

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

15424

# VERHANDLUNGEN

des Vereins

zur

## Beförderung des Gewerbefleißes.

~~~~~  
Sonder-Abdruck. ~~~~~

*Id. II. Teil*

*4 4*  
*46*

BERLIN.

Verlag von Leonhard Simion.

110

№ .....

Schrank .....

Fach .....

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300132





# Ueber die Widerstandsfähigkeit

auf Druck beanspruchter

## eiserner Baukonstruktionstheile

bei erhöhter Temperatur.

Von

M. Möller

und

**R. Lühmann.**

---

Vom Verein zur Beförderung des Gewerbflusses mit einem Preise gekrönte Arbeit.

---

Berlin.

Verlag von Leonhard Simion.

1888.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW

III 15424

Akc. Nr. 1818/49

# Ueber die Widerstandsfähigkeit auf Druck beanspruchter eiserner Baukonstruktionstheile bei erhöhter Temperatur.

Von M. Möller und R. Lühmann.

## Inhalt.

### Abhandlung I. Vor Ausführung eigener Versuche niedergeschrieben.

1. Gesichtspunkte, nach welchen die Lösung der gestellten Aufgabe erfolgen muß.
2. Gliederung der Aufgabe nach Einzelfragen.
3. Beeinflussung der Materialien durch Kräfte.
4. Formeln zur Berechnung gedrückter Baukonstruktionstheile.
  - a) Euler, b) Schwarz, c) neue Formel, d) do. für Feuer.
5. Zu den Versuchen des Herrn Professor Bauschinger und Anlage 1.

### Abhandlung II. Beschreibung neuangestellter Versuche. Hierzu Anlage 2 und 3 Protokolle I u. II.

1. Aufzählung der Versuchsobjekte und Motivirung der getroffenen Auswahl.
2. Beschreibung der Apparate und der anderweitigen Hilfsmittel. Hierzu Tafel I.
3. Die Ausführung der Versuche.

### Abhandlung III. Schlufsfolgerungen abgeleitet aus den unter II beschriebenen Versuchen

1. Ueber Gufseisen-Stützen.
2. Ueber Schmiedeisen-Stützen.
3. Mittheilungen des Herrn Lühmann über Sprünge im Gufseisen.
4. Wiederholung und Zusammenstellung [der Beantwortung der unter I 2 Seite 4 gestellten Fragen.

## Anlagen.

Anlage 1. Frühere Veröffentlichungen.

„ 2. Protokoll I.

Anlage 3. Protokoll II.

„ 4. Tabellen und Tafeln.

## Abhandlung I.

## Vor Ausführung eigener Versuche niedergeschrieben.

## I. Gesichtspunkte, nach welchen die Lösung der gestellten Aufgabe erfolgen muß.

## a. Untersuchung der Stützen bei hoher und normaler Temperatur.

Die nachfolgende Arbeit, welche als eine Lösung der Preisaufgabe dem Vorstande des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleißes eingereicht wird, zerfällt in drei Abhandlungen, von welchen die erste vor Beginn der nachfolgend mitgetheilten Versuche niedergeschrieben ist, die zweite eine objektive Beschreibung eigener Versuchsausführungen bietet, während die dritte Abhandlung, auf Grund der also gewonnenen neuen Erfahrungs-Resultate, näher auf die Beantwortung der aufzustellenden, unter I 2 gegebenen Fragen eingeht.

Die unter I 2 aufgeführten Fragen, welche die Widerstandsfähigkeit auf Druck beanspruchter Baukonstructionstheile behandeln, beziehen sich auf den Zustand erhöhter und normaler Temperatur. Eine Ausdehnung der Fragen und Versuche von erhöhter auf die Ausführung bei normaler Temperatur wurde deshalb als durchaus erforderlich erachtet, weil Formeln aus den Versuchs-Resultaten abgeleitet werden müssen, nach welchen aus dem Verhalten der Versuchs-Objekte bei erhöhter Temperatur auf das bei gleicher Temperatur zu erwartende Verhalten von Stützen anderer Form geschlossen werden kann, und weil diese Formeln mit den für normale Temperatur gebräuchlichen Formeln verglichen werden müssen, um jede unklare Auffassung auszuschließen. Die für den kalten Zustand aufgestellten und gebräuchlichen Formeln sind aber verschiedener Auslegung fähig und bildeten oft den Gegenstand des Meinungs-Austausches, wobei sich nicht unerhebliche Meinungs-Verschiedenheiten ergaben, so daß eine direkte Kontrolle durch das Experiment als sehr wünschenswerth zu bezeichnen ist.

Ferner bietet der direkte Vergleich des Verhaltens von Stützen ganz kongruenter Form und von gleichem Material, welche aber bei verschiedenen Temperaturen belastet werden, die Gelegenheit, um auch direkt ohne Zwischenrechnung das Verhältniß der Tragfähigkeit der Stützen bei erhöhter, zur Tragfähigkeit bei normaler Temperatur darzuthun, dieses Verhältniß klar und bestimmt zu finden, ist ja eigentlich der Kernpunkt der ganzen Aufgabe. Man will wissen, wenn eine Stütze bei normaler Temperatur  $P$  Tonnen trägt, wie viel trägt dieselbe alsdann bei erhöhter Temperatur? Die Antwort ist  $P/n$ , wobei  $n$  ein nach der Länge- und Querschnitts-Anordnung der Stütze und nach dem Material wechselnder Koeffizient ist, welcher durch Versuche festgelegt werden soll.

Durch das angewendete Verfahren der Wiederholung entsprechender Versuche bei normaler Temperatur werden auch alle etwaigen Unsicherheiten, wie dieselben durch ungenaue Ermittlung der Manschetten-Reibung in der hydraulischen Presse, oder z. B. durch Fehler am Manometer entstehen können, thunlichst aus jenem wesentlichen Endresultate ausgeschieden, so daß dieses die Lösung der gestellten Frage in Form je einer von Zufälligkeiten thunlichst unabhängigen Zahl bietet.

## b. Zur Untersuchung der Stützen bei centrischer oder excentrischer Belastung.

Schon das Wort Baukonstruktionstheile, im Besonderen aber die für die Preis-Ausschreibung beigefügten Motive deuten an, daß nicht Maschinenbaukonstruktionen, sondern Hochbaukonstruktionen gemeint sind. Nun ist zwar von Konstruktionen des Maschinenbaues wohl zu verlangen, daß die in den Konstruktionstheilen auftretenden Kräfte genau der Rechnung entsprechen und also dort wirklich centrisch den gedrückten Stab treffen, wo centrische Beanspruchung vorausgesetzt ist; nicht aber gilt dies von den Konstruktionen des Hochbaues, deren Genauigkeit der Ausführung hinter der im Maschinenbau üblichen Genauigkeit zurückbleibt.

Da die auszuführenden Versuche nun bestimmt sind, klare Schlussfolgerung auf das Verhalten von wirklich in Gebäuden praktisch verwendeten Stützen zu liefern, und weil solche Stützen in Gebäuden niemals absolut centrisch beansprucht sind, es sei denn, daß einmal als Ausnahmefall eine centrische Beanspruchung durch Zufall herbeigeführt sei, so erfolgte auch in der Versuchsreihe die Beanspruchung der Stützen nicht genau centrisch zum Mittelpunkt des Stützen-Querschnittes, sondern um 1 cm excentrisch.

