—	—	—	5250
164 + 24 „ 164 + 57	24. Sept. 1874	10. Dec. 1874	561	88	—	—	33	249	806	1073	198	36	—	—	—	—	4044
164 + 57 „ 165 + 8	10. Dec. 1874	1. April 1875	936	23	—	—	51	388	830	1676	200	40	—	—	—	—	4300
165 + 8 „ 165 + 50	1. April 1875	10. Juni 1875	811	—	—	—	42	315	1084	1580	421	—	—	—	—	—	5270
In Summa $\frac{163 + 52}{165 + 50}$	23. Juni 1874	10. Juni 1875	3014	390	—	—	198	1240	4210	6529	1187	146	—	—	—	—	18864
Südl. Richtstollen 167 + 13 bis 166 + 75	29. Juni 1874	5. Sept. 1874	481	188	—	—	38	152	1080	1600	264	58	—	—	—	—	4050
166 + 75 „ 166 + 25	5. Sept. 1874	10. Dec. 1874	755	307	—	—	50	375	1242	1753	354	67	—	—	—	—	7159
166 + 25 „ 165 + 83	10. Dec. 1874	1. April 1875	1024	4	—	—	42	315	1280	1920	310	60	—	—	—	—	6800
165 + 83 „ 165 + 50	1. April 1875	10. Juni 1875	827	—	—	—	33	248	1160	1740	464	—	—	—	—	—	6032
In Summa $\frac{167 + 13}{165 + 50}$	29. Juni 1874	10. Juni 1875	3087	499	—	—	163	990	4762	7013	1392	185	—	—	—	—	24041
Der ganze Stollen 163 + 52 bis 167 + 13	23. Juni 1874	10. Juni 1875	6101	889	—	—	361	2230	8972	13542	2579	331	—	—	—	—	42905
Nördl. Vollaushbruch	18. Oct. 1874	1. Juli 1875	5222	2565	—	—	140	3780	6559	9419	1826	198	—	—	—	—	34467
Südl. Vollaushbruch	9. Oct. 1874	1. Juli 1875	6218	2694	468	468	128	3456	8351	11546	2045	314	—	—	—	—	44157
Summa der ganzen Vollaushbrüche incl. Richtstollen			11440	5259	468	468	268	7236	14910	20965	3871	512	—	—	—	—	78624
Total			17541	7148	468	468	—	9466	23882	34507	6450	843	4000	3900	19100	—	121529
Für 1 <sup>km</sup> Gebirge Gewinnung und mittl. Transport von 200 <sup>m</sup>	beträgt für Richtstoll.		2.74	0.40	—	—	—	—	4.3	6.1	1.16	0.15	—	—	—	—	19.3
	Vollaushbruch		1.58	0.72	0.21	0.21	—	—	2.06	2.9	0.54	0.07	—	—	—	—	10.9

Die Bohrarbeit wurde vorherrschend zweimännig ausgeföhrt und mit schwerem Gezähe (Fäustl 11 — 12 Pfund, Bohrer 3<sup>cm</sup> Stärke).

Es beträgt demnach laut vorhergehender Tabelle bei Annahme einer reinen 10stündigen Arbeit pro Schicht für 1<sup>km</sup> Gebirge und unter der Voraussetzung, dass im Mittel per laufenden Meter Bohrlochtiefe rund 2½ Stunden zweimännige Bohrarbeit erforderlich waren, und zwar:

a) Für Stollenarbeit per Kub.-Meter Gebirge

Gewinnung incl. Förderung (2.74 + 0.40) × 10 = 31.4 Std.  
Anfertigung des Bohrloches,  
Versetzen und Abfeuern  
der Minen; zweimännig  $2 \times 2\frac{1}{2} \times 4.3 = 21.5$  „  
Verbleibt für die Brecharbeit, Holzeinbau  
und Gebirgsförderung etc. . . . . 9.9 Std.

Rechnet man ferner von . . . . . 9·9 Std.  
für Transporte:

( $9^{k_{bm}}$  pro 10 Stunden) oder pro Kub.-Mtr.  $\frac{10}{9}$  Std. = 1·1 „  
Verbleibt für Brecharbeit und Laden des Gebirges in die Transportgeräte . . . . . 8·8 Std.

das heisst, die Bohrarbeit beträgt etwa die  $2\frac{1}{3}$ -fache Zeit der Brecharbeiten.

b) In analoger Weise berechnet sich für den erweiterten Bau:

Gewinnung incl. Förderung  $(1·58 + 0·72) \times 10 = 25·10$  Std.  
Anfertigung des Bohrloches

etc., zweimännig  $2 \times 2\frac{1}{2} \times 2·06 = 10·30$  „

Verbleibt für Brecharbeit, Holzeinbau, Laden des Gebirges und Förderung . . . . . 14·80 Std.

ab Transporte . . . . . 1·10 „

Verbleibt für Brecharbeit und Laden des Gebirges 13·70 Std.,

das heisst, die Bohrarbeit erfordert rund die gleiche Zeit wie die Brecharbeit.

Der Fortschritt der Mineurarbeit betrug im Mittel:

- a) für den Richtstollen vor einem Ort . . . . . 0·52 lfd. Mtr. pro 24 Stunden
- b) für den erweiterten Tunnelausbruch . . . . . 0·50 „ „ „ 24 „

Die Bauzeit des Tunnels war ursprünglich mit 18 Monaten, das ist also bis Ende 1875, bemessen worden; es konnte daher von Einführung maschineller Bohrung ganz und gar abgesehen werden, und konnte der ganze Tunnel bei einigermaßen forcirter Maurerarbeit vollauf in 16 Monaten fertig gestellt sein.

Die folgenden Tabellen geben nun einen Ausweis der wirklich aufgelaufenen Kosten der Mineur- und Maurer-

I.  
**Kosten der Mineur- und Maurerarbeit.**

Arbeit und Material	Menge	Maassgattung	Bezeichnung	Einheitspreis		Betrag		Bemerkung
				Mark	Pf.	Mark	Pf.	
Arbeitskräfte	17541	Tagwerke	Mineure . . . . .	4	—	70164	—	Ausbruch total: 9466 <sup>k<sub>bm</sub></sup> incl. Förderung auf 200 <sup>m</sup> .
	6148		Schlepper . . . . .	3	50	21518	—	
	468		Knechte . . . . .	3	—	1404	—	
	468		Pferde incl. Abnützungsk. } keine tägliche Arbeit	5	50	2574	—	
Sprengmaterialien	843	Kilogramm	Dynamit . . . . .	3	30	2781	90	per Kub.-Meter also: incl. Förderung . . . . . 13·60 Mark Förderungskosten $(1 + 0·40) \times 0·42 = 0·59$ „ Bleibt für Gewinnung . 13·01 Mark = rund 13 Mark
	6450		Schwarzpulver . . . . .	0	90	5805	—	
	19100		laufend. Mtr. Stücke	0	03·6	687	60	
	3900		Kapsel . . . . .	0	01·8	70	20	
Beleuchtung	4000	Kilogramm	Oel (incl. Dochte) . . .	0	78	3120	—	
Material- und Erhaltungskosten	160	Kub.-Meter	Rundholz und Schalung (abzüglich des Werthes des nach der Ausführung der Mauerung wiedergewonnenen Holzes) . .	15	—	2400	—	
	Löhne der Handwerksleute zur Erhaltung des Inventars, Schmiedearbeit etc. Schmiedekohlen, Stahl u. Eisen zur Erhaltung der Werkzeuge, Stiele für Bickel, Schaufel, Schlägel etc., Holz zur Unterhaltung der Material- und Transportwagen etc., ferner Diverse, als: Schmiere, Verluste etc., Abnützung der Transportbahn, Erhaltung derselben, Ketten, Seile, Winden, Schöpfergeräte etc., Entschädigung für Geschäftsleitung . . . . .					18150	—	
Mineurarbeit Summa . . . . .						128744	70	128744·70 Mark
Arbeitskräfte und Rüstungen	4223	Tagwerke	Maurer . . . . .	4	50	19003	50	Die Herstellungskosten für 1 <sup>k<sub>bm</sub></sup> Mauerwerk incl. Rüstungen und Verfugen betragen demnach: $31513·5$ $\frac{2725·63}{31513·5} = \text{rund } 11·60 \text{ Mark.}$
	3016		Handlanger, Mörtelmacher Lehngerüste und Mauergerüste nach Abzug des Restwerthes . . . . .	3	75	11310	—	
Materialie excl. Cementlieferung	680	Kub.-Meter	Mauersand . . . . .	2	—	1360	—	Die Kosten für Diverse, als: Geschäftsleitung, Abnützung der Geräte, Seile, Ketten, Winden etc. sind bereits unter Mineurarbeit enthalten.
	130		Rohe Sandsteinquader . .	48	—	6240	—	
	130		Bearbeitung derselben . .	6	—	780	—	
	38·225		Hartbrandstein . . . . .	61	50	2350	84	
	299·652		detto . . . . .	69	—	20675	99	
	139·468		detto (ganz keilige)	81	—	11296	91	
	477·345		Ziegel nach dem Planum der beiderseitigen Tunnel-eingänge zu schaffen Ziegelbruch, Werksteinbruch etc. . . . .	2	25	1074	02	
5% Verlust . . . . .						2028	18	
Maurerarbeit in Summa . . . . .						77319	44	77319·44 Mark
Totalausgaben des Unternehmers für inneren Tunnel . . . . .								206064·14 Mark

Dem gegenüber stellt sich die Gewinnstsumme der Unternehmer für den inneren Tunnel:

## II.

Bezeichnung	Maassgattung	Menge	Einheitspreis		Betrag		Bemerkung
			Mark	Pf.	Mark	Pf.	
<b>A) Mineurarbeiten.</b>							
Richtstollen . . . . .	laufend. Mtr.	361	120	—	43320	—	
Vollausbruch des Tunnels . . . . .	" "	268	390	—	104502	—	
Förderung des Gebirges 50 <sup>m</sup> w. . . . .	Kub.-Meter	230	0	18	41	40	
200 <sup>m</sup> " . . . . .	" "	4870	0	27	1314	90	
50 <sup>m</sup> " . . . . .	" "	156	0	18	28	08	
500 <sup>m</sup> " . . . . .	" "	4210	0	44	1852	40	
15% Gerätegeld vom Transporte . . . . .	" "	.	.	.	485	82	
<b>Summa der Mineurarbeiten . . . . .</b>					<b>151544</b>	<b>60</b>	<b>151544·60 Mark</b>
<b>B) Maurerarbeiten.</b>							
Mauerwerk der Widerlager und Gewölbe in Cementmörtel (excl. Steine, incl. Sand) . . . . .	Kub.-Meter	2725·63	15	60	42519	83	
Rettungsnischen . . . . .	Stück	9	60	—	540	—	
Materiallieferungen, Bruchsteine aussetzen und aufrichten, welche dem Tunnelausbruche entnommen wurden . . . . .	Kub.-Meter	2032·36	0	92·5	1879	93	
Sandsteine bearbeitet angeliefert . . . . .	" "	116·483	60	—	6988	98	
Lieferung von Hartbrandsteinen im Normalformat . . . . .	Mille	257·345	61	50	15826	72	
ditto ganzkeilige u. halbkeilige Steine . . . . .	" "	220·000	61	50	13530	—	
Vergütung für Lieferung der ganzkeiligen Steine . . . . .	" "	139·468	12	—	1673	62	
<b>Summa der Maurerarbeit incl. Materiallieferung (excl. Cement) . . . . .</b>					<b>82959</b>	<b>08</b>	<b>82959·08 Mark</b>
<b>Totale Verdienstsumme der Unternehmer . . . . .</b>							<b>234503·68 Mark</b>

arbeit, im Anhang aber eine Zusammenstellung der Kosten für den inneren Tunnel, wie sie sich nach dem Arbeitscontracte der Unternehmer ergaben.

Der bei Ausführung des inneren Tunnels erzielte Gewinn des Unternehmers berechnet sich also:

Verdienstsumme . . . . . 234503·68 Mark

verausgabt . . . . . 206064·14 „

bleibt Gewinn . . . . . 28439·54 Mark

Eine vergleichende Kostenzusammenstellung für die Arbeiten in den beiderseitigen circa 14000<sup>kbm</sup> Gestein enthaltenden Voreinschnitten lässt sich zur Stunde nicht aufstellen, da diese Arbeit noch nicht abgerechnet wurde.

Im Allgemeinen kam der durch die Voreinschnitte hindurchgetriebene Richtstollen des Tunnels der Förderung des Gebirges aus den Einschnitten sehr zu statten, und betrogen nach einer im ersten halben Jahre des Baues gemachten Zusammenstellung für Gewinnung von 1<sup>kbm</sup> Schussgestein in den beiderseitigen Voreinschnitten (feste Grauwacke mit schwachen Thonschieferadern durchlaufen) incl. eines Transportes auf 100<sup>m</sup>:

0·48 lfd. Mtr. Bohrloch  
 0·22 Mineure à 4 — Mark . . . . = 0·88 Mark  
 0·09 Handlanger à 3·50 „ . . . . = 0·32 „  
 0·15<sup>kg</sup> Pulver à 0·90 „ . . . . = 0·14 „  
 0·07<sup>kg</sup> Dynamit à 3·30 „ . . . . = 0·23 „

Fürtrag 1·57 Mark

Uebertrag 1·57 Mark

0·48 lfd. Mtr. Bohrloch

0·50<sup>m</sup> Zündschnur à 0·036 Mark . . . . = 0·02 „

0·40 Kapsel à 0·018 „ . . . . = 0·01 „

Summa 1·60 Mark

hiez 15% der Arbeitskosten für Rollbahnen,

Gezähe, Geräte und sonstige Rüstungen, d. i. 0·24 „

Summa 1·84 Mark.

Rechnet man die Transportkosten mit

$(1 + 0·15) \times 0·18$  Mark . . . . = 0·21 „

ab, so bleiben die reinen Gewinnungskosten = 1·63 Mark

Das Verhältniss der Brecharbeit zur Bahnarbeit berechnet sich analog der für die Mineurarbeit in dem inneren Tunnel aufgestellten Berechnung, wie folgt:

Arbeitszeit per Kub.-Mtr. Gebirge  $(0·22 + 0·09) \times 10 = 3·10$  St.

ab Transportzeit  $0·05 \times 10$  St. . . . . = 0·50 „

bleibt für Mineurarbeit und Laden des Gebirges

in die Geräte . . . . . = 2·60 St.

Zeit zum Bohren, Laden und Abfeuern der Minen

(zweimännige Arbeit)  $2 \times 2$  St.  $\times 0·48$  . = 1·92 „

Verbleibt für Brecharbeit u. Laden des Gebirges etc. = 0·78 St.

Die Bohrarbeit erfordert also rund die  $3\frac{1}{3}$ fache Zeit der Brecharbeit.

N. B. Diese Werthe würden bei Gewinnung von circa 5200<sup>kbm</sup> Schussgestein, also ein gutes Drittel des gesammten Inhaltes der Voreinschnitte ermittelt. Der geringe Werth

der Gewinnungs- speciell Ladekosten ist lediglich auf den hiebei in Ausführung gebrachten englischen Einschnittsbetrieb (Förderstollen mit Schüttlöcher) zurückzuführen.

Die durchschnittlichen Gewinnungskosten von 1<sup>kbm</sup> Gestein in fünf anderen Einschnitten (ermittelt bei Gewinnung von 13500<sup>kbm</sup> Gebirge) betragen (excl. Transport):

0·25 Mineure	à 4·00 Mark	. . = 1·00 Mark
0·16 Handlanger	à 3·50	" . . = 0·56 "
0·19 <sup>kg</sup> Pulver	à 0·9	" . . = 0·17 "
0·02 <sup>kg</sup> Dynamit	à 3·3	" . . = 0·07 "
0·97 <sup>m</sup> Zündschnur	à 0·036	" . . = 0·035 "
0·08 Stücke Kapsel	à 0·018	" . . = 0·001 "

Summa 1·836 Mark

15% Regiekosten etc. . . . . 0·275 "

Summa rund 2·11 Mark

Die Ersparung an Ladekosten in Folge engl. Betriebes betrage demnach per Kub.-Meter Gebirge 2·11 Mark

— 1·63 "

= 0·48 Mark,

also für die gesammte Kubatur der Voreinschnitte, d. i.

rund  $14000 \times 0·48 = 6720$  Mark,

welche Kostenersparniss natürlich dem Unternehmer zu Gute kommt, da der Förderstollen, als zum Tunnelbaubetriebe gehörig, in seiner ganzen Länge von 361<sup>m</sup> bezahlt wurde.

Wäre selbst letzteres nicht der Fall gewesen, so resultirt trotzdem in Folge dieses Betriebes der Einschnitte mittelst Förderstollen und Schüttlöcher für den Unternehmer ein Gewinn, der sich wie folgt berechnen lässt:

Kosten des Stollens von  $(361 - 268) = 93^m$  Länge d. i.  $93 \times 5 \square^m = 465^{kbm}$ ,

Einheitspreis-Differenz =  $13^{mk} - 1·63^{mk} = 11·37^{mk}$  per Kub.-Mtr. Stollenausbruch; also Gesamtmehrausgabe für den 93<sup>m</sup> langen,  $\frac{2}{3}$ <sup>m</sup> weiten Förderstollen = 5287 Mark

Ersparniss . . . . 1433 Mark,

abgesehen von dem Nutzen eines rascheren Baubetriebes.

Die Gesamtkosten des Tunnels incl. Voreinschnitte betragen annähernd, und zwar:

Voreinschnitte . . . . . 40000 — Mark

Innerer Tunnel (incl. Cementlieferung) 260500 — "

Summa 300500 — Mark.

## Verbesserung in der Herstellung von Unraths-Canälen.

Von

**Victor E. Tschepper,**

Ingenieur.

(Mit Zeichnungen auf Blatt Nr. 11.)

Die Reinhaltung des Bodens, auf welchem unsere Wohnstätten sich befinden, bildet schon seit langer Zeit den Gegenstand fachgemässer Erörterungen, und die Gemeinde-Verwaltungen grosser und kleiner Städte, ja selbst

Landgemeinden sind von der an sie immer nothwendiger herantretenden Aufgabe, für eine rationelle Abfuhr der Abfallstoffe und Entwässerung des Grundes Sorge zu tragen, durchdrungen.

Die Gesundheitspflege der Bewohner erheischt in erster Linie alle jene Einrichtungen, welche geeignet sind, diesen vorgedachten Aufgaben in möglichst vollkommener Weise gerecht zu werden.

Auch hier in Wien ist die Lösung dieser Frage Gegenstand fortwährender, eingehendster Studien, sowohl seitens des Ingenieur- und Architekten-Vereines, als auch der Communal-Vertretung.

Für welches System nun immer seiner Zeit entschieden werden sollte, ob Schwemm- oder Abfuhr-System (die Discussion dieser Frage sei hier umgangen), in allen Fällen müssen Canäle hergestellt werden.

Der zweckentsprechendsten Bauart derselben ist das grösste Augenmerk zuzuwenden und dürfte deshalb jede Verbesserung in dieser Richtung willkommen sein und verdient die weitestgehende Verbreitung.

Das wesentlichste Erforderniss einer guten Canalisirung, bei vorausgesetzter Festhaltung an den in constructiver Beziehung vorgezeichneten Grundsätzen, ist unzweifelhaft die Herstellung einer dauerhaften, wasserdichten, glatten Sohle, welche den zerstörenden Einflüssen der die Unrathscanäle passirenden Säuren am besten widersteht, und vermöge ihrer Glätte das Anhäufen der festen Fäcalien verhindert, sowie die grösste Gewähr für eine vollkommene Ableitung der Abfallmassen und Wässer bietet.

Unter allen Materialien, welche die Erreichung dieser Grundbedingungen am sichersten erwarten lassen, nimmt das gebrannte und glasirte Steinzeug (Steingut) wohl den ersten Rang ein, es widersteht bekanntlich allen Säuren, ist unverwitterlich und von ausserordentlicher Härte. Durch seine glasirte Oberfläche wird die Sedimentirung sowie Anhaftung der Unrathstoffe geradezu unmöglich, erleichtert somit, oder fördert schon an und für sich, die Reinhaltung der Canäle, ist, wie erwähnt, sehr dauerhaft und im grossen Ganzen billiger herzustellen, als sonst ein zu diesem Zwecke geeignetes und den Vorzügen des Steinzeuges gleich kommendes Material.

Bekanntlich hat man in England wie auch in Deutschland Canalsohlen aus Steinzeug in Anwendung gebracht und nur die etwas kostspielige und hohle, daher leicht zerbrechliche Construction, welche man derselben gab (es wurden durchbrochene Steinzeugquadern, wie solche auf der angeschlossenen Zeichnung Fig. F ersichtlich, angewendet), verhinderten eine weitergehende Verbreitung dieser im Principe anerkannten Verbesserung in der Herstellung von Canälen.

Die nun vor Kurzem hier in Wien in dieser Richtung gewählte Form einer Steinzeugverkleidung für Canäle, gleichviel, ob diese aus Ziegeln oder Betonguss hergestellt sein mögen, kann nicht verfehlen, die Aufmerksamkeit der berufenen Organe auf sich zu ziehen, weil dieselbe allen an die Sohle gestellten, oben des weiteren angeführten

Anforderungen entspricht und alle jene Vortheile, welche im Vorstehenden für das Steinzeug im Allgemeinen geltend gemacht worden sind, in sich schliesst.

In Anbetracht der verhältnissmässig billigeren Herstellung und vermöge ihrer massiven Construction, grössere gewährleistende Solidität, als die der erwähnten in Deutschland und England angewandten Sohlenquader, und in Folge der leichten Einbettung in die Sohle der Canäle, hat dieses System von Steingutverkleidung zweifellos Anspruch auf die Bezeichnung einer rationellen Verbesserung in dem Bau von Canälen.

Diese in Rede stehende Verkleidung besteht, wie dies aus der Zeichnung Fig. B und D ersichtlich, aus grösseren concaven, glasierten, an der unteren Lagerseite rauhen Steinzeugplatten, welche in der Sohle der Canäle in eine Betonbettung oder in hydraulischen Kalkmörtel gelegt, und deren einzelne Theile an den Stossfugen mittelst Portland-Cement derart verbunden werden, dass nicht nur ein Durchsickern von Flüssigkeiten gänzlich ausgeschlossen ist, sondern auch der Sohle eine vorzügliche Härte und Glätte gegeben wird, welche das Fortschwemmen der Unrathstoffe bedeutend erleichtert.

Die Vortheile dieses Systemes sind so augenfällig und daher dasselbe um so mehr empfehlenswerther, als selbst bei Anwendung der besten Ziegel oder anderweitigen Mauermaterials und härtesten Portland-Cementverputz, wie auch bei solidester Arbeit, eine solche fortlaufende glatte Sohlenherstellung niemals erzielt werden kann, als sie derartige Platten zu bieten vermögen.

Nachdem, wie schon bemerkt, einer Durchsickerung übelriechender Massen und Flüssigkeiten durch derartige Platten gründlich vorgebeugt, und die Reibung hier in Folge der Glätte, eine so geringe ist, so kann man den Canälen auch ohne Nachtheil ein minderes Gefälle geben, ein Umstand, der in manchen Fällen sehr wünschenswerth.

Was den Kostenpunct betrifft, so ist die Mehrauslage, welche eine Belegung der Sohle mit den besprochenen Platten bedingt (circa 3 — 5% des Canalwerthes) eine den Vorzügen gegenüber wirklich verschwindend kleine, und selbst dieses Minimum-Plus ist nur ein imaginäres, augenblickliches, indem es durch die unvergleichlich grössere Dauerhaftigkeit solcher Canäle, wie auch durch die Ersparniss, welche bei der Reinigung derselben erzielt wird, in kürzester Zeit eingebracht ist, nachdem es in der Natur der Sache selbst begründet, die Säuberung einer glatten Fläche viel leichter und rascher möglich ist, als die einer mehr oder weniger rauhen, welche letztere auch noch das Ansetzen der passirenden Stoffe viel eher zulässt.

Auf der Zeichnung stellt Fig. A das Normalprofil II der Stadt Wien und Fig. B dasselbe mit Verwendung der Steinzeugplatten-Verkleidung dar.

Aus der üblichen Berechnung des letzteren Profils resultirt, dass an Erdaushebung und Mauerwerk, nachdem der innere untere Sohlenring des Normalprofils entfällt, da derselbe durch die Steinzeugplatten ersetzt wird, Ersparnisse gemacht werden, die in Rechnung gezogen, den Canal mit Plattenverkleidung nur um circa 3 — 5% erhöhen.

Ganz besonders hervorzuheben und empfehlend sind die Canäle aus Betonguss mit Steinzeugplatten-Verkleidung.

Die mittlere Zeichnung, Fig. C, welche ein projectirtes Querprofil für Betonguss-Canäle mit Steinzeugplatten-Verkleidung darstellt, soll das Normal-Querprofil II der Commune Wien ersetzen.

Bei demselben sind Dimensionen für Wandungen, Gewölb und Sohle angenommen, die gemäss Erfahrung vollkommen genügen, um den Anforderungen, welche man an Canäle stellt, gerecht zu werden.

Es wurde für Beton-Canäle ein mehr eiförmiges Profil projectirt, welches sich sicher auch für Ziegel-Canäle besser eignen würde, als die bestehenden Normalprofile der Stadt Wien, weil dasselbe den Vortheil bietet, dass sich die Abflussfläche verringert, wodurch das die Canäle passirende Wasser einen stärkeren Druck übt, somit die Fäcalsmassen leichter mitschwemmt und ein Ansetzen der Abflusstoffe in sehr erhöhtem Maasse hindert.

Die hier zur Verwendung kommenden Steinzeugplatten, Fig. E, sind dem Radius der Sohle angepasst, haben eine glasierte Oberfläche und ein horizontales Lager, das am unteren Theil zum Zwecke der besseren Bindung stark gerippt ist. An der Längsseite erhalten die Platten Einschnitte, Einkerbungen, welche, mit Beton ausgegossen, den Platten eine sehr feste Lage verleihen. Bei der Eiform der Beton-Canäle genügt eine einzige Steinzeugplatte am untersten Theile, indem man bis zum Gewölb anlauf einen Portland-Cementverputz voraussetzt, was für die doch weniger der Abnützung ausgesetzten Seitentheile jedenfalls genügt.

Diese Steinzeugplatten sind auch für Reparaturen schadhafter, morscher Sohlen geeignet, indem diese einfach ausgestemmt und durch einen Plattenbeleg ersetzt werden können.

Bei der Bedeutung, welche guten Canälen in jeder Beziehung zuerkannt werden muss, steht zu erwarten, dass diese Verbesserung in eben dem Masse eine weitere Verbreitung finden wird, als der Hoffnung Raum gegeben werden möchte, dass das ungerechtfertigte, möglicherweise auch durch persönliche Rücksichten genährte Vorurtheil, welches hierorts noch gegenwärtig gegen die Anwendung von Canälen aus Betonguss vorherrscht, angesichts der bereits mehrseitig erprobten Dauerhaftigkeit derselben auch in Wien allmählig schwinden wird, und bei den bedeutenden Kosten, welche durch die Herstellung, Ausdehnung und Reinigung des Canalnetzes der Residenz der Commune erwachsen, jenen Erfahrungen Rechnung getragen werden möge, welche auf diesem Gebiete bereits erworben worden sind, und deren Vortheile der Allgemeinheit zugeführt werden sollen, sobald damit Ersparnisse, sei es in Bau, Erhaltung oder Reinigung der Canäle, für die Steuerträger erzielt werden.

## Ueber Constructions-Details der Eilzug- Locomotive

der österr. Nordwestbahn.

Vortrag, gehalten in der Fachversammlung der Maschinen-Ingenieure  
des österr. Ingenieur- und Architekten-Vereines

von

**Ed. Slegmeth,**

Ingenieur der österr. Nordwestbahn.

(Mit Zeichnungen auf Blatt Nr. 12.)

Das grosse Interesse, welches gegenwärtig in Fachkreisen dem Gebiete der Eilzug-Locomotiven zugewendet wird, rechtfertigt wohl die Besprechung einiger Constructions-Details der eingangs erwähnten Maschine und das Verhalten derselben während des Betriebes, und zwar um so mehr, da bereits Herr Anton Elbel, Werkstätten-Oberinspector der österr. Nordwestbahn im 11. und 12. Hefte der Vereinszeitschrift, Jahrgang 1874, diese neue Type sowie die Gründe ihres Entstehens unmittelbar nach Vollendung der Maschinen veröffentlichte, und weil theilweise principielle Neuerungen oder die Anwendung und Verbesserung einiger Constructions Beachtung verdienen.

Zwei Stück Locomotiven nach der in Rede stehenden Construction wurden von der Wiener Actien-Locomotiv-Fabrik in Floridsdorf in einem Zeitraum von vier Monaten angefertigt, am 9. Juni 1874 geliefert, und sind dieselben demnach nahezu zwei Jahre in Betrieb.

Es dürfte trotz Hinweisung auf oben erwähnte Abhandlung geboten erscheinen, die Haupt-Dimensionen und Anordnungen in Erinnerung zu bringen, um die zu besprechenden Gegenstände im Zusammenhange betrachten zu können; diese sind:

Durchmesser der Triebräder . . . . .	1·900 <sup>m</sup>
„ „ Laufräder . . . . .	0·989 <sup>m</sup>
Cylinder-Durchmesser . . . . .	0·410 <sup>m</sup>
Kolbenhub . . . . .	0·632 <sup>m</sup>
Effective Dampfspannung . . . . .	10 Atmosphären
Mittlerer Kessel-Durchmesser . . . . .	1·260 <sup>m</sup>
Rostfläche . . . . .	1·8 □ <sup>m</sup>
Heizfläche der Box . . . . .	8·0 □ <sup>m</sup>
„ „ Totale . . . . .	111·0 □ <sup>m</sup>
Zahl der Feuerrohre von 51 <sup>mm</sup> äuss. Dmtr. 167 Stück.	
Länge derselben . . . . .	3·850 <sup>m</sup>
Gewicht der Maschine, dienstfähig . . . . .	42 Tonnen
„ „ „ leer . . . . .	37·5 „
Druck auf die Schiene durch die Laufachsen 17·5 „	
„ „ „ „ Kuppelachse 12·1 „	
„ „ „ „ Triebachse 12·4 „	
Adhäsions-Gewicht . . . . .	24·5 „

Die Maschine hat äussere Rahmen, Cylinder und Steuerung, ferner Hall'sche Kurbeln und ist mit einem Truckgestell versehen, die Cylinder liegen nahezu in der Mitte der Maschine, die Triebachse hinter der Box.

Die Details, welche ihrer besonderen Construction oder ihres Verhaltens wegen zu besprechen sind, sind folgende:

1. Das Truckgestell,
2. die Steuerung,
3. der Regulator,
4. der Speiskopf,
5. das Injector-Dampfventil.

Ad 1. Das Bedürfniss eines exact wirkenden Truckgestelles,

für Locomotiven, welche Personen-Züge auf Gebirgsbahnen mit vorherrschenden Krümmungen mit grosser Geschwindigkeit zu befördern haben, ist vorhanden, und die Anwendung desselben vollständig motivirt.

Das in Rede stehende Truckgestell, Fig. 1, Tafel 12, hat einen Radstand von 1·800<sup>m</sup>, also 0·5 bis 0·8<sup>m</sup> mehr, als bis jetzt in Oesterreich üblich war, und findet die Uebertragung des Gewichtes des Vordertheiles der Maschine auf die Laufräder nur durch eine Kugel *a*, Fig. 1, von 260<sup>mm</sup> Durchmesser statt; dieselbe bildet die einzige Verbindung der Maschine mit dem Truckgestell, wenn man von den mit genügendem Spiele montirten Sicherheitsösen *b*, Fig. 1, absehen will und die beiden seitlichen Sicherheits-Auflagen nicht benützt.

Durch den grossen Radstand ist das Truckgestell befähigt, bei grosser Geschwindigkeit sehr ruhig durch die Gerade zu laufen, und ist die Gefahr des Aufsteigens des Vorderrades in dem Verhältnisse gemindert, als der Schnittwinkel des Radflantsches mit der Schiene durch die grössere Entfernung des Rades vom Drehmittel verkleinert wird\*).

Durch das Kugelgelenk wird dem Fahrzeuge eine Beweglichkeit gegeben, welche es ihm ermöglicht, allen Unebenheiten der Bahn leicht zu folgen, ohne diese Bewegungen dem Vordertheile der Maschine, resp. dem Kessel, zu übertragen, da die Kugel als Balancier wirkt, also auch gleichzeitig ihre eigene Entlastung nicht zulässt; ferner wird die Einfahrt in Curven ohne Stoss erfolgen, da eine Ablenkung der Vorderräder leichter möglich ist, als bei seitlicher Belastung.

Für die in Fig. 1 gegebene Construction bei centraler Belastung genügt ein Kraftaufwand von 200<sup>kg</sup> am Radmittel, die Reibung der Kugel zu überwinden, bei seitlicher Belastung erhöht sich diese Kraft auf 1000<sup>kg</sup>. Zieht man noch die Adhäsion der Laufräder auf den Schienen in Betracht und nimmt sie zu  $\frac{1}{4}$  der Radbelastung an, so ergibt sich für die am Radflantsch nöthige Kraft zum Drehen des Truckgestelles im ersten Falle mit 2450<sup>kg</sup>, im zweiten Falle mit 3300<sup>kg</sup>, demnach 30% weniger Kraftaufwand für die Ablenkung bei centraler Belastung, als bei Seitenaufgabe.

Bei Truckgestell-Locomotiven, welche zwar auch eine Kugel als Drehmittel haben, bei denen aber die Uebertragung der Belastung durch zwei seitliche Aufgestöckel stattfindet, kann bekanntlich bei sehr unebener Bahn ein einseitiges Abklappen eintreten, was bei centraler Belastung, wie schon erwähnt, ausgeschlossen ist.

Die Auflageflächen der Kugel, welche aus Gusseisen hergestellt ist, haben sich während zweijähriger Benützung vollständig glatt erhalten, und haben daran auch nicht die geringsten Reparaturen stattgefunden; die Kugel bietet eben eine Auflage von 300 □<sup>cm</sup> und hat nur einen Druck von 13·5 Tonnen, also 45<sup>kg</sup> pro □<sup>cm</sup> auszuhalten; die Haltbarkeit der Kugel steht ausser allem Zweifel.

Aehnliche Balance-Bewegungen, wie sie die Kugelaufgabe gestattet, sind auch bei vielen amerikanischen Constructions erreicht worden, so z. B. auch beim Pullmann'schen Schlafwagen durch Querfedern.

Durch den grossen Radstand des Trucks wird indirect auch der Gesammtadstand der Locomotive vergrössert, welcher von Mitte Truckgestell bis Mitte Hinterachse 5<sup>m</sup> beträgt, und für

\* Im Organ, Suppl.-Bd. I, Seite 178, findet sich ein vorzügliches Referat der Thüringischen Bahn über den „Radstand für Curvenbahnen“.

die Fahrt in der Geraden als steif angenommen werden kann; dieser grosse Radstand im Vereine mit der richtigen Situirung der auf störende Bewegung Einfluss habenden Massen lassen einen ruhigen Gang der Maschine in der Geraden, während die Construction des Truckgestelles eine vortheilhafte Wirkung in Curven zur Folge hat.

Je eine dieser Locomotiven hat bis jetzt 98600<sup>km</sup> zurückgelegt, und es haben vielfache Beobachtungen gezeigt, dass die angehofften Vorzüge diesen Maschinen in einem sehr hohen Grade eigen sind: in der Geraden bei 75<sup>km</sup> Geschwindigkeit vollständig ruhiger Gang, die Einfahrt in Curven sanft und sogar die Einfahrt in Weichencurven ohne merklichen Stoss. Der Vorgang bei Construction einer Locomotive für grosse Geschwindigkeiten: das Hauptgewicht auf den ruhigen Gang derselben, also auf Sicherheit zu legen, und zwar selbst auf Kosten der Einfachheit mancher Details, erscheint daher als wohlberechtigt.

### Ad 2. Die Disposition der Steuerung

bot aus dem eben angeführten Grunde nicht geringe Schwierigkeiten. Für die Lage der Steuerwelle ergaben sich vier mögliche Fälle: entweder oberhalb oder unterhalb der Box, hinter den Triebädern, oder endlich ober den Triebädern hinter der Box. Die ersten zwei Fälle verlangten einen grossen Ausbau für die Lagerung der Welle, der dritte Fall hätte Schwierigkeiten bezüglich der Anordnung eines bequemen Führerstandes geboten; es wurde somit der vierte Fall gewählt, und die Welle gleichzeitig als Drehungsachse für den Regulator-Hebel benutzt; für diesen Fall musste dieselbe jedoch dreitheilig gemacht werden.

Durch die bei der vorliegenden Construction nur weit aussen anzubringenden Excenterscheiben war die Stephenson'sche Steuerung ausgeschlossen und fiel die Wahl auf die Allan'sche; es mag hier erwähnt sein, dass die Maschinen-Direction der österr. Nordwestbahn sich principiell für dieses System entschieden hat, da es gegenüber anderen Steuerungen praktische Vortheile bietet, welche nicht zu unterschätzen sind.