Die Mittellinie jeder Stütze, welche die Breitendimensionen derselben halbirt, geht an beiden Enden nicht durch die Gelenkmittelpunkte, sondern schneidet um 1 cm\*) tiefer als diese Gelenkmittelpunkte durch die Gelenkschalen hindurch. Dadurch wird schon im kalten Zustande bei statthabender Pressung eine Durchbiegung der Stützen nach unten erzielt, welche bei eintretender einseitiger Erwärmung sich vergrößert, weil die Erwärmung dahin wirkt, die Stütze gegen das Feuer, bei der liegenden Stütze also auch nach unten, durchzubiegen. Eine entgegengesetzt excentrische Einspannung würde fehlerhaft sein, da sie nicht der gefährlichsten Art der Beanspruchung, sondern dem günstigen Zustande entsprechen würde, bei welchem beide Arten der Biegungen sich aufheben würden. Nicht diesen Zustand größerer zufällig auftretender Widerstandsfähigkeit wollen wir aber erproben, sondern die Gefahren kennen lernen, denen eine Stütze bei eintretender einseitiger Erwärmung unterliegen kann.

Unter I ist auf Seite 11 dieser Arbeit besprochen, daß diejenigen Formeln, welche bestrebt sind, den praktischen Verhältnissen Rechnung zu tragen, auch eine gewisse excentrische Beanspruchung der Stützen voraussetzen.

Es ist zwar nicht bekannt, um einen wie hohen Betrag die Drucklinie zuweilen in eingebauten Stützen aus der Säulenachse herausrücken möge, jedoch kann gesagt werden, daß eine um 1 cm ungenaue Centrirung, ohne beabsichtigt zu sein, noch sehr wohl wird auftreten können, daß dagegen jede mehr denn 1 cm betragende Excentricität

---

\*) Ausnahmen: 1) Nietstütze Prot. I S. 82 hat 2 cm Excentricität der Einspannung. 2) Nietstütze Prot. II S. 11 centrisch zwischen parallele Flächen gespannt. 3) Nietstütze Säule mit Ornamenten zentrisch zwischen parallele Flächen gespannt Prot. II. S. 12. 4) Gufssäule Prot. II S. 15 17 mm excentrisch zwischen parallele Flächen gespannt.

Die Seitenzahlen der Original-Protokolle, auf welche hier und später verwiesen wird, sind beim Abdruck dieser Protokolle durch Zahlen **am Rande** kenntlich gemacht. Die Veröffentlichung dieser Protokolle erfolgt im nächsten Heft der Verhandlungen.

nicht mehr durch Zufall wird herbeigeführt werden, sondern, wo eine solche auftritt, schon im Projekte rechnerisch nachweisbar sein wird, so dafs dann der gefährlichen Einwirkung excentrischer Beanspruchung durch eine entsprechende Verstärkung der Stütze schon im Projekt begegnet werden kann und mufs.

Jede für eine centrisch angreifend gedachte Last  $P$  bestimmte Stütze mufs aber gewifs im Stande sein, diese Last  $P$  mit der gewünschten Sicherheit zu tragen, wenn die bezügliche Last nach erfolgtem Einbau der Säule auch um 1 cm excentrisch angreifen sollte, denn bis zu 1 cm Excentricität der Kraftwirkung kommt in der Praxis sicherlich auch dann vor, wenn genaue Centrirung beabsichtigt wird. Bei Versuchen aber, welche ein Bild der Praxis widerspiegeln sollen, darf man nicht darum von den Verhältnissen der Wirklichkeit abweichen, weil im Experiment genaue Centrirung möglich ist.

## 2. Gliederung der Aufgabe nach Einzelfragen.

Die Lösung der gestellten Aufgabe läfst sich in die Beantwortung der nachfolgenden Einzelfragen zergliedern.

Die Beantwortung der nachfolgenden Fragen ist in der Begründung und zusammengestellt in der Wiederholung im Abschnitt III 4 erfolgt.

1. Wie verhalten sich die gebräuchlichen Gufs- und Schmiedeeisenstützen im Feuer?
2. Sind die gebräuchlichen Formeln, welche zur Berechnung der Tragfähigkeit der Stützen dienen, auch für den Zustand erhöhter Temperatur verwendbar?
3. In wie weit entsprechen die für den Zustand normaler Temperatur gebräuchlichen Formeln den praktischen Verhältnissen?
4. Welchen Einfluß üben die verschiedenen Eigenschaften des Gufs- und Schmiedematerials auf die Tragfähigkeit und Sicherheit der Stützen aus?
5. Von welchem Einfluß ist die Verschiedenheit der Konstruktionsformen, soweit diese durch die eigenartige Herstellungs- und Benutzungsweise der Materialien bedingt sind, für die Tragfähigkeit und Sicherheit der Stützen?
6. Kann man durch Ummantelung der Stützen die nachtheilige Wirkung des Feuers erheblich abschwächen?
7. Wie mufs die Stütze aus Gußeisen, wie diejenige aus Schmiedeeisen konstruirt sein, um der Einwirkung des Feuers thunlichst Widerstand zu leisten, und welche Mittel stehen zu Gebote, um nachtheilige Eigenschaften der Materialien weniger schädlich, resp. gar unschädlich zu machen?
8. Wie groß ist die Tragfähigkeit gut konstruirter gufs- und schmiedeeiserner Stützen, und wie stellt sich dieselbe im Vergleich zu Stützen aus bestem Steinmaterial bei erhöhter und normaler Temperatur?
9. Wie groß ist das Verhältniß der Tragfähigkeit von schmiedeeisernen, gußeisernen und steinernen Stützen für den Zustand normaler Temperatur, resp. bei plötzlicher einseitiger Abkühlung durch das Aufspritzen?
10. Wie ändert sich die Tragfähigkeit einer Stütze aus Gufs- resp. Schmiedeeisen mit der Aenderung der freien Länge bei gleichbleibendem Stützenquerschnitt für die Beanspruchung bei normaler und bei erhöhter Temperatur?

11. Wie ändert sich desgleichen die Tragfähigkeit von Stützen gleicher Länge bei Aenderung des Querschnittes bei normaler und bei erhöhter Temperatur?

12. Wie verhält sich eine centriscch eingespannte Stütze zu einer um 1 cm resp. um  $a$  cm excentriscch eingespannten Stütze?

13. Welche Formeln lassen sich auf Grund vorstehender Versuchs-Resultate zur Bestimmung der Tragfähigkeit von Guß- und Schmiede-Stützen für verschiedene Querschnitte und verschiedene Längen sowohl für den Zustand erhöhter, als den Zustand normaler Temperatur ableiten?

14. Wie groß ist die Abnahme der Tragfähigkeit der Stützen bei erhöhter Temperatur in Folge ungleicher Wandstärke?

15. Welche Folgen für die Sicherheit der tragenden Stützen ergeben sich aus einer von der schlichten Form abweichenden Gestalt der Stützen?