Ist die Welle dieser Steuerung vom Dreher fertig, das heisst, sind die Bohrungen der Hebel richtig, so erübrigt bei der Montage nichts mehr, als die Welle richtig zu situiren, da die anderen Bestandtheile gewissermassen nur einzuhängen sind. Bei der Stephenson'schen Steuerung bleibt dann noch die sehr heikle Prismenführung und bei der Steuerung von Gooch noch eine zweite Welle zu legen, welche letztere Arbeiten sehr viele Genauigkeit verlangen; man hat sich demnach bei Reparaturen der Allan'schen Steuerung um die Montage nicht mehr viel zu kümmern; allerdings hat diese Steuerung viele Bolzen, doch ist man heute auch in Oesterreich so weit mit der Fabrication dieser Bolzen vorgeschritten, dass man deren Anwendung nicht ängstlich zu vermeiden braucht.

Beispielsweise sind zu erwähnen die Bolzen der Floridsdorfer Locomotiv-Fabrik; dieselben sind aus sehnigem Schmiedeeisen hergestellt, und auf eine Tiefe von 2—3<sup>mm</sup> eingesetzt (verstählt) und auf genauen Schleifmaschinen in Kaliber geschliffen; desgleichen die zur Lagerung der Bolzen dienenden Büchsen.

Ein so solide hergestellter Bolzen unterliegt einer sehr geringen Abnützung und die Erfahrung hat gezeigt, dass Steuerungsbolzen an den von Hartmann in Chemnitz für die Südnorddeutsche Verbindungsbahn gelieferten Maschinen 7 Jahre, an Kessler'schen Maschinen der österr. Südbahn ja sogar 10 Jahre in Benützung waren.

Die Coulissee dieser Steuerung ist gerade und zweitheilig, eine Reparatur derselben also leicht und mit geringen Kosten möglich.

In Berücksichtigung des Gesagten beschränken sich die Reparaturen einer Allan'schen Steuerung hauptsächlich auf die Auswechslung des Schiebers und der Excenter-Futter. Man hat demnach sprechende Gründe genug für deren principielle Anwendung.

Die Steuerung hat trotz ihrer abnormen Anordnung keine Mängel gezeigt, nur war ein feines Einstellen des Reversirhebels ohne grösseren Kraftaufwand nicht leicht möglich; jedoch ist es gelungen, durch eine nachträglich angebrachte Combination von Hebel und Schraube eine rasche und leichte Einstellung zu erzielen.

Die Fig. 2, Tafel 12, stellt diese Einrichtung in  $\frac{1}{10}$  natürlicher Grösse dar: der Zahnbogen  $a$  ist verschiebbar, und wird in zwei Laschen  $b$ , welche am Bock befestigt sind, geführt; an seinem hinteren Ende ist er mit einem drehbaren Zapfen  $c$  versehen, in welchem eine Schraubenspindel  $d$  von 8<sup>mm</sup> Steigung gelagert ist. Die Spindel  $d$  ist im Eingriff mit einer Mutter  $f$ , welche zapfenförmig in der hinteren Führungslasche  $b$ , um ihre horizontale Achse drehbar, gelagert ist.

Durch die Verbindung der Zapfen  $c$  und  $f$  mit der Schraube  $d$  ist man in die Lage gesetzt, den Zahnbogen  $a$  um ein gewisses durch die Länge der Schraube begrenztes Stück zu verschieben, respective den mit dem Zahnbogen im Eingriff befindlichen Reversirhebel vor- oder rückwärts zu bewegen, und dadurch den Expansionsgrad um circa 50% zu ändern. Es ist also eine feine Einstellung des Hebels nach Massgabe der Geschwindigkeiten der Maschine ohne besonderen Kraftaufwand ermöglicht, während gröbere Bewegungen des Hebels unabhängig von dem Schraubenmechanismus vorgenommen werden können.

Die Stellschraube  $g$  hat den Zweck, bei eventuellem Untauglichwerden der Schraube, oder auch bei Entlastung derselben, den Zahnbogen festzuhalten.

Die zwei Eilzug-Locomotiven sind nahezu ein Jahr mit diesem Apparate versehen, und bewährt sich derselbe vollständig.

### Ad 3. Der Dampfregulator,

welcher so ausgeführt ist, wie ihn Fig. 3, Tafel 12, in  $\frac{1}{10}$  natürlicher Grösse darstellt, ist direct und zwar ausserhalb am Dampfdom befestigt, und besteht aus einem gusseisernen Kasten, welcher durch das Zuleitungsrohr  $a$  mit dem obersten Theile des Doms communicirt; durch die Einströmungsrohre  $b$  wird die Verbindung mit den Dampfzylindern hergestellt; den Abschluss zwischen Kessel und Cylinder bildet der Schieber  $c$ , welcher mit zwei Zahnreihen versehen ist, die in Zahnsegmente der Welle  $d$  eingreifen, welche mit der Welle aus einem Stücke hergestellt sind; die übrigen beweglichen Theile sind ausserhalb des Kessels, deshalb leicht zugänglich und leicht zu übersehen.

Der Deckel  $f$  gestattet die Einbringung der Welle und der Deckel  $g$  den Zutritt zum Schieber.

Die Vortheile dieser Anordnung sind folgende:

- a) Im Inneren des Kessels befinden sich ausser dem Schieber keine beweglichen Theile, welche durch Brechen oder Herausfallen Betriebsstörungen veranlassen könnten;
- b) die Dichtungen der Rohrflantschen im Inneren des Kessels und jene des Kreuzrohres in der Rauchkammer, wie sie bei den meisten üblichen Anordnungen vorkommen, fallen hier ganz weg;

c) der Apparat ist leicht zugänglich, und ist nach Wegnahme des hinteren Deckels *g* ein Einschleifen oder Auswechseln des Schiebers leicht möglich, ausserdem eine Reparatur an den Einströmungsröhren, welche durch eine solide Verschalung vor Abkühlung geschützt sind, leicht zu bewerkstelligen.

Die österr. Nordwestbahn hat 58 Locomotiven mit diesen Dampfregulatoren seit nahezu vier Jahren in Betrieb und hat alle Ursache, mit dem Verhalten derselben zufrieden zu sein.

Ad 4. Das Speiskopfvventil mit Schraubenabschluss, Fig. 5, Tafel 12, in  $\frac{1}{2}$  natürlicher Grösse dargestellt, ist an 38 Locomotiven der österr. Nordwestbahn in Verwendung, und hat mit dem vom Herrn Ingenieur F. X. Manhardt im Organ 1871, Seite 230, veröffentlichten Speiskopfe mit Absperrhahn insoferne Aehnlichkeit, als auch da der Ventilsitz sehr compendiös angeordnet und nach Absperrung der Kesselöffnung rasch und bequem herausgenommen werden kann, um etwaige Störungen, während der Kessel im Dampf bleibt, beheben zu können; nur wurde bei dem Ventile der österr. Nordwestbahn der Abschluss gegen den Kessel anstatt mittelst Hahn durch ein birnförmiges Schraubenventil *a* bewirkt, und zwar, weil der Hahn durch Anlegen von Kesselstein sich festsetzt, wenn er längere Zeit ausser Gebrauch war, wodurch der beabsichtigte Zweck vereitelt wird.

Um auch bei dem Schraubenventile das Festsetzen durch Ansammeln von Kesselstein zu verhindern, wird die Schraube ziemlich lose in die Mutter eingepasst und die Dichtung nur durch den rückwärtigen Theil des birnförmigen Kopfes bewirkt, wodurch der Zutritt des Wassers zur Schraube und die Bildung des Kesselsteines daselbst, also ein Festsetzen derselben, verhindert wird.

#### Ad 5. Das Injector-Dampfventil,

Fig. 4, Tafel 12, ist keine neue Construction, aber wie es scheint wenig gekannt, und deshalb wenig eingeführt.

Die österr. Nordwestbahn hat dieses Ventil erprobt und sowohl bei den seit 1873 gelieferten Maschinen eingeführt, als auch die alten Schraubenventile bei den vorhandenen Maschinen nach dieser Zeichnung umgestaltet. Dieser Apparat verdient mehr Beachtung, da die Handhabung desselben eine leichte ist; auch ergab sich im Betriebe kein Anstand und sind die Reparaturen, ausser Einschleifen der Ventile, fast Null.

Im Locomotivbau von Heusinger, auf Seite 393, findet sich eine ähnliche Construction, zugleich mit der des Herrn Rayl, Obergeringieur der Kaiser Ferdinands-Nordbahn, abgebildet. Diese Constructionen haben gegen das Schraubenventil den Vorzug, dass bei gleicher Geschicklichkeit zum Ingangsetzen des Injectors ein Untauglichwerden nicht zu befürchten ist, wie dies beim Schraubenventile durch schadhafte Gewinde häufig vorkommt.

Die Einrichtung ist einfach:

Die Oeffnung *a* des Ventilgehäuses correspondirt mit dem Kessel, während die Oeffnung *b* die Verbindung zum Injector herstellt. Der Ventilkörper besteht aus zwei Ventilen, wovon das kleinere mit dem Gestänge *d*, aus einem Stücke hergestellt, im durchbrochenen grösseren seinen Sitz hat. Bewegt man den Hebel in der angedeuteten Richtung, so hebt man erst das kleinere Ventil von seinem Sitz ab und das bewirkt das „Anziehen“ des Injectors; ein Weiterbewegen des Hebels hat wegen der Anschlagmutter *f* ein Abheben des grossen Ventiles, und zwar ohne Kraft-

aufwand, zur Folge, und kann nun dem Injector das nöthige Dampfquantum zuströmen. Durch die Drehbarkeit des Hebels um die Längsachse des Gestänges *d* ist man in die Lage gesetzt, bei eventuellem schwachen „Blasen“ die Ventile durch eine entsprechende Bewegung des Hebels sogleich einzuschleifen, und einem grösseren Undichtwerden vorzubeugen.

Dieser letztere Umstand und die Leichtigkeit, mit welcher man zum Ventilsitze nur durch Abnahme des Deckels *h* gelangen kann, gibt diesem Ventile den Vorzug vor der Rayl'schen Construction, bei welcher der Hebel nicht um die Längsachse des Gestänges gedreht werden kann, und welche beim Einschleifen der Ventilsitze eine Abnahme des ganzen Apparates vom Kessel bedingt.

## Theorie der Wärme-Motoren,

bei welchen permanentes Gas als Vermittler zwischen Wärme und Arbeit verwendet wird.

Von

**E. Schindler,**  
Professor.

Die mechanische Wärmetheorie umfasst alle jene Fragen, welche die Beziehung zwischen Arbeit und Wärme festzustellen gestatten. Die Wärme ist als Ausfluss einer gewissen Bewegung der Körpertheilchen an den Stoff gebunden. Soll durch Wärme Arbeit gewonnen werden, so kann dies nur durch Vermittlung eines Stoffes geschehen, welcher einem gewissen Kreisprocess unterworfen wird. Umfasst man das weite Gebiet der mechanischen Wärmetheorie, hält man fest, dass bei jeder Arbeitsleistung eine bestimmte Menge Wärme verbraucht wird, so lässt sich schon, aus ganz allgemeinen Gesichtspuncten ausgehend, behaupten: „Dass in allen jenen Fällen, in welchen Stoffe (mögen dieselben der Art nach verschieden sein) von gleichem Aggregations-Zustand Kreisprocessen der gleichen Art unterworfen werden, die Ausnützung der Wärme den gleichen Grad aufweisen muss“, und dass ein Unterschied in der Wärmeverwendung dann eintreten wird, wenn die den Kreisprocessen unterworfenen Stoffe im Verlauf des Kreisprocesses durch Wärmeaufnahme erzielte Aggregations-Zustandsänderungen aufweisen. In dem oben Angeführten sind zwei Motorensysteme angedeutet.

Entweder wird ein permanentes Gas als Vermittler zwischen Wärme und Arbeit verwendet, oder der dem Kreisprocesse unterworfenen Körper ist ein tropfbar flüssiger. Bevor auf weitere Untersuchungen eingegangen werden kann, ist vorerst hervorzuheben, dass die Kreisprocesse in zwei Hauptgruppen sich scheiden. Je nachdem Kühlwasser verwendet wird, oder ein solches im Verlaufe des Kreisprocesses nicht zur Verwendung gelangt.

Wenn daher in dem Vorhergehenden von Kreisprocessen der gleichen Art die Sprache war, so ist dies in dem Sinne zu deuten, dass Kreisprocesse gemeint sind, welche entweder der einen oder der andern Gruppe angehören.

Bevor die eingangs angedeuteten Fragen erörtert werden können, wird es zweckmässig sein, die Verwendung der erzeugten Wärme zu verfolgen.

Wird durch Verbrennung Wärme erzeugt, so tritt schon in erster Linie die Nothwendigkeit heran, dass die Verbrennung eine möglichst vollständige sei, praktisch wird eine solche niemals möglich. Kommen daher  $Q^{ks}$  Brennstoff zur Verwendung, so wird ein Theil derselben unverbrannt mit den Brennproducten entweichen. Die erzeugte Wärme wird nun entweder sofort durch Arbeitsleistung der Brennproducte selbst zur Arbeit verwendet, wie dies bei Luftkraftmaschinen mit Innenheizung vorkommt, oder die in dem Heizraume entwickelte Wärme wird vorerst einem Vermittler (Wasser oder Luft u. s. w.) mitgetheilt. In einem solchen Falle verzichtet man schon in vorhinein auf die Möglichkeit der Verwendung der ganzen in dem Heizraume entwickelten Wärme und es wird von der vortheilhaften Anordnung der Heizvorrichtung (Kessel) bedingt sein, welche Menge der entwickelten Wärme dem Vermittler mitgetheilt worden.

Bezeichnet man mit  $Q$  die Menge der in dem Heizraume entwickelten Wärme, mit  $Q_1$  den dem Vermittler mitgetheilten oder den aus dem Heizraume in den Kessel übergeführten Betrag, so kann  $Q_1 = \alpha_1 Q_0$  gesetzt werden, und ist  $\alpha_1 = \frac{Q_1}{Q_0}$  als der Grad der Güte der Kesselanordnung zu nehmen.

Der Vermittler, welchem die Wärmemenge  $Q_1$  mitgetheilt worden, wird nun einem bestimmten Kreisprocesse unterworfen. Möge der Kreisprocess welcher Art immer sein, so wird im Verlaufe desselben, ohne Rücksicht der durch praktische Umstände herbeigeführten Wärme- und Arbeitsverluste, immer ein gewisser Theil der aufgenommenen Wärme  $Q_1$  verloren gehen, wenn auch, wie schon erwähnt, der Kreisprocess in allen seinen Phasen theoretisch genau durchgeführt wurde. Bezeichnet man mit  $Q_2$  jenen Wärmebetrag, welcher bei theoretisch vollständiger Durchführung des Kreisprocesses zu äusserer Arbeit verwendet wird, so kann  $Q_2 = \alpha_2 Q_1$  gesetzt werden, und bildet dies den theoretischen Effect der Maschine, welchen dieselbe mit Rücksicht des zu Grunde gelegten Kreisprocesses überhaupt zu leisten im Stande ist. Nun treten praktische Umstände in Vordergrund. Zunächst wird es niemals möglich sein, den Kreisprocess theoretisch genau durchzuführen. Es wird daher die durch den unvollständig durchgeführten Kreisprocess gewonnene äussere Arbeit nicht jenen Betrag erreichen, welcher vorhin mit  $Q_2$  bezeichnet worden. Nimmt man denselben zu  $Q_3$  an, so ist  $Q_3 = \alpha_3 Q_2$  zu setzen, und wird  $\alpha_3 = \frac{Q_3}{Q_2}$  zu erkennen gestatten, in wie weit der wirklich durchgeführte Kreisprocess dem theoretischen sich nähert. Die Indicator-Diagramme gestatten, die diesbezüglichen Berechnungen vorzunehmen. Selbst aber der dem Wärmebetrage  $Q_3$  entsprechende Arbeitsbetrag wird von der Maschine nicht abgegeben, denn sowohl die Wärmeleitungsfähigkeit der Stoffe, ferner Undichtheiten bei der Maschine, endlich Reibungswiderstände und Kraftverluste, entstehend aus der unvollkommenen Ausführung, werden selbst obigen Wärme- oder Arbeitsbetrag  $Q_3$  auf  $Q_4$  herabmindern, welcher endlich als derjenige Betrag auftritt, welcher als Theil der Wärmemenge  $Q_0$  von der Maschine

zu äusserer Arbeitsleistung verwendet wird. Es kann  $Q_4 = \alpha_4 Q_3$  gesetzt werden, und wird  $\alpha_4 = \frac{Q_4}{Q_3}$  über die mehr oder minder vollkommene Ausführung der Maschine Aufschluss geben.

Berücksichtigt man, dass:

$$Q_4 = \alpha_4 Q_3 \text{ ist, ferner}$$

$$Q_3 = \alpha_3 Q_2,$$

$$Q_2 = \alpha_2 Q_1$$

$$Q_1 = \alpha_1 Q_0, \text{ so erhält man:}$$

$$Q_2 = \alpha_1 \alpha_2 Q_0$$

$$Q_3 = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 Q_0, \text{ endlich}$$

$$Q_4 = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 Q_0.$$

$Q_1$  bezeichnet, wie bereits angedeutet, die in den Kessel übergeführte Wärmemenge,  $Q_2$  den Wärmebetrag, welcher durch den theoretisch vollständig durchgeführten Kreisprocess in äussere Arbeit umgesetzt wird,  $Q_3$  die durch den unvollständig ausgeführten Kreisprocess zu äusserer Arbeit verwendete Wärmemenge, endlich ist  $Q_4$  der nach allen Hindernissen, Verlusten zu äusserer Arbeit verwendete Wärmebetrag.