16. Wie groß ist die Tragfähigkeit von Holzstützen?

17. Welche Kräfte treten in einem gedrückten Körper auf, und wie begegnet man denselben?

Zur Beantwortung einiger Fragen obiger Reihe standen früher veröffentlichte Abhandlungen und Mittheilungen über ausgeführte Versuche zu Gebote. Diese Fragen werden in den folgenden Abschnitten berührt und zu beantworten versucht. Der größere Theil der Fragen ließ sich jedoch nur auf Grund neuer Versuche erörtern, welche im Abschnitt II beschrieben und im Abschnitt III benutzt sind.

### 3. Beeinflussung der Materialien durch Kräfte.

#### a. Spröde und weiche Materialien.

Unter der Einwirkung von Kräften erleiden die Materialien eine Deformation. Diese Deformation ist ungefährlich, wenn nach Aufhören der Kraftwirkung die ursprüngliche Form sich wiederfindet; die Eigenschaft des Materials, welche dieses bewirkt, nennen wir die Elastizität. Die Grenze der Beanspruchung, bis zu welcher keine bleibende Formveränderung von praktischem Belang zu erkennen ist, nennen wir die Elastizitätsgrenze.

Bei einer Ueberschreitung der Elastizitätsgrenze tritt eine bleibende Deformation auf, welche zwar gefahrbringend werden kann, jedoch durchaus noch nicht in allen Fällen den Konstruktionstheil unbrauchbar macht.

Konstruktionstheile aus sprödem Material werden meistens bei Ueberschreitung der Elastizitätsgrenze unbrauchbar, sie bekommen Risse und sind als zerstört zu betrachten, es sei denn, daß besondere Vorkehrungen getroffen werden, die entstandenen Risse unschädlich zu machen resp. deren nachtheilige Folgen abzuschwächen.

Konstruktionstheile aus sogenanntem weichen Material werden durch die große bleibende Deformation nur in dem Fall unbrauchbar, wenn die Kräfte auch nach Eintritt der ersten sich vollziehenden Deformation noch ihre schädliche Einwirkung andauernd äußern. Bei einem auf Knickfestigkeit beanspruchten Stabe wachsen z. B.

sogar die eine Verbiegung herbeiführenden Kräfte bei zunehmender Deformation d. h. hier bei der zunehmenden seitlichen Ausbiegung der Stütze. Während also bei auf Zerknicken beanspruchten Stäben die erste Deformation von Bedeutung ist, sind kleine Deformationen gezogener Konstruktionstheile ungefährlich. Ein langer schmiedeeiserner Anker, welcher in Spannung versetzt wird, rekt sich zunächst gerade und ist in diesem Zustande, trotz der vorausgehenden Deformation, widerstandsfähiger als zuvor im gekrümmten Zustande. Dabei können in einzelnen Fasern Spannungen auftreten, welche die Elastizitätsgrenze momentan überschreiten, das bringt keinen Schaden, wenn nur nach erfolgtem Geradestrecken die mittlere Beanspruchung genügend geringe Werthe besitzt. Allerdings würde ein wiederholtes Hin- und Herbiegen, wie dies z. B. bei Drahtseilen eintritt, welche sich auf- und abrollen, auch alsbald als gefahrbringend anzusehen sein, wenn auch nur in der äußersten Faser die Elastizitätsgrenze durch die Faserspannung erreicht wird.

Manche Kräfte von großem numerischen Werthe treten jedoch nur einmal und dann nur längs einer geringen Wegesstrecke auf. Solche Kräfte (Kräfte geringer Wegeslänge genannt) sind den elastischen und im Besonderen den weichen Materialien unschädlich, falls eine häufige Wiederholung derselben, oder gar ein mehrfacher Richtungswechsel der Kräfte ausgeschlossen ist. Dieselben Kräfte sind aber im Stande, aus sprödem Material hergestellte Konstruktionstheile zu vernichten.

Die Konstruktions-Regeln, welche für die Herstellung und die Zusammenfügung von aus sprödem Material hergestellten Konstruktionstheilen gelten, sind also nicht ohne Weiteres auf Konstruktionstheile zu übertragen, welche aus weichem Material bestehen.

#### Beispiel:

Ein mit der Säule fest verbundener Säulenfuß aus Gufseisen (Fig. 1) möge einseitig auf dem Fundamentquader aufsitzen, weil entweder die Säule etwas aus dem Loth gegangen ist, oder weil das Fundament sich schief gesetzt hat. Der also excentrisch beanspruchte Gußkörper ist durch das Biegemoment  $Pe$  sehr gefährdet. Es ist möglich, daß bei kleinen Werthen von  $s$  in Folge einer Verbiegung der Säule und der Fundamentplatte, diese noch zum Anliegen kommt, ohne, daß die Spannungen in der Gußsäule die Elastizitätsgrenze überschreiten. Wahrscheinlicher jedoch ist ein Reißen der Fußplatte bei  $R$ , wodurch die ganze Stützen-Konstruktion gefährdet werden kann.

Das Auftreten einer gleichen excentrischen Kraftwirkung, durch unrichtiges Aufeinandersetzen von Fußplatte und Quader entstanden, ist bei der aus weichem Material hergestellten Stütze (Fig. 2) nicht gefährlich. Es biegt sich das Material der Säule und des Säulenfußes so lange, bis der einseitige Spielraum  $s$  verschwindet. Allerdings kann dabei die Spannung die Elastizitätsgrenze überschreiten, denn die an der Elastizitätsgrenze auftretende Deformation von nur etwa  $\frac{1}{1000}$  der Länge reicht wohl nicht hin, um die Ungleichheiten des Zusammenpassens verschwinden zu machen, das aber thut bei Schmiedeeisen nichts, denn erst bei 100fach stärkerer Deformation wird das Material zerstört, nämlich bei 10% Dehnung. Es wird also erlaubt, wiewohl thunlichst zu vermeiden sein, einmalige Material-Verbiegungen bis zu vielleicht  $\frac{1}{80}$  Dehnung zuzulassen.

Die Konstruktion besitzt alsdann immerhin noch 8fache Sicherheit gegen Reißen des Materials, da erst bei  $\frac{1}{10}$  Dehnung der Bruch des Schmiedeeisens erfolgt.

Die Konstruktion aus sprödem Material muß so gewählt sein, daß selbst Kräfte von kurzer Wegeslänge keinen großen numerischen Werth annehmen können. Im vorliegenden Fall dürfte z. B. die Gufssäule nicht mit dem Gufseisen-Fuß verbunden sein, sie müßte stumpf aufstehn oder besser noch ein Fußgelenk erhalten. Eine Uebertragung der Gelenkkonstruktion auf eine Schmiedeeisenstütze ist aber für diesen Fall als eine unnöthige Vorsichtsmaßnahme zu bezeichnen, ja es giebt manche Gründe, welche es wünschenswerth erscheinen lassen, den Fuß der Schmiedestütze in feste Verbindung mit dieser zu bringen. Es wächst durch eine solche feste Verbindung die Standfestigkeit des Bauwerkes

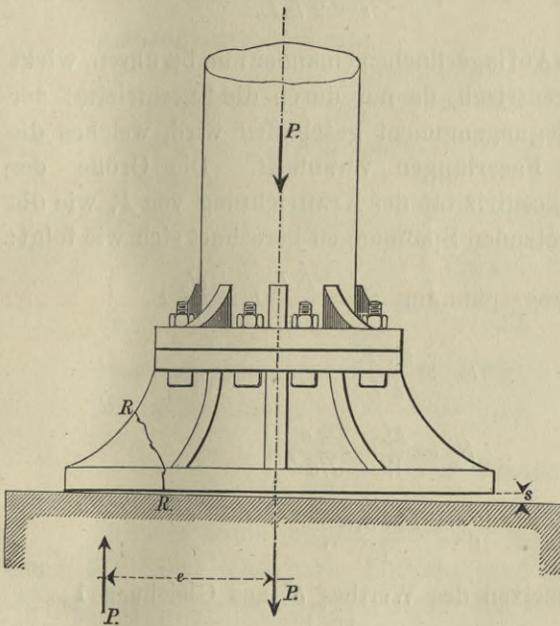


Fig. 1.

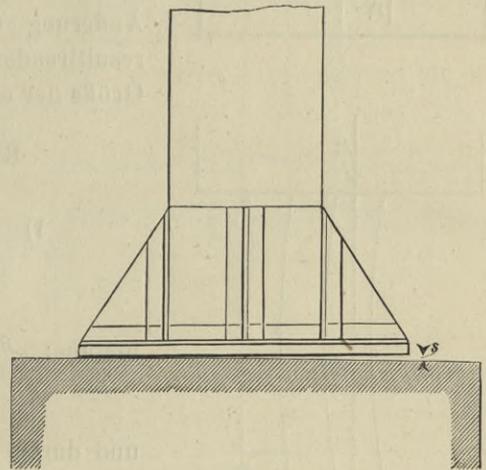


Fig. 2.

ungemein, die Aufstellung wird wesentlich erleichtert, eine genauere Einstellung im Loth erreicht und im Besonderen bietet die also feststehende Stütze auch bei der Gefahr eines Brandes des Gebäudes erheblich größere Sicherheit gegen Zerknicken als eine Pendelstütze.

b. Die Lage der Druckresultante in einem gedrückten Stabe bei stumpfer Berührung der Auflagerflächen.

Eine auf Druck durch die Last  $P$  beanspruchte Stütze (Fig. 3) habe oben und unten kein Gelenk, sondern gerade Flächen. Zwischen Säulenunterfläche und Fußplattenoberfläche sei auf der einen Seite ein Spielraum  $s$ . Die Last  $P$  findet alsdann, wenn sie zu

wirken beginnt, im Abstände  $D/2$  von der Stützenmitte eine Auflagerreaktion. Es entsteht excentrische Beanspruchung, die Stütze biegt sich seitlich durch, wobei sich die konkave Faser um  $\Delta L$  verkürzt und die gezogene Faser  $b$  um  $\Delta L$  verlängert. (Abgesehen wird hier von den durch die Druckkraft  $P$  direkt hervorgerufenen Verkürzungen, so daß obige Werthe  $\Delta L$  als partielle Werthe aufzufassen sind, welche einzig dem auftretenden Biegemomente entsprechen.) Der Spielraum  $s$  verschwindet nun, da die doppelte Längenänderung  $\Delta L$  die Gleichung veranlaßt:

$$\begin{aligned} a - \Delta L &= b + \Delta L \\ a &= b + s \\ \frac{a}{b + s} - \Delta L &= b + \Delta L \\ s &= 2 \Delta L. \end{aligned}$$

Obwohl die Auflagerflächen einander nun berühren, wirkt  $P$  doch noch excentrisch, da nur durch die Excentricität der Kraft  $P$  das Biegemomente geschaffen wird, welches die Änderung der Faserlängen veranlaßt. Die Größe der resultirenden Excentricität der Kraft Richtung von  $P$ , wie die Größe der eintretenden Spannungen berechnet sich wie folgt:

$$\text{Biegungsspannung } S_b = \frac{\Delta L}{L} E = \frac{s/2}{L} E.$$

$$1) \quad S_b = \frac{s \cdot E}{2 L}.$$

$$S_b = \frac{M}{W} = \frac{P \cdot e}{J/a},$$

hieraus:

$$e = \frac{S_b \cdot J/a}{P},$$

und durch Einsetzen des Werthes  $S_b$  aus Gleichung 1

$$2) \quad e = \frac{s \cdot E \cdot J}{2 \cdot L \cdot P \cdot a}.$$

Hierin ist  $a$  Entfernung der äußersten Faser von der neutralen Faser, also z. B. bei einer runden Säule  $D/2$ .

Beispiel:

$$L = 3 \text{ m}, s = 2 \text{ mm},$$

$$E = 1\,000\,000 \text{ für Gufseisen},$$

$$D = 15 \text{ cm}, d = 12 \text{ cm},$$

$$F = 63,6 \text{ qcm},$$

$$P = 600 \cdot 63,6 = 38\,160,$$

$$J = 1466 \text{ cm}^4.$$

$$1) \quad S_b = \frac{s \cdot E}{2 L} = \frac{0,2 \cdot 1\,000\,000}{2 \cdot 300} = 333.$$

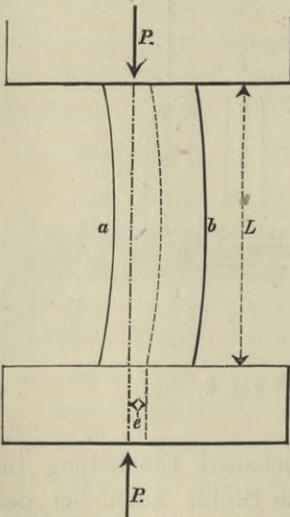
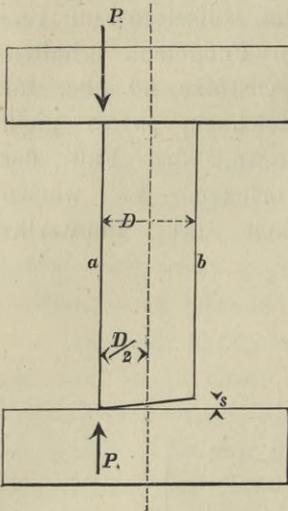


Fig. 3.



Fig. 4.

Seite a — Maximalspannung  $600 + 333 = 933$ .Seite b — Minimalspannung  $600 - 333 = 267$ .

$$2) \quad e = \frac{0,2 \cdot 1\,000\,000 \cdot 1466}{2 \cdot 300 \cdot 38\,160 \cdot 7,5} = 1,7 \text{ cm.}$$

Jene Gußsäule von 3 m Länge, welche zwischen parallele Flächen gespannt ist und auf der einen Seite um 2 mm länger ist als auf der anderen Seite, erleidet bei 38 000 kg Last eine um 17 mm excentrische Inanspruchnahme. Dasselbe tritt ein, wenn jene Säule zwar genau richtig abgedreht ist, wenn aber die Auflagerflächen der Last und der Fußplatten nicht genau parallel gerichtet sind.

Beispiel: In einem Stockwerksbau stehe die untere Säule (Fig. 5) am Kopfe  $\frac{1}{2}$  cm aus dem Loth, die darauf stoßende obere Stütze stehe auch  $\frac{1}{2}$  cm aus dem Loth, aber nach der entgegengesetzten Richtung. Die Säulen seien genau auf Länge gedreht.