Ist von dem Wirkungsgrade einer Maschine die Sprache, so wird beinahe von allen Autoren, mit fast alleiniger Ausnahme Redtenbacher's, der theoretische Effect der Maschinen, welcher durch den Wärmebetrag  $Q_2$  repräsentirt ist, als Basis des Vergleiches genommen und als Wirkungsgrad der Werth

$$\beta_1 = \frac{Q_2}{Q_0} = \alpha_1 \alpha_2$$

gewählt, indem vorausgesetzt wird, dass von einer Maschine doch nur dasjenige an Arbeit erwartet werden darf, welchen Betrag dieselbe überhaupt in Folge des ihr zu Grunde gelegten Kreisprocesses theoretisch zu leisten im Stande wäre. Verfasser dieser Abhandlung kann diese Auffassung nicht als entsprechend annehmen, denn der Endzweck der Bestrebungen in dem Baue der Wärmemaschinen geht doch offenbar dahin, Motoren zu schaffen, bei welchen die Wärme eine möglichst günstige Verwendung findet; was nützt es daher, durch Zahlengruppierungen den grossen Wirkungsgrad einer Maschine zu demonstrieren, indem nachgewiesen wird, dass die Maschine nahezu dasjenige leistet, was selbe überhaupt zu leisten im Stande ist, wenn eben der gewählte Kreisprocess schon eine ungünstige Verwendung der Wärme gestattet. Am ausführlichsten hat die zuletzt angedeutete Berechnung des Wirkungsgrades Dr. Zeuner behandelt; es soll auf diesen Gegenstand bei einer andern Gelegenheit zurückgekommen werden.

Wärme ist Arbeit; der Werth des Wirkungsgrades, ist derselbe naturgemäss bestimmt, muss somit über die Verwendung der Wärme Aufschluss geben, möge der Weg, welchen die Umwandlung der in dem Heizraume entwickelten Wärme bis zur äusseren Arbeitsleistung, welcher immer sein, für den praktisch Industriellen wird das wichtigste Moment doch nur das sein, dass von der in dem Heizraume entwickelten Wärme der möglichst grösste Theil zu äusserer Arbeit verwendet werde. Ohne sich daher auf eine theoretische Widerlegung der gewöhnlichen Berechnungsweise des

Wirkungsgrades einzulassen, soll in dem Folgenden als Werth desselben, der Betrag

$$\beta = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 = \frac{Q_4}{Q_0} \dots \dots \dots 1)$$

genommen werden.

Jedem dieser einzelnen Werthe  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$  kommt eine bestimmte Bedeutung zu, wodurch die Beurtheilung einer Maschinenanlage möglich wird; demnach kann keiner einzeln für sich als Werth des Wirkungsgrades gelten.

Indem bei Umsetzung von Wärme in Arbeit entweder ein besonderer Stoff, Wasser oder Luft, verwendet wird, oder die Verwendung eines solchen Stoffes entfällt, so können die Motoren in zwei Hauptgruppen geschieden werden, nämlich mit oder ohne Anwendung von Vermittlern arbeitende Maschinen.

Der leitende Faden aller Bestrebungen bei dem Baue der Motoren ist dahin gerichtet: „die günstigste Wärmeausnutzung zu erzielen“. Es wird somit nothwendig, jene Bedingungen zu kennen, welche das vorhin erwähnte Ziel erreichen lassen. Die Quelle der Arbeit ist die Wärme, die Verwendung und Ausnutzung derselben zu äusserer Arbeit, möge der Motor welchem System immer angehören, kann im Allgemeinen nur durch Expansion des Wärmeträgers erfolgen.

Indem diese Expansion unter dem Gegendruck der äusseren Atmosphäre oder des Condensators vor sich geht, ferner mit dem Wärmeträger nach beendigter Expansion ein Theil der erzeugten oder aufgenommenen Wärme entfernt wird, endlich sollten mit Vermittlern arbeitende Motoren zur Beurtheilung vorliegen, bei welchen es niemals möglich ist, die gesammte entwickelte Wärme an den Vermittler zu übertragen, somit in diesem Falle bei der Wärmemittheilung ein Verlust an Wärme eintreten muss, so zerfällt die gesammte in den Heizräumen entwickelte Wärme  $Q_0$  in drei Theile, nämlich:

- a) in den Betrag der Wärme  $Q_4$ , welche der äusseren Arbeit der Maschine entspricht;
- b) in den Wärmebetrag  $Q_0$ , welcher mit den Verbrennungsproducten entweicht, oder überhaupt bei der Wärmemittheilung verloren geht;
- c) endlich in den Betrag  $Q_f$ , welcher sowohl die zur Ueberwindung des in dem Condensator herrschenden Gegendruckes nothwendige Wärme, als auch diejenige umfasst, welche entweder mit dem Vermittler entweicht, oder bei der Compression desselben entzogen wird.

Dieser Eintheilung zufolge ist die zu äusserer Arbeit verwendete Wärme:

$$Q_4 = Q_0 - Q_0 - Q_f \dots \dots \dots 2)$$

Man erhält somit den Wirkungsgrad des Motors im Sinne der Formel:

$$\beta = \frac{Q_4}{Q_0} = \frac{Q_0 - (Q_0 + Q_f)}{Q_0} \dots \dots \dots 3)$$

Möge der dem Motor zu Grunde gelegte Kreisprocess welcher Art immer sein, so kann der Wärmeträger nur durch eine gewisse Aufeinanderfolge von Zustandsänderungen eine bestimmte Wärmemenge in Arbeit umsetzen.

Die Zustandsänderungen selbst werden aber nur durch Wärme-Aufnahme und Wärme-Entziehung herbeigeführt.

Selbst in jenen Fällen nun, wo der noch immer Wärme enthaltende Wärmeträger nach beendigter Expansion aus der Anlage zu entfernen ist, um durch eine neue Menge ersetzt zu werden, lässt sich diese Entfernung und Erneuerung des Vermittlers als eine Zustandsänderung ansehen, als würde der expansirte Vermittler durch Wärme-Entziehung und Compression in seinen Anfangszustand zurückgeführt worden sein.

Bezeichnet man mit  $d Q_0$  einen Theil der dem Vermittler mitgetheilten Wärme, mit  $d Q_f$  einen Theil der entzogenen Wärme, mit  $T_0$  und  $T_f$  die Werthe der absoluten Temperaturen, bei welchen obige Wärmebeträge aufgenommen und entzogen wurden, so erhält man als Aequivalenzwerth des ganzen Kreisprocesses:

$$E = \int \frac{d Q_0}{T_0} - \int \frac{d Q_f}{T_f} \dots \dots \dots 4)$$

Von der praktischen Verwendung eines Motors kann aber nur dann die Sprache sein, wenn derselbe eine normale Wirksamkeit aufweist, dieser Bedingung genügt ein Motor, wenn sich der Vermittler oder Wärmeträger nach beendigtem Kreislaufe genau in seinem Anfangszustande befindet.

Als Fundamental-Bedingung für die normale Wirksamkeit eines Motors muss daher angesehen werden, dass der Aequivalenzwerth des der Maschine zu Grunde gelegten Kreisprocesses gleich der Null sei. Nothwendig wird es noch, einige Bemerkungen betreff der Wärmemittheilung zu machen, ferner jenen Standpunct festzustellen, in welchem Umfange die folgenden Untersuchungen durchzuführen sind. Handelt es sich um die Beweisführung der Richtigkeit irgend eines Gesetzes, so müssen bei den Untersuchungen alle jene Momente unberücksichtigt gelassen werden, welche die Uebersicht erschweren, ja sogar unmöglich machen.

Es ist daher der rein theoretische Standpunct festzuhalten, demzufolge die Untersuchungen sich auf Annahmen stützen, welche in Wirklichkeit einzuhalten nicht möglich sind, somit nur als ideal erreichbare Grenzwerte gelten können. Es bleibt aber ein wichtiger Vorzug, zu wissen, welche Grenze in der Wärme-Ausnutzung überhaupt zu erreichen möglich ist.

Betreff der Wärme-Aufnahme ist wohl zu berücksichtigen, dass nur bei ohne Vermittler arbeitenden Motoren die gesammte im Heizraume entwickelte Wärme als Triebkraft zu verwenden ist. Wird aber eine Wärmemittheilung mit einem Vermittler nothwendig, so gibt es in diesen letzteren Fällen zwei Arten von „Wärmemittheilung“. Entweder man bringt den zu erwärmenden Vermittler mit den Verbrennungsproducten in Berührung, bis sich die Temperaturen beider Stoffe ausgeglichen (welcher Ausgleich der Temperaturen nur als theoretisch erreichbar anzusehen ist), oder man lässt Vermittler und Brennproducte in entgegengesetzter Richtung nebeneinander strömen, und zwar kommen die schon durch Wärme-Abgabe gekühlten Brennproducte mit dem zu erwärmenden Vermittler zuerst in Berührung. Kurz genommen, die Heizvorrichtung beruht auf dem Principe der Gegenstrom-Apparate, in diesem Falle kann, theoretisch genommen, der Vermittler die gesammte,

in den Verbrennungs-Producten angehäuften Wärme aufnehmen, und wird bei dieser Wärme-Mittheilungsart in dem Vermittler jene höchste Temperatur zu erreichen sein, welche in den Verbrennungsproducten selbst erzielt worden.

Indem die theoretischen Untersuchungen aus allgemeinem Standpunkte geführt werden, so sollen für den Fall, dass es sich um permanente Gase handelt, die auf diese Gase bezüglichen Constanten mit  $R$ ,  $c'$  und  $c''$  bezeichnet werden, es wird sodann bei Detail-Berechnungen genügen, für diese Grössen die entsprechenden Werthe zu wählen.

Auch jetzt kann noch nicht unmittelbar auf die theoretischen Untersuchungen eingegangen werden; deren Durchführung ist nur möglich, wenn die Art der Wärmemittheilung bekannt ist. In vorliegender Arbeit sollen nur die drei Hauptarten der Wärmemittheilung berücksichtigt werden.

Die Wärmemittheilung erfolgt:

- bei constanter Temperatur,
- bei constanter Spannung und
- bei constantem Volumen.

Der Temperaturwerth ist absolut zu nehmen; den Zustand des Vermittlers bestimmende Grössen sind: die Temperatur, Spannung und Volumen. Der Kreisprocess, welchem der Vermittler unterworfen wird, lässt sich in allen Fällen in zwei Phasen scheiden:

- Beginn der Erhitzung aus dem Anfangszustande,
- Zurückführen des expandirten Vermittlers durch Compression und Wärme-Entziehung in seinen Anfangszustand.

Graphisch lässt sich jeder Kreisprocess, den oberen Annahmen entsprechend, durch Fig. 1 darstellen. Die Zustände des Vermittlers in den einzelnen Phasen mögen mit  $A$ ,  $B$ ,  $C$  und  $D$  bezeichnet werden.

Von  $A$   $B$  geschieht die Wärmemittheilung, von  $C$   $D$  die Wärme-Entziehung.

Mit Berücksichtigung der eingangs gemachten Eintheilung,

scheiden sich die theoretischen Untersuchungen nach zwei Hauptrichtungen, dieselben beziehen sich:

- auf die Wärme-Motoren, bei welchen permanentes Gas als Vermittler verwendet wird,
- auf Wärme-Motoren, bei welchen der Vermittler in tropfbar flüssiger Form zur Verwendung gelangt.

Es kommen daher zur Untersuchung:

## I. Theorie der mit permanenten Gasen thätigen Wärme-Motoren.

Die Untersuchung hat zu beginnen mit derjenigen Motoren-Gattung, bei welcher

- die Wärme-Aufnahme bei constanter Temperatur vorgenommen wird.

Bezeichnet man mit  $q$  das Gewicht des dem Kreisprocess zu unterwerfenden Vermittlers, dessen Volumen, Spannung und Temperatur in dem Anfangszustande  $A$  mit

$v_A$ ,  $t_A$  und  $P_A$  bezeichnet werden mag. Wird diesem Vermittler Wärme mitgetheilt, und lässt man denselben bei constanter Temperatur  $T_A$  expandiren, so nehmen die den Zustand des Vermittlers bestimmenden Grössen in  $B$  die Werthe  $v_B$ ,  $p_B$  an, während die Temperatur  $T_B = T_A$  bleibt. Durch Expansion gelangt der Vermittler in den Zustand  $C$ , die entsprechenden Grössen nehmen die Werthe  $v_C$ ,  $p_C$  und  $T_C$  an. Bei constanter Temperatur wird der Vermittler aus  $C$  durch Compression und gleichzeitiger Wärme-Entziehung in den mit dem Buchstaben  $D$  bezeichneten Zustand gebracht, wobei die den Zustand des Vermittlers bestimmenden Grössen die Werthe  $v_D$ ,  $p_D$  und  $T_D = T_C$  annehmen. Durch weitere Compression, ohne jedweder Wärme-Entziehung, gelangt der Vermittler in seinen Anfangszustand  $A$  zurück (Fig. 2).

Indem bei den folgenden Untersuchungen der rein theoretische Standpunkt vor Augen gehalten wird,

so muss betreff der Wärme-Aufnahme festgehalten werden, dass, wenn selbe durch Mittheilung herbeigeführt wird, die Brenn-

producte immer mit jener Temperatur den Heizraum verlassen, mit welcher Anfangstemperatur der Vermittler in die Heizvorrichtung eintritt, um Wärme aufzunehmen.

Lässt man vorläufig die Wärme-Aufnahme unberücksichtigt, und bestimmt jene Wärmemengen, welche in dem Verlaufe des Kreisprocesses zu berücksichtigen nothwendig sind, so lässt sich von dem Umfang der Wärme-Aufnahme und -Abgabe innerhalb der Zustandsänderung von  $A$  bis  $B$  und  $C$  bis  $D$  Einsicht verschaffen, wenn die Arbeitsbeträge gerechnet werden, welche während dieser Zustandsänderungen geleistet werden.

Indem die Temperaturen zwischen  $A$  und  $B$ , ferner  $C$  und  $D$  constant bleiben, so sind die innerhalb dieser Zustandsänderungen geleisteten Arbeitsbeträge

$$L_A = R q T_A \log \frac{p_A}{p_B},$$

und

$$L_C = R q T_C \log \frac{p_D}{p_C}.$$

Die diesen Arbeitsbeträgen entsprechenden Wärmemengen sind

$$Q_A = A R q T_A \log \frac{p_A}{p_B},$$

ferner

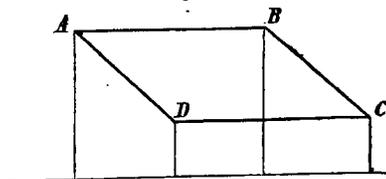
$$Q_C = A R q T_C \log \frac{p_D}{p_C}.$$

Der erste Wärmebetrag müsste somit aufgenommen, der zweite entfernt werden. Es bleibt somit als die zu äusserer Arbeit verwendete Wärme

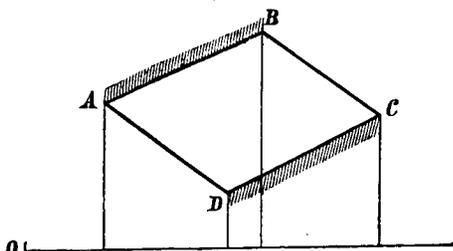
$$Q_I = A R q \left( T_A \log \frac{p_A}{p_B} - T_C \log \frac{p_D}{p_C} \right).$$

Rechnet man die den aufgenommenen und entzogenen Wärmebeträgen entsprechenden Aequivalenzwerthe, so sind diese Beträge, nachdem Wärme-Aufnahme und Abgabe bei constanter Temperatur eingeleitet wird

Figur 2.



Figur 1.



$$E_A = A R q \log \frac{p_A}{p_B},$$

und

$$E_C = A R q \log \frac{p_D}{p_C}.$$

Soll der Kreisprocess ein geschlossener sein, wie derselbe sein muss, damit die Wirkung der Maschine eine normale sei, so erhält man im Sinne der Gleichung (4)

$$A R q \log \frac{p_A}{p_D} - A R p \log \frac{p_D}{p_C} = 0,$$

oder auch

$$\frac{p_A}{p_B} = \frac{p_D}{p_C}.$$

Mit Benützung dieser Gleichung wird die zu äusserer Arbeit verwendete Wärme

$$Q_I = A R q (T_A - T_C) \log \frac{p_A}{p_B}.$$

Die bisherige Berechnungsweise ist diejenige, wie eine solche für gewöhnlich auf Grund der Principien der mechanischen Wärmetheorie gewählt wird.

Berücksichtigt man nun, dass die Wärme-Entnahme von der in dem Heizraum entwickelten Wärme vor sich geht, und zwar bezeichnen  $q_0$  das Gewicht der Verbrennungsproducte, welche, dem constanten Betriebe der Anlage entsprechend, in dem Heizraume vorhanden sein muss, damit dem Vermittler die nothwendige Wärmemenge zugeführt werden kann, ferner sei  $C_x$  die specifische Wärme der Verbrennungsproducte bei constanter Spannung, bezeichnet ferner  $T_1$  die Temperatur der Luft, mit welcher dieselbe in den Heizraum eintritt,  $T_0$  die in den Brennproducten erzielte höchste Temperatur, so ist die in dem Heizraume erzeugte Wärme

$$Q_0 = q_0 C_x (T_0 - T_1).$$

Möge die Wärmemittheilung wie immer gedacht werden, so tritt in diesem Falle der dem Kreisprocesse unterworfenen Vermittler von dem Gewichte  $q$  bereits mit der Temperatur  $T_A$  mit den Brennproducten in Berührung, indem nun, der Voraussetzung entsprechend, die Wärmemittheilung bei constanter Temperatur vor sich geht, so bleibt die innere Wärme des Vermittlers constant, somit die von den Brennproducten aufgenommene Wärme sofort in Arbeit umgesetzt wird. Setzt man nun eine vollständige Wärmemittheilung voraus, so muss, theoretisch genommen, so viel Wärme aus den Brennproducten dem Vermittler mitgetheilt werden, bis der vollständige Ausgleich der Temperatur-Differenzen beider Stoffe eingetreten ist. In diesem Falle müssen daher die Verbrennungsproducte eine solche Temperatur-Erniedrigung aufweisen, bis deren höchste Temperatur  $T_0$  auf  $T_A$  herabgesunken ist, d. h. die Verbrennungsproducte verlassen mit jener Temperatur den Heizraum, mit welcher der Vermittler zur Erhitzung, oder eigentlich in diesem Falle zur Wärme-Aufnahme gelangt. Ist daher die Temperatur der Brennproducte auf  $T_A$  herabgesunken, so ist die denselben entzogene Wärme

$$Q_a = q_0 C_x (T_0 - T_A).$$

Dieser Wärmebetrag ist es, welcher, durch den Vermittler aufgenommen, sofort zur Arbeit verwendet wird.