Alsdann berechnet sich:

$$2s \text{ zu } 2 \cdot \frac{\frac{1}{2} \cdot 30}{300} = 0,1 \text{ cm,}$$

$$s = 0,05 \text{ cm.}$$

Es sei  $J = 10\,000 \text{ cm}^4$ ,

$F = 100 \text{ qcm}$ ,

$P = 600 \cdot 100 = 60\,000$ .

$$1) \quad S_b = \frac{s \cdot E}{2L} = \frac{0,05 \cdot 1\,000\,000}{2 \cdot 300} = 90,$$

Maximalspannung =  $600 + 90 = 690$ ,

Minimalspannung =  $600 - 90 = 510$ ,

$$2) \quad l = \frac{0,05 \cdot 1\,000\,000 \cdot 10\,000}{2 \cdot 300 \cdot 60\,000 \cdot 15} = 0,9 \text{ cm.}$$

Für jene Säule ergibt diese um  $\frac{1}{600}$  der Länge der Säule fehlerhafte Lothung und Aufstellung schon 0,9 cm Excentrizität der Kraftwirkung. Ohne ganz besondere Hilfsmittel wird man stets bei dem Lothen geringe Fehler begehen, da eine genaue Lothung sich nur bei ganz windstillem Wetter ausführen läßt.

Nach diesen Erörterungen kann als bewiesen erachtet werden, daß eine excentrische Kraftwirkung in Stützen die Regel bildet und eine centrische Beanspruchung nur als seltene Ausnahme anzutreffen sein mag.

c. Die Lage der Druckresultante in einem am Kopf und Fuß mit Gelenken versehenen gedrückten Stabe.

Stützen, welche ein Gelenk am Kopf und Fuß besitzen (Fig. 6 und 7), können dennoch etwas excentrisch beansprucht werden, da die Reibung am Gelenk die Wirkung der Drehbarkeit des Gelenkes etwas behindert.

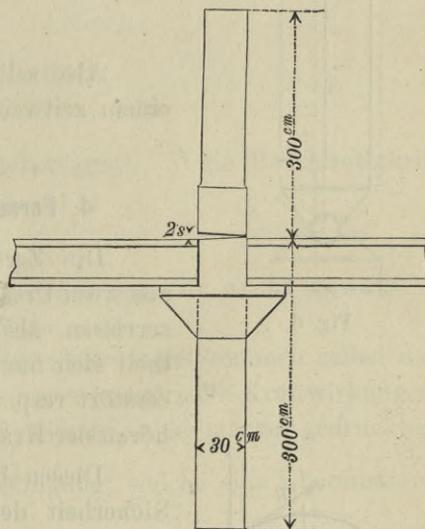


Fig. 5.

Die Druckkraft  $P$  möge mit der Excentricität  $e$  das Gelenk treffen, alsdann ist die Last  $P$  bemüht, das Gelenk zur Einstellung zu zwingen. Solange aber die Reibung  $R$ , multiplicirt mit dem Radius  $r$ , dem Drehmoment  $Pe$  das Gleichgewicht hält, dreht sich das Gelenk nicht.

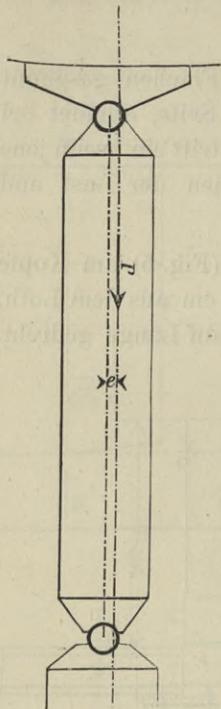


Fig. 6.

Es besteht die Gleichung:

$$Pe = f P \cdot r$$

$$e = \frac{f P r}{P} = f \cdot r$$

$$e = f r$$

$f$  Reibungskoeffizient,  $r$  Radius des Gelenkes,  $e$  Excentricität.

Beispiel: Bei einem eingestaubten Gelenk sei der Reibungskoeffizient  $f = 1/5$ ,  $r$  sei 10 cm

$$e = \frac{10}{5} = 2 \text{ cm.}$$

Also selbst die Anwendung eines Gelenks schützt nicht vor einem zeitweisen Auftreten excentrischer Beanspruchungen.

#### 4. Formeln zur Berechnung gedrückter Konstruktionstheile.

Die Zerstörung eines gedrückten Konstruktionstheiles kann aus zwei Ursachen erfolgen, entweder kann das Material zerdrückt, zerrissen, also zerstört werden, oder es kann der Konstruktionstheil sich nur verbiegen, wobei das Material nicht immer bleibend zerstört resp. bleibend deformirt wird, sondern vielleicht nach Aufhören der Kraftwirkung sich wieder gerade richtet.

Diesen beiden Gefahren entsprechen die Bedingungen für die Sicherheit der Konstruktion:

- a) es muß die Materialbeanspruchung kleiner sein als ein erlaubtes Maß,
- b) es muß der Stab Steifigkeit gegen Verbiegen besitzen.

Je nachdem man von vorne herein genau centrirte oder etwas excentrische Kraftwirkung angenommen hatte, ergaben sich von einander abweichende Formeln.

##### a. Die Eulersche Formel.

$$P = \frac{\pi^2 E \cdot J}{l^2}$$

$E$  Elastizitätsmodul,  $J$  Trägheitsmoment,  $l$  freie Länge, von Gelenk zu Gelenk reichend,  $P$  Last, welche die Spitze völlig verbiegt.

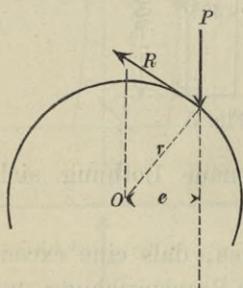


Fig. 7.

Diese Formel ist im Maschinenbau gebräuchlich, wo immer Kräfte, welche centrisch wirken sollen, auch wirklich genau centrisch wirken, und darum ist für Konstruktionen dieser Art die Eulersche Formel als eine exact richtige Formel zu empfehlen.

Die Eulersche Formel ist aus den Eigenschaften der elastischen Linie, der Wellenlinie, abgeleitet, nach welcher der Stab sich unter der Last krümmt. Nimmt man dagegen an, die Kurve sei ein flacher Kreisbogen oder eine flache Parabel, dann ergeben sich angenäherte, nicht ganz genaue Resultate.

Die Eulersche Formel ist niemals getrennt von der Bedingung  $P_n \leq \frac{1}{n} \cdot F \cdot S$  zu nennen<sup>1)</sup>, in welcher Gleichung  $F$  die Querschnittsfläche der Stütze,  $\frac{S}{n}$  die erlaubte Materialbeanspruchung und  $P_n$  diejenige Last bedeutet, welche der Stab noch mit der Sicherheit  $n$  zu tragen vermag.

Die Formeln für Knickfestigkeit bei centraler Belastung (oben und unten Gelenke) lauten alsdann:

$$P_n \leq \frac{1}{n} \pi^2 \cdot \frac{EJ}{l^2}$$

und

$$P_n \leq \frac{1}{n} \cdot F \cdot S$$

Hierin ist  $P_n$  die erlaubte Last,  $n$  der Sicherheitsgrad,  $S$  die Bruchfestigkeit des Materials.