Die dieser Arbeit entsprechende Wärmemenge ist aber bereits bestimmt; dieselbe lässt sich ausdrücken durch

$$Q_A = A R T_A q \log \frac{p_A}{p_B}.$$

Die Werthe der Wärmebeträge  $Q_A$  und  $Q_a$  haben somit gleich zu sein, es wird daher

$$A R T_A q \log \frac{p_A}{p_B} = q_0 C_x (T_0 - T_A).$$

Die mit den Brennproducten entfernte Wärme ist

$$Q_1 = q_0 C_x (T_A - T_1).$$

Die durch diesen Kreisprocess in Aussicht gestellte Arbeit lässt sich daher noch ausdrücken durch

$$L = \frac{1}{A} [q_0 C_x (T_0 - T_A) - Q_1].$$

Indem die Wärmemenge  $Q_A$  bei constanter Temperatur des Vermittlers aufgenommen, die Wärmemenge  $Q_C$  bei constanter Temperatur entzogen wird, so sind die Aequivalenzwerthe der durch diese Wärmebeträge herbeigeführten Verwandlungen

$$E_A = \frac{Q_A}{T_A},$$

ferner

$$E_C = \frac{Q_C}{T_C},$$

im Sinne der Gleichung (4) muss nun

$$\frac{Q_A}{T_A} = \frac{Q_C}{T_C}$$

sein, oder es ist

$$Q_C = \frac{T_C}{T_A} \cdot Q_A.$$

Mit Berücksichtigung dieser Gleichung wird die Arbeit auszudrücken möglich sein durch

$$L = \frac{1}{A} \left[ q_0 C_x (T_0 - T_A) - \frac{T_C}{T_A} \cdot q_0 C_x (T_0 - T_A) \right]$$

oder auch noch

$$L = \frac{1}{A} q_0 C_x \frac{(T_0 - T_A) (T_A - T_C)}{T_A}.$$

Die in dem Heizraume entwickelte Wärme ist aber

$$Q_0 = q_0 C_x (T_0 - T_1);$$

die dieser Wärmemenge entsprechende Arbeit ist

$$L_0 = \frac{1}{A} q_0 C_x (T_0 - T_1).$$

Im Sinne der Gleichung (3) erhält man somit den Werth des Wirkungsgrades zu

$$\beta = \frac{(T_0 - T_A) (T_A - T_C)}{(T_0 - T_1) T_A}.$$

In dieser Gleichung ist nur  $T_A$  und  $T_C$  als veränderlich anzusehen, indem  $T_0$ , als Werth der erzielbaren höchsten Temperatur in dem Heizraum, eine von dem Heizmaterial abhängige Grösse ist. Ebenso ist  $T_1$ , als die Temperatur der äusseren Luft, als constant zu nehmen. Wird der Temperaturwerth  $T_C$ , nämlich Temperatur des expansirten Vermittlers, vorläufig ebenfalls als constant genommen und sucht man aus obiger Gleichung denjenigen Werth für  $T_A$ , für welchen  $\beta$  ein Maximum wird, so erhält man durch Bildung des ersten Differential-Quotienten

$$\frac{d\beta}{dT_A} = \frac{-(T_A - T_C) T_A + T_A (T_0 - T_A) - (T_0 - T_A) (T_A - T_C)}{T_A^2}.$$

Setzt man diesen Werth gleich dem Null, so erhält man als Bedingungsgleichung

$$-T_A^2 + T_0 T_C = 0,$$

woraus

$$T_A = \sqrt{T_0 T_C} \dots \dots \dots 5)$$

gefunden wird, als jener höchster Temperaturwerth des Vermittlers, bei welchem die Wärme-Aufnahme vorgenommen werden soll, um das Maximum für  $\beta$  zu erzielen.

Mit Benützung dieses Werthes erhält man denjenigen des Wirkungsgrades zu

$$\beta = \frac{(\sqrt{T_0} - \sqrt{T_C})^2}{T_0 - T_1}$$

Indem der Temperaturwerth  $T_C$  nur vorläufig als veränderlich angesehen wurde, so erkennt man sofort, dass die Grösse  $\beta$  sich vermehrt, sobald für  $T_C$  der mögliche kleinste Werth genommen wird. Nun lässt sich die Expansion des Vermittlers doch nur so weit fortführen, bis die Temperatur desselben den möglich niedrigsten Grad, also den Temperaturwerth der äusseren Luft  $T_1$  angenommen hat.

Setzt man daher  $T_C = T_1$ , so wird

$$\beta = \frac{(\sqrt{T_0} - \sqrt{T_1})^2}{T_0 - T_1}$$

oder auch noch

$$\beta = \frac{\sqrt{T_0} - \sqrt{T_1}}{\sqrt{T_0} + \sqrt{T_1}} \dots \dots \dots 6)$$

Benützt man die für  $T_A$  und  $T_C$  gefundenen Werthe in der für die Bestimmung der Arbeit aufgestellten Gleichung, so wird

$$L = \frac{q_0 C_x}{A} [\sqrt{T_0} - \sqrt{T_1}]^2 \dots \dots \dots 7)$$

und ist  $T_A = \sqrt{T_0 T_1}$ .

Lässt man die in dem Heizraume entwickelte Wärme gänzlich unberücksichtigt, und verfolgt bei der Berechnung den gewöhnlichen Weg, so würde als zu äusserer Arbeit verbrauchter Wärmebetrag gefunden

$$Q_I = A R q (T_A - T_C) \log \frac{p_A}{p_B},$$

somit ist die Arbeit

$$L_I = R q (T_A - T_C) \log \frac{p_A}{p_B}.$$

Nachdem die Zustandsänderung von  $B$  nach  $C$  nach der Adiabatischen Curve vor sich geht, so besteht zwischen den Werthen der Spannungen die Beziehung

$$\frac{p_B}{p_C} = \left(\frac{T_A}{T_C}\right)^{\frac{k}{k-1}},$$

nachdem

$$\frac{p_A}{p_B} = \frac{p_D}{p_C},$$

ferner

$$\frac{p_A}{p_D} = \left(\frac{T_A}{T_C}\right)^{\frac{k}{k-1}}$$

ist, so wird

$$\frac{p_A}{p_B} = \frac{p_A}{p_C} \left(\frac{T_C}{T_A}\right)^{\frac{k}{k-1}}.$$

Benützt man diesen Werth, so wird die Arbeit

$$L = R q (T_A - T_C) \log \frac{p_A}{p_C} \left(\frac{T_C}{T_A}\right)^{\frac{k}{k-1}}.$$

Diese Formel möge nun als Ausgangspunkt für die Untersuchungen gewählt werden. Wenn auch, von dem früheren Standpunkte ausgehend, für die Grössen  $T_A$  und

$T_C$  die für die Maximal-Leistung zu wählenden Werthe bereits bestimmt wurden, so mögen diese Grössen erneuert in die Reihen der veränderlichen gezählt werden. Betrachtet man  $T_A$  als veränderlich, sucht den ersten Differential-Quotienten, so erhält man als Bedingungsgleichung

$$\log \frac{p_A}{p_C} \left(\frac{T_C}{T_A}\right)^{\frac{k}{k-1}} = \frac{k}{k-1} \frac{T_A - T_C}{T_A} \dots \dots \dots 8)$$

Mit Benützung dieser Beziehung wird die Arbeit

$$L = \frac{q_C}{A} \frac{(T_A - T_C)^2}{T_A} \dots \dots \dots 9)$$

Auch in diesem Falle wird die Arbeit am grössten, wenn die Expansion des Vermittlers so weit getrieben wird, bis dessen Endtemperatur  $T_C = T_1$ , der Temperatur der äusseren Luft ist.

Setzt man im allgemeinen die höchste Temperatur, bis zu welcher der Vermittler erhitzt werden muss,  $T_A = n T_C$ , so lässt sich die Gleichung (8) noch in folgender Form schreiben:

$$\log \frac{p_A}{p_C} = \frac{k}{k-1} \left(\frac{n-1}{n} + \log n\right)$$

diese Gleichung bildet den Schluss der Untersuchungen, welche sich auf diese Art Kreisprocess beziehen; dieselbe lässt erkennen, dass für die Maximal-Leistung es nicht genügend ist, für die Temperaturen jene Werthe zu wählen, wie selbe für die Maximal-Leistung bestimmt wurden, sondern die Maximal-Leistung kann nur bei bestimmten Werthen für die Spannungen des Vermittlers erzielt werden.

Fasst man die diesbezüglich gewonnenen Resultate zusammen, so wurde nach dem gewöhnlichen Wege der Berechnungsweise als Formel zur Bestimmung der Arbeit gefunden

$$L = \frac{q_C}{A} \frac{(T_A - T_C)^2}{T_A}.$$

Nachdem

$$A R q T_A \log \frac{p_A}{p_B} = q_0 C_x (T_0 - T_A) \text{ ist,}$$

$$\log \frac{p_A}{p_B} = \log \frac{p_A}{p_C} \cdot \left(\frac{T_C}{T_A}\right)^{\frac{k}{k-1}} = \frac{k}{k-1} \cdot \frac{T_A - T_C}{T_A},$$

so wird auch noch

$$A R q \cdot \frac{k}{k-1} \cdot \frac{T_A - T_C}{T_A} = q_0 C_x (T_0 - T_A),$$

somit ist

$$q_0 C_x = \frac{q_C (T_A - T_C)}{T_0 - T_A}.$$

Es lässt sich somit die Menge der entwickelten Wärme noch ausdrücken durch

$$Q_0 = q_0 C_x (T_0 - T_1) = \frac{q_C (T_0 - T_1) (T_A - T_1)}{(T_0 - T_A)},$$

die dieser Wärmemenge entsprechende Arbeit ist

$$L_0 = \frac{q_1}{A} \cdot \frac{(T_0 - T_1) (T_A - T_C)}{(T_0 - T_A)}$$

Man erhält somit als Wirkungsgrad

$$\beta = \frac{L}{L_0} = \frac{(T_0 - T_A) (T_A - T_C)}{(T_0 - T_1) T_A}.$$

Es ist dies dieselbe Formel, die für den Werth des Wirkungsgrades, ausgehend von der in dem Heizraume entwickelten Wärme, früher gefunden worden. Es wird daher auch in diesem Falle:

$T_A = \sqrt{T_0 T_C}$  und  $T_C = T_1$   
sein müssen, somit ist

$$L = \frac{q c}{A} \cdot \frac{(\sqrt{T_0} - \sqrt{T_1})^2}{\sqrt{T_0}} \cdot \sqrt{T_1},$$

ferner

$$\beta = \frac{\sqrt{T_0} - \sqrt{T_1}}{\sqrt{T_0} + \sqrt{T_1}}.$$

Nimmt man die Verbrennungs-Producte zum Ausgangspunct der Berechnung, so wurde für den Maximalbetrag der Arbeit gefunden:

$$L = \frac{q_0 C_x}{A} (\sqrt{T_0} - \sqrt{T_1})^2,$$

und für den Werth des Wirkungsgrades

$$\beta = \frac{(\sqrt{T_0} + \sqrt{T_1})}{\sqrt{T_0} - \sqrt{T_1}}.$$

Indem die Arbeitsbeträge, mögen dieselben nach der einen oder anderen Weise berechnet werden, gleich sein müssen, so wird:

$$q C \frac{\sqrt{T_1}}{\sqrt{T_0}} = q_0 C_x,$$

oder auch

$$\frac{q C}{q_0 C_x} = \sqrt{\frac{T_0}{T_1}},$$

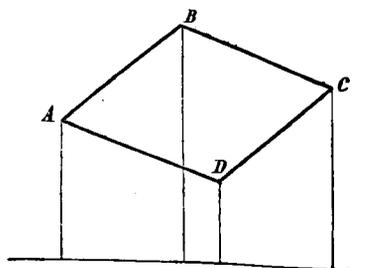
d. h. soll die theoretisch günstigste Wärme-Ausnützung eintreten, so muss zwischen den Gewichten des Vermittlers und der Brennproducte ein bestimmtes Verhältniss eingehalten werden.

Indem die vergleichende Beurtheilung der gewonnenen Resultate in dem Folgenden berührt werden soll, so kann nur der zweite Art Kreisprocess dieser Gattung Motoren zur Erörterung gelangen. Um aber die Untersuchungen nicht zwecklos in die Länge zu ziehen, so wird es möglich, die noch zu erörternden zwei Kreisprocesse, nämlich Wärme-Aufnahme bei constanter Spannung, und Wärme-Aufnahme bei constantem Volumen, insoferne unter Einem zu behandeln, indem für die Werthe der specifischen Wärme eine gemeinsame Bezeichnung, z. B.  $c_g$  gewählt werden kann. Mit diesem Buchstaben sind die Werthe der specifischen Wärme für die permanenten Gase, und zwar für constante Spannung und constanten Volumen bezeichnet. Bei numerischen Berechnungen genügt es sodann, die auf das betreffende Gas sich beziehenden Werthe zu wählen.

Theorie der Wärme-Motoren mit Wärme-Aufnahme bei constanter Spannung oder constanten Volumem.

Der Vermittler, einem geschlossenen Kreisprocess unterworfen, gelangt durch Wärme-Aufnahme aus dem Zustand  $A$  in den Zustand  $B$ , von diesem durch Expansion nach der Adiabatischen Curve nach  $C$ . Von  $C$  durch Compression und Wärme-Entziehung (bei constanter Spannung oder constantem Volumen) in den Zustand  $D$ , aus welchem der Vermittler in seinen Anfangszustand zurückgeführt wird.

Figur 3.



Den gewöhnlichen Weg der Berechnungsweise einhaltend, lassen sich die Mengen der aufgenommenen und entzogenen Wärme ausdrücken durch

$$Q_a = q c_g (T_B - T_A)$$

und

$$Q_o = q c_g (T_C - T_D),$$

wenn erstere die aufgenommene, letztere die entzogene Wärme bezeichnet. Es wird somit die Arbeit

$$L = \frac{q c_g}{A} (T_B - T_A - T_C + T_D).$$

Bestimmt man die den aufgenommenen und entzogenen Wärmebeträgen entsprechenden Aequivalenzwerthe, so lassen sich diese beiden Wärme-Aufnahmen entsprechend ausdrücken durch

$$E_a = q c_g \log \frac{T_B}{T_A}$$

der aufgenommenen Wärme entsprechend, und

$$E_o = q c_g \log \frac{T_C}{T_D}$$

der entzogenen Wärme entsprechend.

Die Summe dieser Aequivalenzwerthe hat gleich der Null zu sein; es wird somit

$$\frac{T_B}{T_A} = \frac{T_C}{T_D}.$$

Mit Benützung dieser Beziehung wird die Arbeit

$$L = \frac{q c_g}{A} \cdot \frac{(T_B - T_A) (T_A - T_D)}{T_A} \dots 10)$$

Verlässt man nun diesen Weg der Berechnung und nimmt als Ausgangspunct den in dem Heizraume entwickelten Wärmebetrag, so wird auch in diesem Falle die Menge der entwickelten Wärme auszudrücken möglich sein durch  $Q_o = q_0 C_x (T_0 - T_C)$ , wenn  $T_1 = T_C$  gesetzt wird.

Indem der Vermittler mit der Temperatur  $T_A$  zur Erhitzung gelangt, so können die Verbrennungsproducte im günstigsten Falle nur mit dieser Temperatur den Heizraum verlassen; es wird somit die mit demselben entfernte Wärme

$$Q_o = q_0 C_x (T_A - T_C) \text{ sein.}$$

Die von dem Vermittler aufgenommenen und den Brennproducten entzogenen Wärmebeträge haben daher gleich zu sein, es wird daher

$$q_0 c_o (T_0 - T_A) = Q_a - Q_o = q c_g (T_B - T_A).$$

Die im Verlaufe des Kreisprocesses entzogene Wärme ist

$$Q_o = q C_g (T_C - T_D);$$

dieser Werth lässt sich mit Rücksicht der letzten Gleichung noch ausdrücken durch

$$Q_o = q_0 C_x \frac{(T_0 - T_A) (T_C - T_D)}{T_B - T_A}.$$

Im Sinne der Gleichung (2) wird somit der Betrag der Arbeit

$$L = \frac{q_0 C_x}{A} \left[ (T_0 - T_A) - \frac{(T_0 - T_A) (T_C - T_D)}{T_B - T_A} \right]$$

oder auch noch

$$L = \frac{q_0 C_x}{A} \frac{(T_0 - T_A) \cdot (T_B - T_A - T_C + T_D)}{T_B - T_A}.$$

Benützt man die zwischen den Temperaturwerthen  $T_B$ ,  $T_A$ ,  $T_C$  und  $T_D$  herrschende Beziehung, so wird auch noch

$$L = \frac{q_0 C_x}{A} \frac{(T_0 - T_A) (T_A - T_D)}{T_A}.$$

Indem die der in dem Heizraume entwickelten Wärme entsprechende Arbeit

$$L_0 = \frac{q_0 C_\alpha}{A} (T_0 - T_C)$$

ist, so erhält man den Werth des Wirkungsgrades

$$\beta = \frac{(T_0 - T_A)(T_A - T_D)}{(T_0 - T_C) T_A}$$

In dieser Gleichung sind  $T_A$  und  $T_D$  als veränderliche Grössen anzusehen. Nimmt man  $T_D$  vorläufig als constant, so erhält man durch Bildung des ersten Differential-Quotienten für  $T_A = \sqrt{T_0 T_D}$ .

Berücksichtigt man nun, dass der Werth des Wirkungsgrades ein Maximum wird, wenn  $T_D$  den kleinsten Werth annimmt, dieser mögliche kleinste Werth aber  $T_D = T_C$  ist, so wird

$$T_A = \sqrt{T_0 T_C} \dots \dots \dots 11)$$

und man erhält den Arbeitsbetrag zu

$$L = \frac{q_0 C_\alpha}{A} (\sqrt{T_0} - \sqrt{T_C})^2,$$

den Werth des Wirkungsgrades zu

$$B = \frac{\sqrt{T_0} - \sqrt{T_C}}{\sqrt{T_0} + \sqrt{T_C}}$$

Geht man zurück auf die schon früher gefundene Formel für den Arbeitsbetrag, Formel 10, so wird  $L$  ein Maximum, wenn  $T_A = \sqrt{T_B T_D}$  ist; auch in diesem Falle wird  $T_D = T_C$  zu nehmen sein, es wird sodann

$$T_A = \sqrt{T_B T_C} \dots \dots \dots 12)$$

Durch Gleichsetzung der Formeln 11 und 12 findet man, dass  $T_B = T_0$  sein müsse, d. h. der Maximalwerth in der Wärme-Ausnützung bei den zwei letzten Arten der Kreisprocesse wird nur möglich, wenn der Vermittler bis zur höchsten in dem Heizraume herrschenden Temperatur erhitzt wird. Dies wird theoretisch erreicht durch Gegenstrom-Heizapparate.

Die durch die gepflogenen Untersuchungen gewonnenen Resultate bieten einen bemerkenswerthen Einblick in jene Beziehungen, welche zwischen den den Zustand des Vermittlers bestimmenden Grössen herrschen. Dieselben liefern den Beweis, wie es ganz unmöglich ist, bei den Untersuchungen der Wärme-Motoren von der in dem Heizraum entwickelten Wärme Umgang zu nehmen. Ziel und Zweck der theoretischen Untersuchungen kann doch nur der sein: jene Grundlage zu schaffen, welche erkennen lässt, unter Einhaltung welcher Bedingungen die günstigste Wärme-Ausnützung zu erzielen ist.