#### b. Formel von Schwarz resp. von Laissle & Schübler für nicht genau centrische Belastung.

Bei Konstruktionen des Hochbaues und Bau-Ingenieurwesens kommen selbst da, wo centrische Beanspruchungen beabsichtigt sind, fast immer excentrische Kraftwirkungen vor. Excentrische Kraftwirkungen steigern aber die Spannung an der stärker gedrückten Säulenseite über den Werth  $\frac{P}{F}$  hinaus, so daß die Bedingung, welche eine Überanstrengung des Materiales verhüten soll, nicht mehr lauten kann  $P_n \leq \frac{1}{n} F \cdot S$ , sondern vielmehr durch folgende Bedingung zu ersetzen ist. Die neue Bedingung lautet:<sup>2)</sup> „Es darf die Kantenspannung, welche in Folge excentrischer Wirkung der Kraft sich um jenen Betrag über den mittleren Werth  $\frac{P}{F}$  der Druckkraft steigert, welcher aus dem Biegemoment  $P \cdot e$  resultirt, den erlaubten Grenzwerth nicht überschreiten. Die bezügliche mathematische Formel zur Berechnung von  $S_{max}$  lautet:

$$S_{max} = \frac{P}{F} = \frac{P \cdot e}{J/w}$$

$J/w$  Widerstandsmoment.

<sup>1)</sup> cfr. Wochenblatt für Baukunde No. 81 und 91, 1886.

<sup>2)</sup> cfr. ibid. No. 91, 1886.

Diese Kantenspannung darf den Betrag der Bruchfestigkeit des Materiales nicht überschreiten, sondern nur  $\frac{1}{n}$  des Betrages erreichen; daraus folgt:

$$\frac{P_n}{F} + \frac{P_n \cdot l}{J/w} = \frac{1}{n} \cdot S$$

hieraus:

$$P_n = \frac{1}{n} \cdot S \cdot F \cdot \frac{1}{1 + \frac{e \cdot F}{J/w}}$$

Neben dieser Gleichung bleibt nun noch immer die andere eigentliche Eulersche Bedingung bestehen, welche aber einer Umformung bedarf, da die vorn genannte Eulersche Formel sich auf centrirte Last bezieht.

Schwarz resp. Laissle & Schübler haben nun versucht, jener Bedingung, welche der Eulerschen Formel zu Grunde liegt, dadurch gerecht zu werden, daß für Stützen, welche sich schwächer oder stärker durchbiegen, ein anderer Werth für die Excentricität  $e$  gesetzt wird, und zwar der Werth  $e = \frac{K l^2}{w}$ . Hierin ist  $K$  ein auf empirischem Wege zu bestimmender Koeffizient,  $w$  bedeutet die Entfernung der äußersten Faser von der neutralen Axe und  $l$  die freie Länge der Stütze von Gelenk zu Gelenk

Durch Einsetzen des Werthes  $e$  in umstehende Gleichung erhält man:

$$P_n = + \frac{1}{n} \cdot S \cdot F \cdot \frac{1}{1 + K \frac{l^2 F}{J}}$$

Ob es nun angängig ist,  $e$  immer gleich  $\frac{K l^2}{w}$  zu setzen oder nicht, läßt sich wohl am besten durch Vergleiche der Resultate dieser Formel mit den Ergebnissen von Versuchen entscheiden.

Man hat der Formel den Vorwurf gemacht, daß derjenige, welcher die Formel benutzt, nicht eigentlich weiß, was er berechnet. Es ist wohl kaum im Augenblick, da die Formel benutzt wird, klar, daß  $e$  die in Rechnung gesetzte Excentricität gleich  $\frac{K l^2}{w}$  ist, und gar keinen Aufschluß giebt uns diese Formel darüber, ein wie großer Betrag von  $e$  durch äußere Umstände (Fehler der Aufstellung etc.) veranlaßt sei und wie viel durch die Verbiegung der Stütze hinzukommt. Daher folgt, daß man meistens bei einer nachweisbar vorhandenen excentrischen Beanspruchung  $a$  diese Formel zwar in der ursprünglichen Form

$$P_n = \frac{1}{n} \cdot S \cdot F \cdot \frac{1}{1 + \frac{e \cdot F}{J/w}}$$

benutzt, daß aber derjenige Betrag der Excentricität vernachlässigt wird, welcher durch die Verbiegung der Stütze noch hinzukommt.

Man setzt dann einfach  $e = a$ , während in Wirklichkeit  $e = a + f$  ist, worin  $e$  die ganze auftretende Excentricität,  $a$  die anfänglich vorhandene Excentricität und  $f$  den Biegungs Pfeil der elastischen Linie des Stabes bedeutet.

Weil also die Formel von Laissle & Schübler eine rein empirische Formel ist und sich nicht klar den wechselnden Verhältnissen anpaßt, deshalb wird von mancher Seite die Formel von Laissle & Schübler verworfen und stets nur die Eulersche Formel benutzt; dennoch scheint es gerathen, für jene Fälle, wo die Formel von Laissle & Schübler kleinere Werthe  $P_n$  liefert als die Eulersche Formel, lieber diese kleineren Werthe in Anwendung zu bringen. Sicherlich muß man aber überall, wo etwa die Eulersche Formel kleinere Werthe  $P_n$  als die Schwarzsche, wie Laissle & Schübler's Formel ergiebt, sich stets nach der Eulerschen Formel richten.

Es erscheint nach Obigem ein Bedürfniß für manche Fälle, wo es sich um wichtigere Konstruktionen handelt, eine Formel zu besitzen, welche für eine schon im Beginn der Kraftwirkung excentrisch angreifende Kraft zugeschnitten ist und zugleich den Einfluß derjenigen Verbiegung richtig berücksichtigt, welche durch die excentrischen Kraftwirkungen neu hervorgerufen wird.

### c. Neue Formeln für nicht genau centrirte Belastungen zur Berechnung der Festigkeit gegen Zerknicken.

1. Annahme einer im Anfang vorhandenen Excentricität der Kraftwirkung, deren Größe  $a$  im einzelnen Fall sich nach der Genauigkeit der erreichten Centrirung der Last richtet und, den veränderten Verhältnissen entsprechend, andere Werthe erhalten kann. Für Baukonstruktionen muß nach den voraufgehenden Darlegungen (siehe I 3) wohl die Anfangsexcentricität  $a$  mindestens zu  $\frac{1}{15}$  der Säulenbreite angenommen werden.

2. Im Nachstehenden bedeutet  $S$  die Maximalkantenspannung, bei welcher das Material zerstört wird,  $n$  den Sicherheitsgrad,  $P_n$  die Last, welche mit der Sicherheit  $n$  von der Stütze getragen wird, deren Querschnitt  $F$  und deren Trägheitsmoment  $J$  ist. Es ist zunächst die Durchbiegung der Stütze zu berechnen, welche durch die excentrische Kraftwirkung veranlaßt wird. Die Größe der Excentricität wechselt, sie ist oben und unten gleich  $a$  und an anderen Punkten des Stabes um den Ausbiegungspfeil  $f$  vergrößert.

Es wäre angenehm, statt des variablen  $f$  mit einem konstanten Mittelwerth  $f_m$  rechnen zu können, welcher dieselbe Wirkung haben muß, wie die variable Größe  $f$ . Das überall am Stabe in der konstanten Größe  $f_m \times P$  angreifend gedachte Biegemoment soll dem Stabe eine ebenso starke Krümmung an dem gefährlichsten Punkte, der Stabmitte, und einen eben solchen Pfeil  $f_m$  daselbst verleihen, wie das variable Moment  $f \cdot P$  dies hervorruft.

Daraus ergiebt sich die Gleichung:  $\int_{x=0}^{x=l} df$  durch  $Pf_m$  hervorgerufen =  $\int df$  durch

$Pf_x$  hervorgerufen.

Die Krümmung, Differential des Winkels  $\alpha$  (vergl. Fig. 8 und 9), welche durch ein Moment längs der Strecke  $dx$  des Stabes hervorgerufen wird, ist  $C \cdot dx \cdot M$ , worin  $C$  eine vom Stabquerschnitt abhängige Konstante und  $M$  das Biegemoment bedeutet. Die Vergrößerung der Ausbiegung, soweit sie durch die Einwirkung des Moments  $M$  auf das Stabelement  $dx$  hervorgerufen wird, ist  $df_x = C \cdot dx \cdot M \cdot x$ . Dies in obige Gleichung eingesetzt, giebt:

$$\int_{x=0}^{x=l/2} C \cdot x \cdot dx \cdot P \cdot f_m = \int_{x=0}^{x=l/2} C \cdot x \cdot dx \cdot P f_x$$

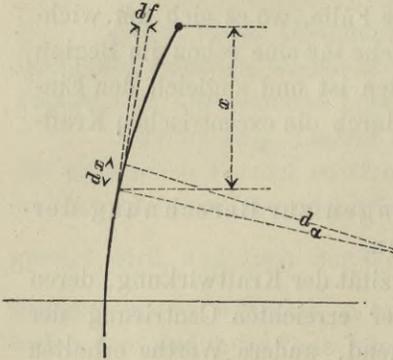


Fig. 8.

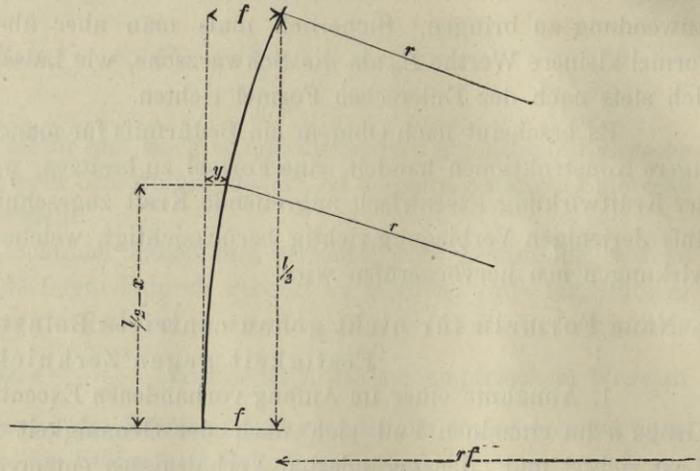


Fig. 9.

Die Kurve, als Kreis oder Parabel betrachtet, gibt aus der Gleichung  $(l/2)^2 + (r - f)^2 = r^2$ , wenn man  $f^2$  vernachlässigt,  $y = \frac{(l/2 - x)^2}{2r}$ , für  $x = 0$  wird  $y = f$ .

$$f = \frac{(l/2)^2}{2r}$$

$$\frac{y}{f} = \frac{(l/2 - x)^2}{(l/2)^2}$$

$$y = f \cdot \frac{(l/2 - x)^2}{(l/2)^2}$$

$$f_x = f - y = f - f \frac{(l/2 - x)^2}{(l/2)^2}$$

Dies eingesetzt, gibt unter Hinwegschaffung der gleichen Faktoren:

$$\int_{x=0}^{x=l/2} x \cdot dx \cdot f_m = \int_{x=0}^{x=l/2} x \cdot dx \cdot \left( f - f \frac{(l/2 - x)^2}{(l/2)^2} \right)$$

$$f_m \cdot \frac{(l/2)^2}{2} = f \left[ \frac{(l/2)^2}{2} - \frac{1}{(l/2)^2} \int [(l/2)^2 - 2l/2 \cdot x + x^2] x \cdot dx \right]$$

$$f_m \cdot \frac{(l/2)^2}{2} = f \left[ \frac{(l/2)^2}{2} - \frac{1}{(l/2)^2} (l/2)^2 \cdot \frac{(l/2)^2}{2} + \frac{2 \cdot l/2}{(l/2)^2} \cdot \frac{(l/2)^3}{3} - \frac{(l/2)^4}{4(l/2)^2} \right]$$

$$= f \left[ \frac{(l/2)^2}{2} - \frac{(l/2)^2}{2} + \frac{2}{3} (l/2)^2 - \frac{(l/2)^2}{4} \right]$$

$$f_m \cdot \frac{(l/2)^2}{2} = {}^{5/12} f \cdot (l/2)^2$$

$$f_m = {}^{10/12} f = {}^{5/6} f$$

Zur Ermittlung der Durchbiegung  $f$  in der Stützenmitte können wir fortan statt des variablen Momentes  $M = P \cdot a + P \cdot f_x$  das konstante Moment

$$P \cdot a + P \cdot f_m = P \cdot a + {}^{5/6} \cdot P \cdot f$$

eingeführen.

Der Stab krümmt sich unter der Einwirkung des konstanten Momentes

$$P(a + {}^{5/6} f)$$

Aus der Ähnlichkeit der schraffirten Figuren (Fig. 10) ergibt sich:

$$\frac{\Delta l/2}{l/2} = \frac{w}{r}$$

$$\frac{\Delta l/2}{l/2} = \frac{S_b}{E}$$

$$\frac{S_b}{E} = \frac{w}{r}$$

$S_b$  Biegungsspannung.

$$r = \frac{w \cdot E}{S_b}$$

$$S_b = \frac{M}{W} = \frac{P(a + {}^{5/6} f)}{J/w}$$

$$r = \frac{w \cdot E \cdot J/w}{P(a + {}^{5/6} f)}$$

$$r = \frac{E \cdot J}{P(a + {}^{5/6} f)}$$

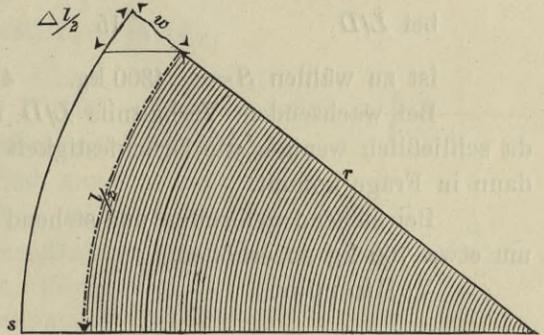


Fig. 10.