Möge nun was immer für ein permanentes Gas als Vermittler zwischen Wärme und Arbeit benützt werden, möge die Art der Wärme-Aufnahme welche immer sein, so wird die theoretisch erzielbare höchste Wärme-Ausnützung, wenn das Gewicht der gebildeten Verbrennungsproducte mit  $q_0$  bezeichnet wird, gefunden werden können aus Formel

$$L = \frac{q_0 C_\alpha}{A} (\sqrt{T_0} - \sqrt{T_C})^2,$$

und der erreichbare höchste Wirkungsgrad ist

$$\beta = \frac{\sqrt{T_0} - \sqrt{T_C}}{\sqrt{T_0} + \sqrt{T_C}}$$

Indem diese Werthe für alle Gruppen gelten, so ist dadurch der Beweis geliefert, dass in allen jenen Fällen, in welchen ein permanentes Gas die Vermittlerrolle zwischen Wärme und Arbeit spielt, der Grad der Wärme-Ausnützung unabhängig ist von der Art des Stoffes und unabhängig ist von der Art der Wärme-Aufnahme.

Die Art der Wärme-Aufnahme hat somit auf den Umfang der Wärme-Ausnützung keinen Einfluss, die Wärme-Aufnahme bei constanter Temperatur hat somit keinen Vorzug vor den übrigen Arten der Wärme-Aufnahme. Lässt man die Wärme-Erzeugung und die Menge der in dem Heizraume entwickelten Wärme ausser Acht, so wird nur betreff der wirklich aufgenommenen Wärme (also unbekümmert um die Güte der Heizvorrichtung) die Wärme-Aufnahme bei constanter Temperatur die günstigste Verwendung erzielen lassen. Praktisch genommen bietet die Wärme-Aufnahme bei constanter Temperatur nur Einen Vortheil, nämlich den, dass bei der Temperatur  $T_A = \sqrt{T_0 T_C}$  derselbe Grad in der Wärme-Ausnützung zu erzielen ist, welcher bei den zwei übrigen Arten der Wärme-Aufnahmen erst bei dem Temperaturwerth  $T_A = T_0$ , also bei dem höchsten Temperaturgrad erreicht werden kann.

Der in dem Heizraume erzielbare höchste Temperaturwerth kann im Mittel zu  $T_0 = 1473^\circ$  angenommen werden. Indem die absolute Temperatur der äusseren Luft im Mittel mit  $T_1 = 288^\circ$  gesetzt werden kann, so ist  $T_0 = 5.11 T_1$ .

Der Werth der specifischen Wärme  $C_\alpha = 0.35$ , somit, wenn mit  $q_0$  das Gewicht der Verbrennungsproducte bezeichnet wird, ist die geleistete Maximal-Arbeit

$$L_0 = 158 \frac{q_0}{A},$$

und der Wirkungsgrad ist  $\beta = 0.38\%$ .

Wird ein permanentes Gas als Vermittler zwischen Arbeit und Wärme verwendet, so ist der theoretisch erzielbare Maximal-Effect, dass von der in dem Heizraume verbrauchten Wärme 38% zu äusserer Arbeit verwendet werden. Der erzielbare Maximalwerth kann aber nicht als constant angesehen werden; derselbe ist eine Function des in dem Heizraume erzielbaren Temperaturgrades. Obiger Werth ist nur mit Rücksicht des verwendeten Brennstoffes als Maximalwerth anzusehen.

In den folgenden Untersuchungen sollen nun die offenen Luftkraftmaschinen, ferner die beiden Hauptgruppen der Dampfmaschinen auf gleicher Grundlage, wie die vorhin gewählte, einer Besprechung unterzogen und nach, Abschluss derselben sodann eine vergleichende Beurtheilung sämtlicher Gruppen vorgenommen werden.

### Ueber den Brücken-Einsturz von Ashtabula.

In der Ueberzeugung, dass es für die Fachgenossen von Interesse sein wird, die Ansicht eines amerikanischen Ingenieurs (Clemens Herschel von Boston) über die kürzlich erfolgte Katastrophe von Ashtabula zu vernehmen, freut es mich umso mehr, dieselbe im Nachstehenden wiedergeben zu können, als dadurch die bei uns ziemlich verbreitete Voreingenommenheit für die amerikanischen Stoss-Verbindungen entkräftet wird, und als dabei auf gewisse Conflicte zwischen den Ergeb-

nissen des Calculs und den verwaltungsräthlichen Tendenzen ein eigenenthümliches Streiflicht geworfen wird, welches uns gleichfalls zur Lehre dienen kann.

Ehe das erst kürzlich durch den Unfall bei Ashtabula im Publicum erwachte Interesse für Brücken-Constructionen wieder einschlämmt, und wir Ingenieure wieder die Einzigen sind, welche auf Wache stehen, um von den Lehren Nutzen zu ziehen, die sich aus Misserfolgen ebenso wohl wie aus glänzenden Beispielen des Gelingens für unser Fach ergeben, so lange der Warnruf eines Fachmannes und sein Appell an das Gefühl der Verantwortlichkeit von der öffentlichen Meinung unter dem Eindruck der jüngsten Katastrophe noch beachtet wird, möchte ich die Fragen beantworten, welche sich bei solchen Anlässen Jedem von selbst aufdrängen.

„Was war die Ursache? War die Brücke schlecht construirt oder das gewählte Eisen von geringer Qualität? Versagte ihre Stärke nach elfjährigem Dienste plötzlich, oder war ihr langsames Verfallen unbemerkt geblieben? Hätte man durch häufige und gründliche Untersuchungen eine Abnahme der Tragfähigkeit constatiren können, oder war der Einsturz wirklich, wie man sagt, die plötzliche Folge intensiver Kälte?

War letztere Ursache die Schuld, warum trat dann das Unglück nicht schon früher bei noch strengem Winter ein? Sollte es denn gar kein Mittel geben, eiserne Brücken von unbedingter Sicherheit zu construiren? Und wer trägt, insoweit hievon überhaupt die Rede sein kann, die Verantwortung eines solchen Unfalles, der Ingenieur, der die Brücke projectirte, oder der Unternehmer, oder die Bauleiter, oder die Eisenbahn-Gesellschaft? War die Brücke mehr mit Rücksicht auf ihre Güte oder auf ihre Billigkeit gebaut? Hatte man den Bauvertrag mit dem billigsten, oder mit dem ehrlichsten und erfahrensten Unternehmer vereinbart? Diese und viele andere ähnliche Fragen drängen sich dem denkenden Beobachter auf, eine erschreckte Bevölkerung harret ihrer Lösung, mit dem dringenden Wunsche nach Sicherheit und Belehrung. Selbstverständlich ist der grossen Mehrheit das Detail des Brückenbaues unverstänlich aber sie verlangt mit Recht, vertrauensvoll auf die Ingenieure, Unternehmer und Arbeiter blicken zu dürfen, welche an dem Bau betheilig sind, und ebenso auf die Eisenbahn-Gesellschaften, deren Obhut sie ihre eigenen Existenzen und jene ihrer Liebsten fortwährend anvertrauen.

Die Rechtstitel meiner Kompetenz zur Beantwortung dieser Fragen sind im Allgemeinen ein siebenjähriges Studium und eine dreizehnjährige Praxis als ausübender Ingenieur. Mit besonderer Beziehung auf den Unfall bei Ashtabula aber die Lecture aller wichtigeren Eisenbahn- und technischen Wochenschriften, welche seit dem Einsturz der Brücke in diesem Lande erschienen sind, aller Mittheilungen und Notizen der meisten, ja beinahe aller Zeitungen New-Yorks und Bostons bis zum heutigen Tage und des Berichtes eines sehr geschickten Brücken-Constructeurs an einen Ingenieur-Verein auf Grund einer Untersuchung an Ort und Stelle.

„War sie unrichtig construirt?“ Diese Frage zerfällt wieder in mehrere andere: War der Entwurf unrichtig? War das Material ein genügendes und in richtigem Quantum an gehöriger Stelle angebracht? Waren die Bestandtheile gut zusammengefügt? Hatte man die Construction und die Aufstellung gewissenhaft durchgeführt?

Der allgemeine Entwurf der Brücke, war nach dem System, welches man „Howe'sche Träger“ nennt, die Fahrbahn über den Trägern, die Stützen an den Enden geneigt, nicht vertical. Howe'sche Träger werden nach William Howe of Warren in Massachusetts so genannt, welcher sie zuerst in Holz mit verticalen, eisernen Zugstangen construirt, von allen hölzernen Trägern findet man sie am häufigsten angewendet und sie sind für Jedermann an ihren allgemeinen Eigenenthümlichkeiten leicht zu erkennen: Diagonalen und obere und untere Gurtungen von Holz und verticale Zugstangen aus Eisen. Das allgemeine System der Linien und einzelnen Glieder ist ein ganz gutes.

Es wurde etwas von einem Bogen gesprochen, welcher während oder nach der Construction den Trägern beigegeben worden sein soll, um ihnen mehr Festigkeit zu verleihen, das scheint zwar unrichtig zu sein, da man jedoch in früheren Zeiten dieses Mittel öfters anwandte und es heute noch manchmal anrath, so benütze ich die Gelegenheit, um mich ein für alle Male darüber auszusprechen:

Ordentliche Träger brauchen keine weiteren Stützen. Könnte man sie nicht so stark construiren, als man sie braucht, so wäre das ganze System verwerflich. Und in der That kann das vorliegende System in jeder beliebigen Stärke angewendet werden.

Bei seiner Anwendung ist das genaue Gewicht, welches jedes seiner einzelnen Glieder in jedem Augenblicke zu tragen hat, mathematisch bestimmt, diese Berechnung geht aber verloren sobald ein Bogen oder ein Hänge-Kabel den Trägern beigegeben wird, daher kann kein gültiger Grund angegeben werden, warum die Träger nicht allein ihrer Aufgabe gerecht werden sollten, wenn einmal ein Träger-System gewählt wurde.

„War das Material ein genügend gutes und in richtiger Menge angewandt?“ Der Augenschein ergibt, dass das Material aller Hauptbestandtheile Schmiedeseisen war, ein im Allgemeinen und nach meiner Meinung in diesem Falle ganz besonders geeignetes Material.

Der Ingenieur, welcher das Project entwarf, konnte aber die Anordnung der Brückenenden in Ansehung des quantitativen Material-Aufwandes nicht nach seinem Willen durchführen, — man überstimte ihn und in Folge ernstlichen Zerwürfnisses darüber wurde er vom Präsidenten des Verwaltungsrathes entlassen — ungeachtet dieses Umstandes jedoch, auf welchen von vielen Seiten übertrieben viel Gewicht gelegt wird, entnehme ich aus Berichten von Augenzeugen, dass das Material eines jeden einzelnen Gliedes der Brücke derartig war, dass keines wegen übermässiger Anspruchnahme brechen konnte. In Folge dessen beantworte ich obige Frage dahin, dass das Material der Hauptbestandtheile (ihre Zusammensetzung bespreche ich später) nicht von geringer Qualität gewesen ist, dass es nicht plötzlich seine Stärke verlor, dass auch keine allmälige Abnutzung unbemerkt ihren Bruch herbeiführte und dass häufige und gründliche Untersuchungen in dieser Richtung zu keinem Resultat geführt hätten.

„Waren die einzelnen Bestandtheile gut zusammengefügt?“ Damit berühren wir ein sehr heikles Thema und es ist schwer für einen einzelnen Ingenieur, sich darüber entschieden zu äussern, denn gerade über diesen Gegenstand wird seit zwei oder drei Jahren zwischen Ingenieuren und den Erbauern von Brücken eine heftige Fehde geführt und noch immer entscheidet darüber die persönliche Anschauung.

Es geziemt indessen Jedem, seine Meinung klar auszusprechen, und umso mehr im jetzigen Augenblicke ruhig, unparteiisch und ohne Rücksicht auf persönliche Interessen seine Stimme zu erheben.

Beim Brückenbau von Ashtabula kam ein System von Fugen-Verbindung in Anwendung, welches in letzterer Zeit mit einem gewissen Stolze als ein ausschliesslich amerikanisches bezeichnet wurde, vielleicht ohne hinlänglichen Grund, denn es war nicht hier erfunden, noch ausschliesslich in den Vereinigten Staaten verwendet. Zum Beispiele findet sich dieses System gar nicht auf der New-York Central- oder Hudson-River-Eisenbahn noch auf unserer Boston- und Albany-Bahn; die Brücke über den Connecticut-Fluss bei Windsor-Locks ist nicht dieser Art und auch die Brücke über den Alleghany-Fluss in Pittsburg nicht, mehrere amerikanische Brückenbau-Unternehmer bauen gar nicht nach diesem System, viele amerikanische Ingenieure haben nie solche Brücken construirt und werden nie solche Brücken construiren.

Trotz alledem aber strotzte die technische Literatur von Artikeln über die respectiven Vortheile der amerikanischen und europäischen oder genieteten eisernen Brücken.

Selbstverständlich gibt es mehrere Arten von amerikanischen Charnier-Fugen, oder wie ich sie lieber nenne, stumpf aneinander gestossenen Fugen. Das System der Fugenverbindungen an der Ashtabula-Brücke war nicht von den besten, es ist aber eine allgemeine Eigenenthümlichkeit von Allen, dass die auf Druck in Anspruch genommenen Theile nur stumpf zusammengestossen werden, oder dass Gusseisen in kurzen Stützen und Stühlen zur Verbindung der Fugen benützt wird — wogegen es ein fundamentaler Grundsatz der Construction genieteter Brücken ist, die auf Druck gerade so wie die auf Zug in Anspruch genommenen Theile durch Nietten zu verbinden, welche im rothglühenden Zustande eingeführt und mit Köpfen versehen werden.

Ein anderes bezeichnendes Merkmal des fälschlich amerikanisch genannten Brücken-Systems ist die Anwendung von eigenen Schmiedeseisen-Bestandtheilen bei den auf Zug in Anspruch genommenen Theilen. Diese Stücke tragen runde Oehre an ihren Enden, durch welche ein einziger grosser Bolzen durchgesteckt wird, während bei dem Niet-

Systeme dieselben Zugglieder aus vielen zusammengenieteten Stücken bestehen und diese selbst wieder durch Nietten befestigt werden, wie oben schon erklärt wurde.

Noch ein anderer charakteristischer Unterschied besteht in der häufigen Benützung von Schraubenbolzen und Muttern in dem ersteren Systeme, während das letztere sich immer wieder nur der im rothglühenden Zustande versetzten Nietten bedient.

Der oben erwähnte Meinungsstreit hat einen sehr allgemeinen Standpunct angenommen, bei welchem auch die Herstellungskosten und Sparsamkeits-Rücksichten bei der Erhaltung in Betracht gezogen wurden, da wir aber hier blos die Frage der Sicherheit erörtern, so behaupte ich ein für alle Mal, dass in allen Fällen, ganz insbesondere aber für den Eisenbahnbau, das Nietten-System das geeignetste ist.

Ein warmer Fürsprecher des andern Systems ist so weit gegangen, als Beweis der Güte das Argument zu bringen, dass, wenn eine Brücke mit Charnieren oder stumpf zusammengestossenen Fugen einstürzt, weil die Steinpfeiler unterwaschen sind — sie in lauter Stücke zerfällt, welche alle herausgefischt und wieder zusammengefügt werden können, während eine genietete Construction unter denselben Umständen so fest zusammenhängt, dass es nothwendig ist, und in einem bestimmten Falle factisch nothwendig wurde, sie mittelst Dynamit auf den Zustand verkäuflichen Alt-Eisens zu reduciren und sie so aus dem Wege zu räumen, dass daher unzweifelhaft die erstere die bessere wäre. Und gewiss von diesem Standpuncte war sie es auch, aber Brücken werden im Allgemeinen nicht dazu gebaut, um sie in's Wasser stürzen zu lassen, und sie dann in ihren einzelnen Theilen unbeschädigt wieder herauszufischen; nach meiner Auffassung dienen sie in dieser Welt noch einem andern Zwecke, nämlich der sicheren Ueberfuhr so lange die Steinpfeiler aufrecht stehen, und diese hinwieder sollen aufrecht stehen, um die Brücke zu tragen.

Jetzt kehren wir aber das Beispiel um — statt die Brücke gegen ein Hinderniss stossen zu lassen, lassen wir sie stille stehen, und lassen wir ein gewichtiges Hinderniss, etwa eine entgleiste Locomotive oder einen Wagen gegen die Brücke stossen; in diesem Falle, der leider kein ganz seltener ist, wird nicht jene Brücke, die zuerst so leicht zerfiel, auch diesmal nachgeben? Mir scheint eine weitere Erörterung ganz überflüssig; die Vertheidiger dieses Systems verdammen es ja selbst, indem sie zeigen, wie sich dasselbe gegen unerwartete Stöße, und zwar unerwartet sowohl in ihrer Richtung als in ihrer Gewalt, verhalten würde.

Ich habe dagegen in meiner eigenen Erfahrung gesehen, wie ein genieteter Träger während der Aufstellung, ehe er noch mit dem Hauptkörper der Brücke verbunden war, durch einen Windstoss von den Widerlagern gerissen wurde und 18 Fuss tief in das Flussbett fiel. Er wurde heraufgehoben und nachdem unter der Ecke, auf die er zuerst aufgefallen war, ein Feuer angezündet worden war, um wieder Alles auszugleichen, stellte man ihn auf seinen Platz, wo er heute noch nach zwölfjähriger Dienstzeit steht. Man ist dabei billig weggekommen, und mir scheint das noch mehr werth, als das vollkommene Auseinanderfallen. Dieses Beispiel ist übrigens ebenso sehr berufen, zu zeigen, was solche Träger in ihrer richtigen Stellung aushalten, als im Falle eines Sturzes.

Ein Wort über die Benützung von Gusseisen ist hier am Platze. Viele Ingenieure, welche dessen Gebrauch bei allen Hauptbestandtheilen ausschliessen, lassen es doch zur Herstellung von Stühlen oder Stützen bei stumpf zusammengestossenen Fugen zu, während es bei genieteten Brücken gar nie in Anwendung kommt. Da die Erfahrung jeder Theorie vorzuziehen ist, so beginne ich mit der Aufzählung jener Brücken-Einstürze, die mir eben im Gedächtnisse sind, und füge die Ursache ihres Einsturzes nach meiner Auffassung hinzu:

Einsturz der Brücke über den Dee bei Chester in England 1847. Ursache: Gleichzeitige Anwendung von Guss- und Schmiedeseisen und schlechte Construction.

" " " auf der Eric-Eisenbahn 1850. Ursache: Unzureichendes Material. Gleichzeitige Anwendung von Guss- und Schmiedeseisen.

" " " über Joiner-Street, London, October 1850. Ursache: Schlechte Construction. Gleichzeitige Anwendung von Guss- und Schmiedeseisen.

Einsturz der Brücke bei Czernowitz in Oesterreich 1868 oder 1869. Ursache: Schlechtes Fugen-System. Gleichzeitige Anwendung von Guss- und Schmiedeseisen.

" " " bei Dixon in Illinois, 4. Mai 1873. Ursache: Unzureichende Quantität von Material und mittelmässige Construction. Letztere war eine Strassenbrücke, alle anderen und die folgende sind Eisenbahnbrücken.

" " " Ashtabula, Ohio, 20. December 1876. Ursache: Schlechtes Fugen-System. Anwendung von Gusseisen, nachlässige Construction und Montirung.

Die Wichtigkeit dieser Tabelle besteht hauptsächlich in der Thatsache, dass ich trotz sorgfältiger und ausgedehnter Nachforschungen keinen anderen Fällen von Einstürzen eiserner Brücken unter ihrer Last begegnet bin. Sie ist das Ergebniss einer dreissigjährigen Erfahrung, und mit einer einzigen Ausnahme spielt überall dabei Gusseisen die Hauptrolle, soweit ich weiss, ist nicht ein Fall bekannt, dass eine genietete Brücke aus Schmiedeseisen unter ihrer Last eingebrochen wäre, obwohl so manche seit dem Jahre 1845 steht, und obwohl dieses System seit seiner ersten Anwendung bis zum Zustande seiner heutigen Vervollkommnung allerlei Entwicklungsphasen durchzumachen hatte.

Die theoretischen Ursachen für den Bruch des Gusseisens in Brücken sind mehrerlei: Findet es sich als Hauptbestandtheil gleichzeitig mit Schmiedeseisen verwendet, so wird es durch Druck anders als das Schmiedeseisen afficirt; es wird durch Kälte und Hitze ebenfalls in einem anderen Verhältnisse zusammengezogen und ausgedehnt als Schmiedeseisen, was beides nicht eben wünschenswerth ist.

Ob in kürzeren oder längeren Stücken angewendet, bricht es leicht unter einem plötzlichen Stoss, diese Neigung wird durch Kälte noch sehr vermehrt, im günstigsten Falle ist es ein verrätherisches Material, das ohne vorherige Anzeichen bricht, wenn es bricht.

Viele Experimente sind gemacht worden, zum Beweise, dass die Kälte auf Guss- und Schmiedeseisen keinen Einfluss ausübt, und doch beweisen sie nichts Anderes, als dass im Laboratorium unter gleichmässigem Drucke die Anwendung einer Kältemischung keine Wirkung hervorbringt. Dem entgegen steht noch immer die bekannte Thatsache — um nicht andere Fälle zu citiren, dass, wenn man einen gussstählernen Hammer zum Steinklopfen über Nacht im Freien lässt, derselbe beim ersten Schlag in der Früh auseinander springt, man hätte ihn denn zuvor langsam und gleichmässig erwärmt.

Es übersteigt auch nicht die Grenzen des menschlichen Verstandes, eine Theorie zur Erklärung und Prüfung solcher Fälle aufzustellen. Ziehen wir z. B. den Einfluss in Betracht, welchen die durch den Schlag entwickelte Wärme ausübt. Die Reibung eines Stückchens Stahl gegen den Feuerstein ist keine ungeheure Kraft, und doch genügt sie, um den abgeriebenen Stahlsplitter zu entzünden, und so den Funken hervorzubringen, der den Zunder in Feuer setzt. Wäre es also nicht möglich, dass die intensive Wärme, welche der Stoss an einer Stelle hervorbringt, etwas mit dem Bruche zu schaffen habe, wenn sie auch nicht die einzige Ursache der plötzlichen Erschütterung einer mit gefrorener Feuchtigkeit durchtränkten Materie ist, welche vielleicht an ihrer Aussenseite fester zusammengezogen ist, als in ihrem Inneren?

Weiter kennen wir die Thatsache, dass Gusseisen während des Abkühlens leicht bedeutende Spannungen in sich aufnimmt, ein bekanntes Beispiel dieser Tendenz aller gegossenen Substanzen bieten die „Prince Ruperts Tropfen“, welche in Splitter zerstieben, wenn man ihnen die Spitze abbricht. Was ein ganz leichter Bruch hier zu Stande bringt, mag im anderen Falle durch eine andere äussere Ursache hervorgebracht werden. Daher sage ich, dass die plötzliche Wirkung intensiver Kälte möglicherweise bei dem Einsturze jener Brücken mitwirkte und während ich durchaus nicht alle amerikanischen Brücken-Systeme in eine Kategorie stellen und sie nicht alle verdammen will, da darunter verschiedene Arten, und Werke unserer begabtesten Ingenieure sind, denen wir die höchste Achtung und Anerkennung zollen, so muss ich doch darauf bestehen, das stumpf aneinander gestossene Fugen und gusseiserne Stühle ebenso ausser allen Gebrauch gesetzt werden sollen, wie es mit gusseisernen Hauptbestandtheilen bereits geschehen ist, es steht den Erbauern solcher Brücken ein weites reiches Feld zu Verbesserungen und Vervollkommnungen offen, und auf die Frage: „Gibt es keine eiserne Brücke von unbedingter Sicherheit?“ antworte ich, dass

eine schmiedeiserne genietete Brücke, von einer dazu berufenen Persönlichkeit entworfen und ausgeführt nach den Ergebnissen einer dreissigjährigen Erfahrung, eine Brücke von unbedingter Sicherheit genannt werden kann.

„Wurde die Construction und Aufstellung ordentlich ausgeführt?“

Im vorliegenden Falle liefert die Zeugenaussage eine eigenthümliche, leider nicht mehr seltene Illustration für die Mittel und Wege, deren man sich bedienen muss, um eine schlechte Brücke zu bauen.

Die Brücke wurde von einem Ingenieur entworfen, welcher mir von sehr competenten Persönlichkeiten als ehrlich und gewissenhaft und als ein eifriger Anhänger der alten Doctrin geschildert wird: nur gutes Material und in ausreichender Menge zu verwenden. Der Präsident der Eisenbahn-Gesellschaft überwarf sich aber mit diesem Ingenieur wegen der Construction gewisser Hauptbestandtheile dieser Brücke, und wie er sich ausdrückte, wurde Herr . . . . . wegen Unfähigkeit entlassen. Diese Thatsache ist selbstredend; die Gattung Unfähigkeit, von welcher hier die Sprache ist, gehört offenbar zu jenen, welche oft den hinlänglichen Grund einer Ehescheidung bilden muss, nämlich Incompatibilität der Charaktere; ein gewissenhafter Ingenieur ist nicht im Stande, sich ohne vielen Tact unter gewissen Präsidenten und Directoren im Dienste zu erhalten. Der Präsident sagt weiter: „Herr . . . . . hatte, so viel ich weiss, weder früher noch seither irgend welche Erfahrung im Brückenbau gesammelt.“ „Die Eisenarbeit wurde aber von einem so vorzüglichen Werkführer besorgt, als ich nur irgend einen kenne.“ Hören wir nun diesen vorzüglichen Werkführer selbst: „Ich habe die Stärke der auf Druck oder Zug in Anspruch genommenen Bestandtheile nie berechnet, und sprach zu Niemand viel von der Brücke, da ich mich nicht als competent im Brückenfache ansah.“

Es ergibt sich aus diesem Allen, dass zugestandenermassen Irrthümer in der Construction begangen wurden; bei der Montirung wurden ganze Theile falsch aufgestellt, die Sprengung war zuerst verkehrt, nach unten, statt nach oben, dass musste durch Flickwerk corrigirt werden. An welchen inneren Constructions-Mängeln die Brücke noch gelitten haben mag, werden wir übrigens wahrscheinlich niemals erfahren. Keinesfalls wurde ihr die tägliche vorsorgliche und stets verbessernde Ueberwachung zu Theil, welche jeder bauleitende Ingenieur nach ihrem richtigen Werthe zu schätzen weiss. Es tritt ferner hell zu Tage, dass diese Brücke durchaus nicht von den besten war, ohne darum irgendwie zu den billigsten ihrer Art zu gehören, und dass die Vorgänge bei ihrer Construction und Aufstellung viel zu wünschen übrig liessen.

Ich gehe nun zur Moral dieser Geschichte über, so wie sie sich mir darstellt.

Wenn die Verantwortung für derartige Misserfolge sich klar und zweifellos herausstellen soll, so darf nur eine ganz bestimmte Classe von Menschen mit dem Bau von Brücken betraut werden.

Jede grössere Gemeinde besitzt gebildete und erfahrene Ingenieure, deren Geschäft es ist, solche Verantwortung zu übernehmen, sie sind dazu befähigt und im Stande, wie George Stephenson sagte, mit ihrem eigenen Kopfe, wenn es verlangt wird, für die Sicherheit ihrer Constructions zu bürgen. Sie verlangen nichts, als dass man ihre Ansicht annehme und sie nicht durch Launen und Stimmungen beirre. Sowie sie jetzt leider nur zu oft gestellt sind, ist es ihnen aber nicht gestattet, nach ihrer eigenen besten Einsicht zu bauen und doch wendet sich das Auge der öffentlichen Meinung gleich auf sie, wenn irgend ein Unfall geschehen ist.

Es haftet ein trauriges Interesse an diesem Gegenstande durch den Selbstmord des Ober-Ingenieurs jener Strecke, auf welcher die Ashtabula-Brücke einstürzte. Nach der Erfahrung über das Loos des Projectanten jener Brücke, das er vor sich hatte, mochte ihm ein beharrliches Festhalten an seiner Ueberzeugung nicht am Platze scheinen, und Alles kann man mit dem Tacte allein nicht richten. Wenn ich auf meine eigene Erfahrung zurückgreife, so muss ich constatiren, dass, wenn ich auf die Reihe von Bauten zurückblicke, die meinem Namen zuge-

schrieben werden, sie mir meistens nur als Früchte spitzfindiger Compromisse erscheinen, so dass ich sie nicht mit Stolz zu agnosciren vermag.

Wenn die Leistungen des Ingenieurs richtig gewürdigt werden sollen, so muss vor Allem das Publicum unterscheiden lernen zwischen Geometern, Werkführern, Mathematik-Professoren, Bau-Unternehmern und eigentlichen Ingenieuren, es muss ferner einsehen lernen, dass, wenn von zwei vertragsschliessenden Theilen die eine Partei über den Haupt-Gegenstand des Vertrages ganz oder, was vielleicht noch ärger sein dürfte, nur halb unwissend ist und der andere Theil unterrichtet und befähigt und im steten Wettkampf mit vielen anderen ebenso Würdigen begriffen ist, dass dann nach der natürlichen Ordnung der Dinge Jenem das legitime Recht auf die Arbeit gebührt, welcher sich dem Studium des Gegenstandes ausschliesslich gewidmet hat, ohne stets dabei an materielle Interessen zu denken.

Es gibt nur eine richtige Art, Brücken oder Hallen von grosser Spannweite zu construiren: Ein Ingenieur muss die Brücke oder die Halle entwerfen, seine Pläne können im einzelnen Aederungen erleiden bis sie den zahlenden Theil zufriedeu stellen, aber die Bau-Unternehmer müssen ihre Offerte auf Grund dieses einen Planes machen, das ist gegen Alle gerecht. Auf diese Art werden alle Brücken auf der Pennsylvania-Eisenbahn gebaut, es ist auch dies die Methode, welche auf der Boston- und Albany-Bahn, ja in ganz Europa befolgt wird und es ist die einzige sichere Methode. Sie überträgt die Verantwortung demjenigen, dem sie gebührt.

Der Unterschied zwischen dem competenten Ingenieur und solchen Herren, die das nicht sind, zwischen Ingenieuren und Bau-Unternehmern, muss sehr deutlich hervorgehoben sein. Wahrscheinlich erstaunen viele Ingenieure, die den Stand verlassen haben und Brücken-Bau-Unternehmer geworden sind, wenn man ihnen sagt, sie gehören ihrem früheren Stande nicht mehr an, und haben ihr ganzes Wesen verändert. Aber die menschliche Natur lässt sich nicht verändern. Kein Mensch kann zweien Herren dienen, und kommt es dann zur Berathschlagung über eine Brückenconstruction, oder zur Wahl zwischen mehreren Plänen, so ist der Bau-Unternehmer aus Gründen persönlichen Interesses nicht mehr competent.

Wie oft verlässt ein Richter des obersten Gerichtes seinen Platz, um in einer Eisenbahn-Angelegenheit sein Urtheil abzulehnen, weil er oder seine Frau vielleicht ein paar Actien der betreffenden Gesellschaft besitzen. Wäre es nicht ebenso geboten, dass der Bau-Unternehmer sich hütete, ein von persönlichen Interessen beeinflusstes Urtheil abzugeben, und sollte das Publicum nicht Jenen Anerkennung zollen, denen es widerstrebt, zugleich Bau-Unternehmer und Ingenieure zu sein.

Ich glaube auch, dass alle gewissenhaften Bau-Unternehmer, welche die ganze Sippe schlechter Arbeiter sammt ihrer schlechten Arbeit verwerthen, das Vertrauen des Publicums in berufene Ingenieure nur lebhaft wünschen, da kein Conflict zwischen beiden existirt und sie in Eintracht auf ein gleiches ehrliches Ziel losarbeiten. Arbeiten aber Ingenieure, Arbeitsgeber, Bau-Unternehmer und Werkführer Jeder an seiner Stelle und Alle in Eintracht, so werden Fehler wie jener von Ashtabula, ich will es absichtlich nicht einen Unfall nennen, zu den ausserordentlichen Seltenheiten zählen, und wenn sie sich ereignen, wird die Verantwortung nur das Haupt des Schuldigen treffen.

A. Gentili.

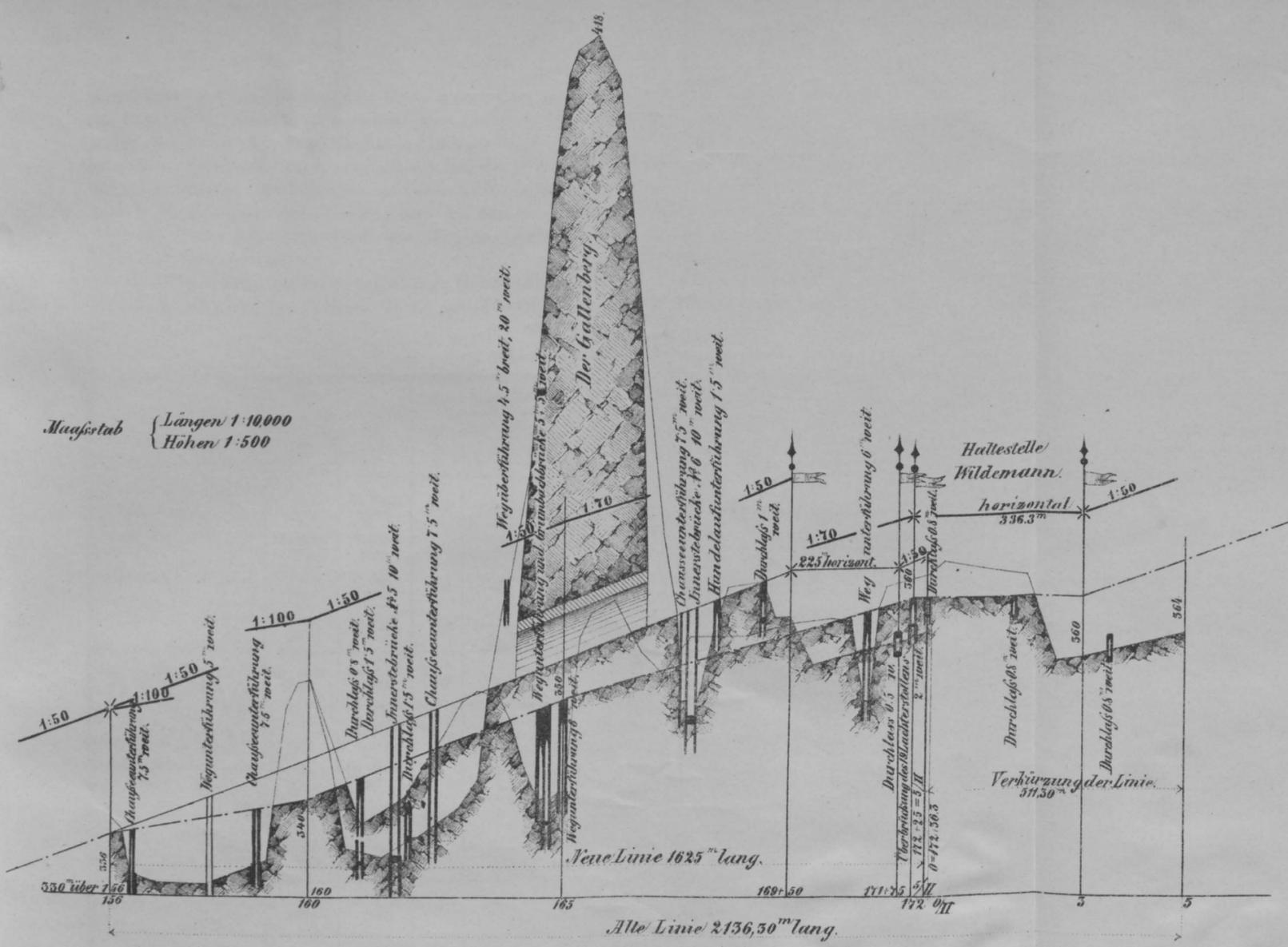
## Druckfehler-Berichtigung

im II. Heft 1877.

- Seite 37, 1. Spalte 8. Zeile von unten lies  $\frac{1}{100}$  statt  $\frac{1}{50}$   
 „ 39, 2. „ 21. Zeile von oben lies  $K^3$  statt  $K^2$   
 „ 41, 1. „ 6. Zeile von oben lies  $\frac{c}{n}$  = statt  $c =$

Situation  
1:5000.

Maaßstab  
Längen 1:10000  
Höhen 1:500



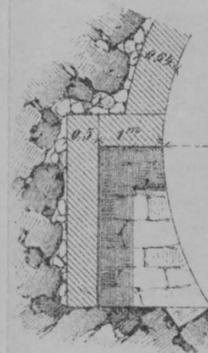
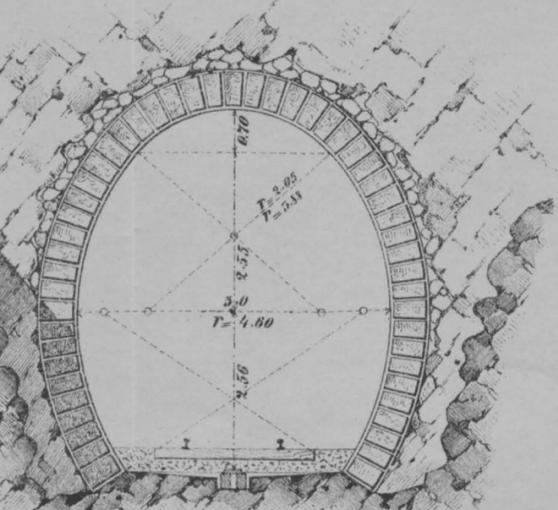
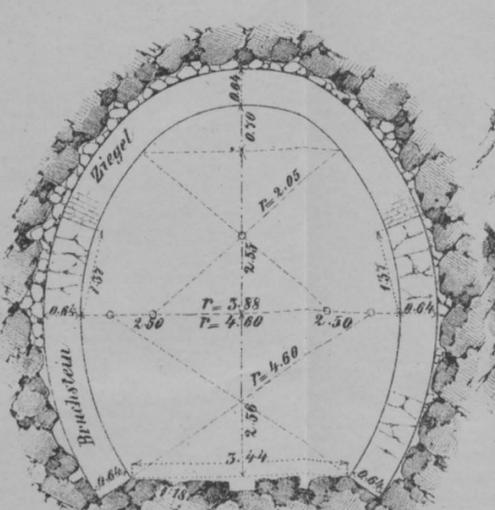
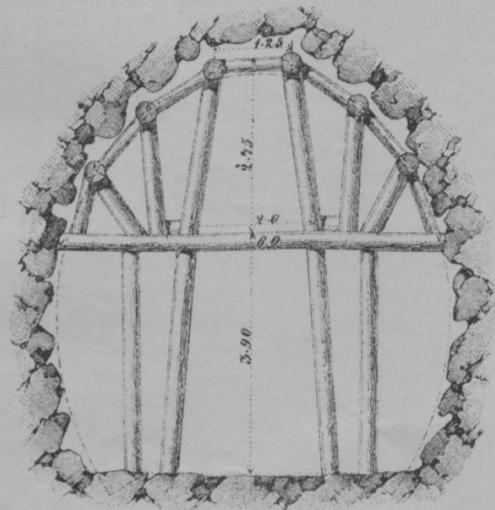
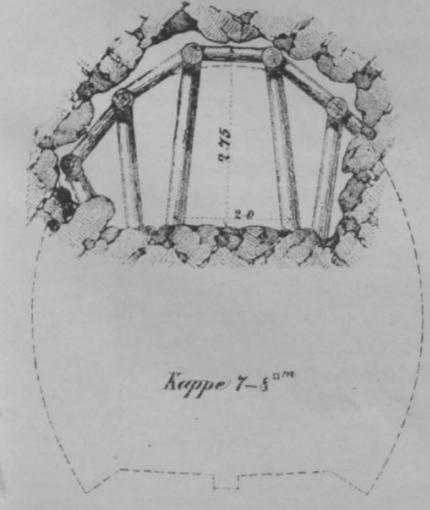
Eingleisiger Bahntunnel.  
in Stat.  $\frac{164+8.6}{166+74.50}$

Erweiterter Firststollen.

Vollendeter Tunnelausbruch.

Mauerung innerer Tunnel.

Portal-Ring.



Die Rettungsnischen sind in Entfernungen von 25 m abwechselnd links und rechts angebracht.

Maaßstab  
1:100





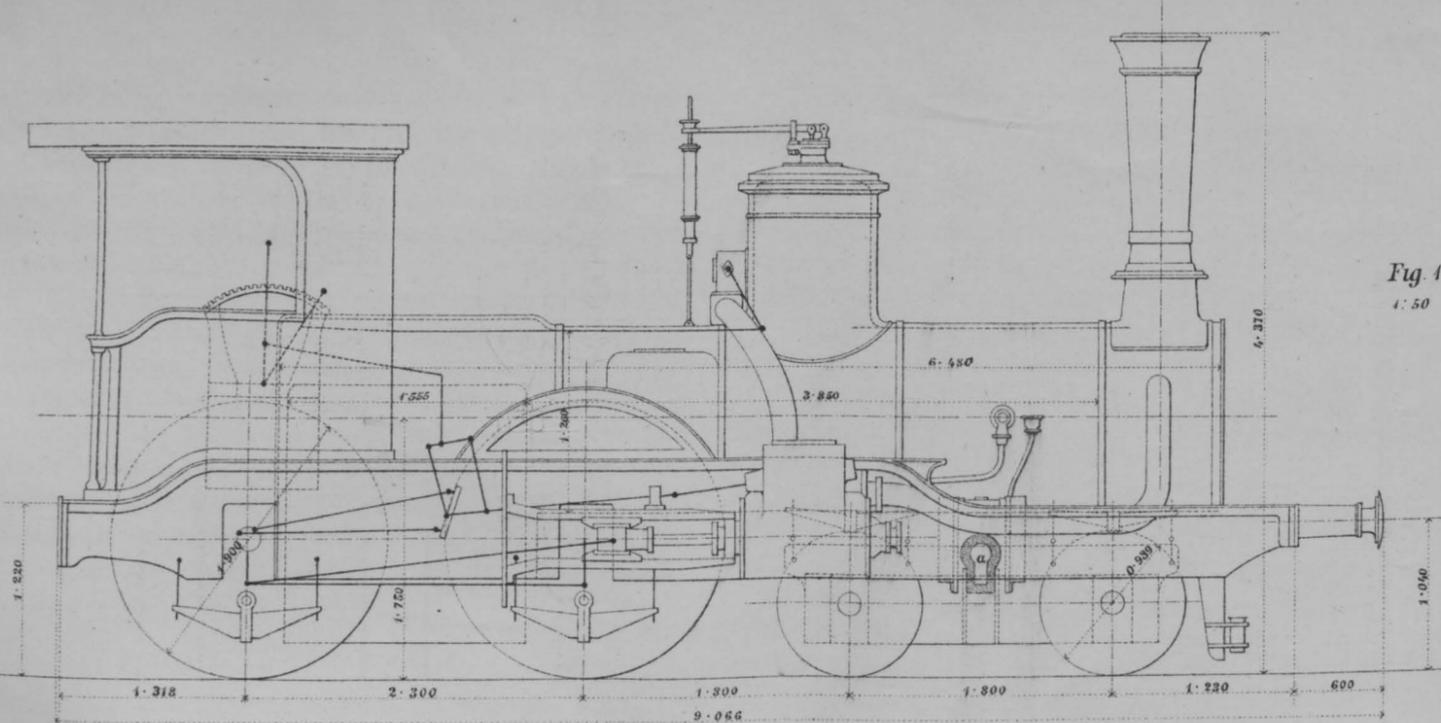


Fig. 1.  
1:50

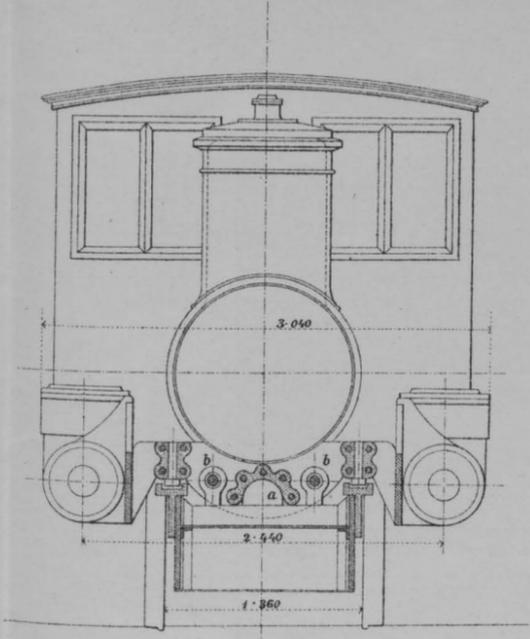


Fig. 3.  
1:10

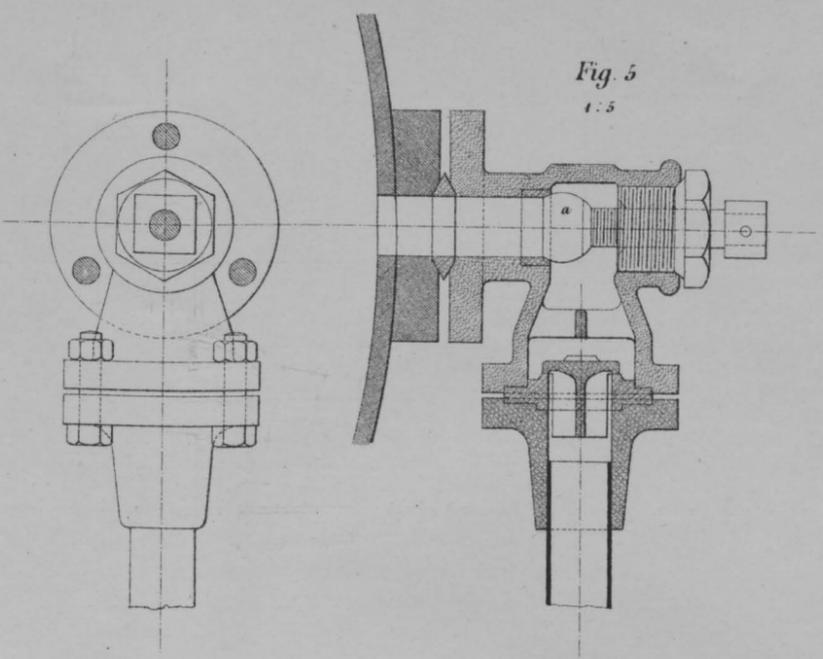


Fig. 5.  
1:5

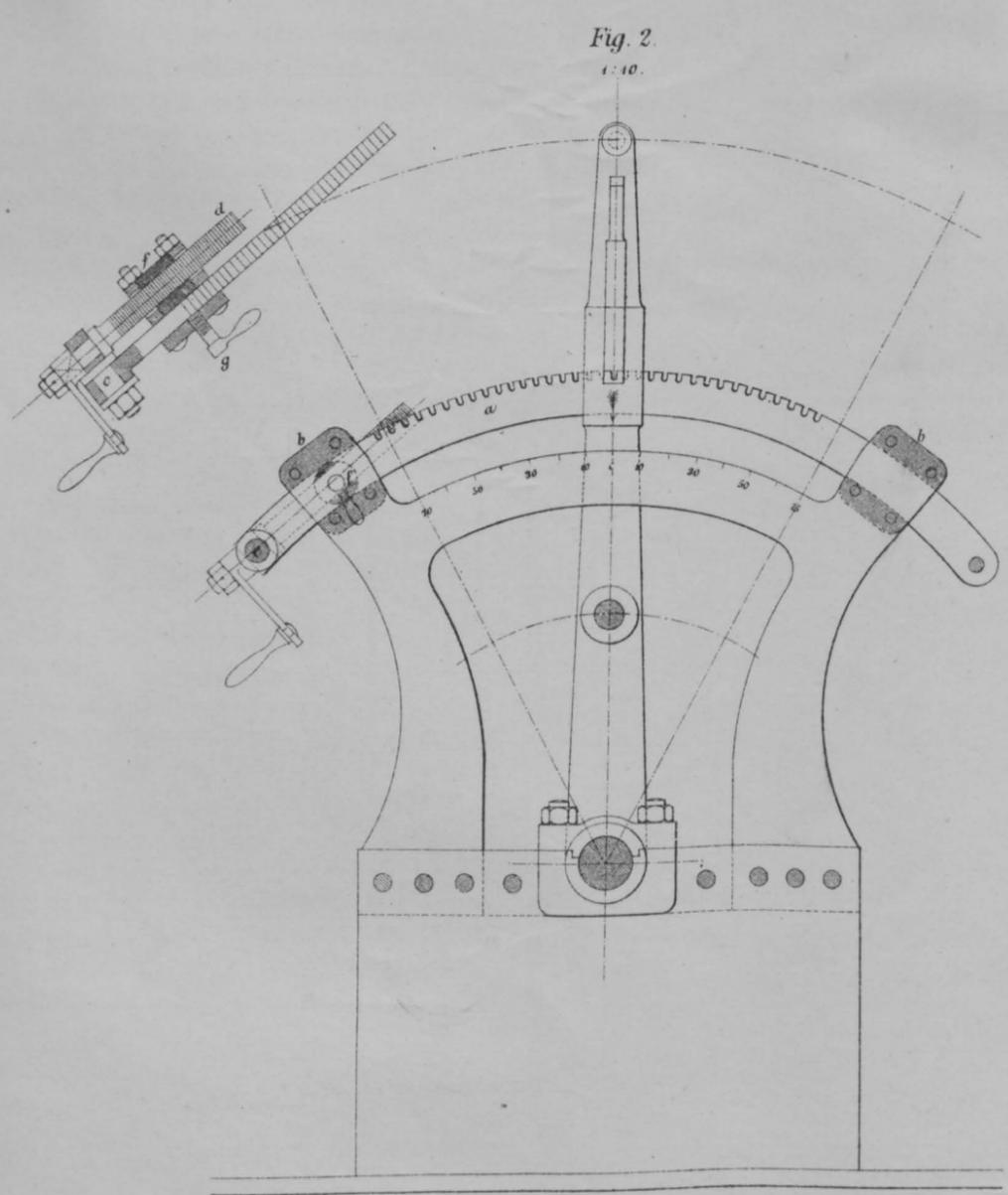


Fig. 2.  
1:10

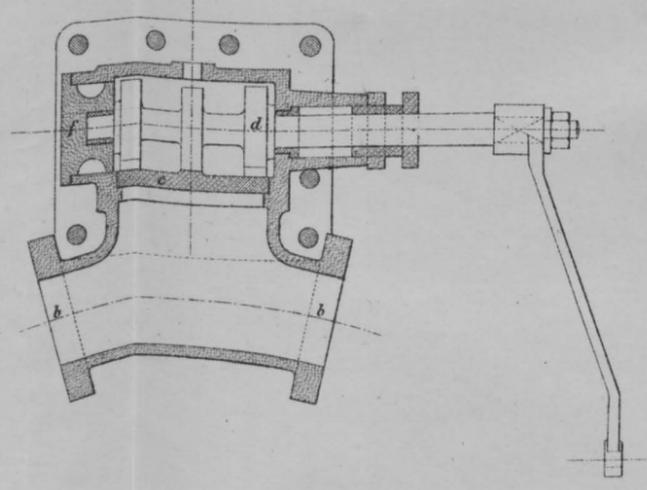


Fig. 3.  
1:10

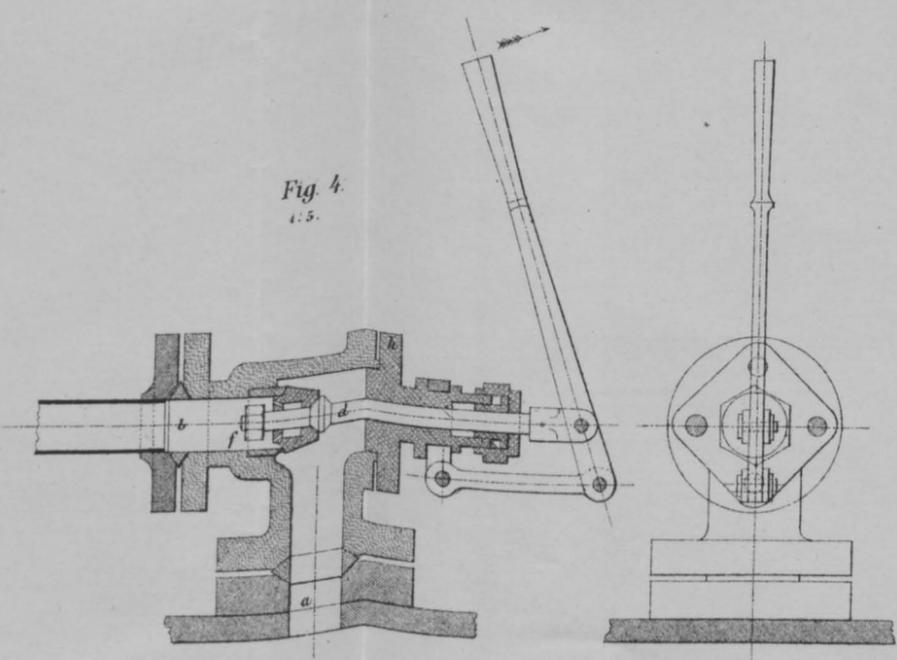
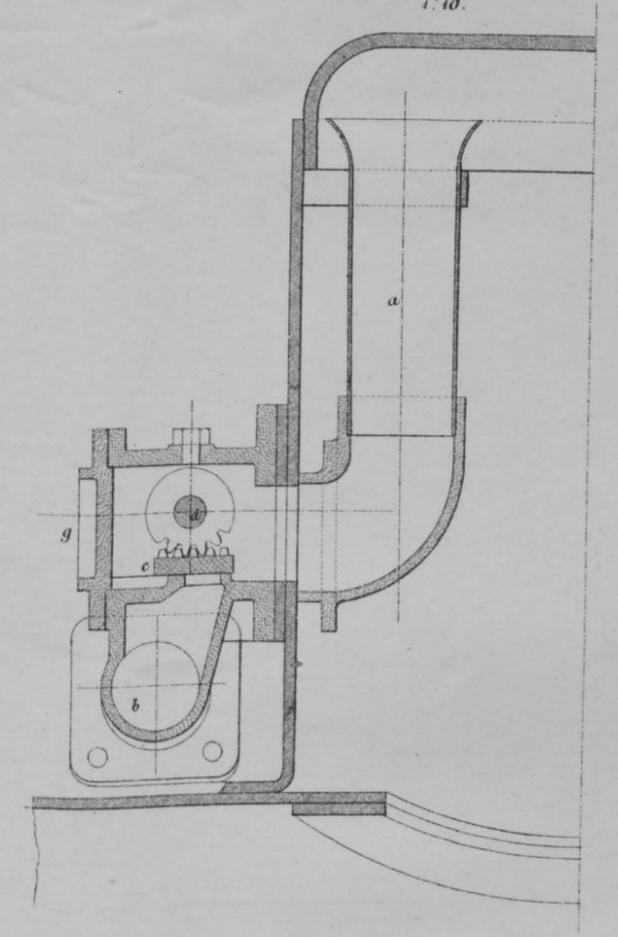


Fig. 4.  
1:5