Wie oben geschrieben, ist  $f = \frac{(l/2)^2}{2r}$ ; für  $r$  den berechneten Werth gesetzt:

$$f = \frac{(l/2)^2 \cdot P(a + {}^{5/6} f)}{2 E J}$$

$$f \cdot 2 E J = (l/2)^2 \cdot P \cdot a + (l/2)^2 \cdot P \cdot {}^{5/6} \cdot f$$

$$f(2 E J - {}^{5/6} (l/2)^2 \cdot P) = (l/2)^2 \cdot P \cdot a$$

$$f = \frac{(l/2)^2 \cdot P \cdot a}{2 E J - {}^{5/6} (l/2)^2 \cdot P}$$

Dies ist die Größe der seitlichen Stabdurchbiegung, welche in Folge der schon im Anfang vorhandenen Excentricität  $a$  der Kraftwirkung  $P$  eintritt.

Die ganze Excentricität  $e$  ist gleich  $a + f$  für die Stabmitte. Diesen Werth in die vorne notirte bekannte Formel  $P_n = \frac{1}{n} S F \cdot \frac{1}{1 + \frac{l F}{J w}}$  eingesetzt, giebt:

$$P_n = \frac{1}{n} \cdot S \cdot F \cdot \frac{1}{1 + \left( a + \frac{(l/2)^2 \cdot P_n \cdot a}{2 E J - {}^{5/6} (l/2)^2 \cdot P_n} \right) \cdot \frac{F \cdot w}{J}}$$

In dieser Formel ist  $F$  die Querschnittsfläche,  $\frac{J}{w}$  das Widerstandsmoment,  $J$  das Trägheitsmoment des Stabquerschnittes und  $P_n$  diejenige Belastung, welche der Stab mit  $n$ facher Sicherheit zu tragen vermag, wenn  $S$  die Bruchfestigkeit des Materiales resp. diejenige Beanspruchung bedeutet, bei welcher das Material sich allzu stark deformirt. Setzt man  $n=1$  und schreibt man statt  $P_n$  den Buchstaben  $P$ , dann bedeutet  $P$  den Werth jener Last, welche die Stütze zu zerstören im Stande ist.

Die Versuche haben gezeigt, daß in obige Formel für die Bruchfestigkeit  $S$  folgende Werthe einzusetzen sind:

**Gufseisenstützen.**

Hohlsäulen, wenn liegend gegossen und ein wenig ungleich in der Wandstärke:

|                     |           |          |          |
|---------------------|-----------|----------|----------|
| bei $L/D$           | $\leq 15$ | $> 15$   | $> 20$   |
|                     |           | $< 20$   | $< 25$   |
| ist zu wählen $S =$ | 4300 kg,  | 4150 kg, | 4000 kg. |

Bei wachsendem Verhältniß  $L/D$  nähert sich der Werth  $S$  der Zahl 1500 kg, da schließlich weniger die Druckfestigkeit als vielmehr die Zugfestigkeit des Materiales dann in Frage kommt.

Bei stehend geformten und stehend gegossenen Hohlstützen sind obige Werthe  $S$  um etwa 700 kg zu erhöhen.

Vollkörper:

|                     |           |          |          |          |          |
|---------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| bei $L/D$           | $\leq 15$ | $> 15$   | $> 25$   | $> 35$   | $> 40$   |
|                     |           | $< 20$   | $< 30$   | $< 40$   | $< 45$   |
| ist zu wählen $S =$ | 7500 kg,  | 6000 kg, | 4000 kg, | 2000 kg, | 1500 kg. |

**Schmiedeeisenstützen.**

Weiches Schmiedeeisen . . . . .  $S = 2200$  kg

Weniger weiches Schmiedeeisen . . . . .  $S = 3000$  „

Für genietete Walzeisenkonstruktionen wird empfohlen  $S = 2700$  „

Diese Formel ist dort zu verwenden, wo man sich Rechenschaft über die Wirkung einer anfänglich vorhandenen Excentricität  $a$  geben will. Die Formel bietet als zulässige Beanspruchung eines Stabes kleinere Werthe als die Eulersche Formel, welche auf zufällige, schon im Anfang vorhandene Excentricität keine Rücksicht nimmt. Die obige Formel geht in die Eulersche Formel über, wenn  $a$ , die Anfangsexcentricität, gleich Null gesetzt wird;  $a = 0$  gesetzt

$$P_n = \frac{1}{n} \cdot S \cdot F \cdot \frac{1}{1 + \left(0 + \frac{0}{2 EJ - \frac{5}{6} (l/2)^2 P_n}\right) \cdot \frac{F \cdot w}{J}}$$

Ist  $2 EJ = \frac{5}{6} (l/2)^2 P_n$ , dann ist  $P_n$  ein unbestimmter Werth, nämlich:

$$P_n = \frac{1}{n} \cdot S \cdot F + \frac{1}{1 + 0/0}$$

Bei  $2 E J - \frac{5}{6} (l/2)^2 P_n$  fast = Null, aber etwas größer als Null, wird  $P_n = \frac{l}{n} S \cdot F$ ; alsdann hat der Stab noch die Neigung zu knicken. Obigen beiden Gleichungen und zwar der ersteren mit  $n$  facher Sicherheit muß für den Gebrauchsfall der Stab genügen, einmal muß sein

$$P_n \leq \frac{1}{n} \frac{2 E J}{\frac{5}{6} (l/2)^2} = \frac{1}{n} \frac{9,6 E J}{l^2}$$

und ferner

$$P_n \leq \frac{1}{n} S \cdot F$$

Euler erhält statt des Faktors 9,6 den Faktor  $\pi^2 = 9,87$ , weil die Wellenlinie und nicht die hier betrachtete Kreisbogenlinie der elastischen Deformation entspricht.

Die Lösung der gegebenen Hauptformel geschieht durch Einsetzen von Näherungswerthen, indem man zuvor als ersten Näherungswerth eine Last einsetzt, die etwas kleiner ist, als der Betrag, welcher sich aus den beiden Eulerschen Formeln

$$P_n \leq \frac{1}{n} \frac{\pi^2 E J}{l^2} \text{ und } P_n \leq \frac{1}{n} S \cdot F$$

ableiten läßt.

Wie bei Benutzung der Euler'schen Formel, wird auch in jener abgeleiteten Hauptformel für  $l$  die Entfernung von Gelenk zu Gelenk gesetzt, und für den Fall, daß der Stab am Kopf und Fuß ganz fest eingespannt ist, für  $l$  die Länge  $L/2$ , wobei  $L$  die Entfernung von Kopf zu Fuß der Säule, d. i. den Abstand der oberen von der unteren Einspannungsstelle bedeutet. (Vergl. Fig. 11.)

Die Resultate dieser Formeln untereinander und mit den Resultaten der Versuche verglichen, sollen in einer zur Abhandlung III gehörenden Tabelle 1 (siehe Anlage 4) zusammengestellt werden.

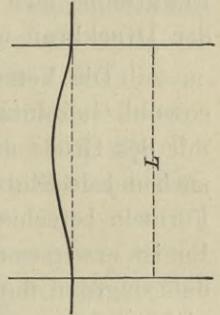


Fig. 11.

#### d. Formel zur Bestimmung gedrückter eiserner Baukonstruktionstheile bei einseitiger Erwärmung.

Auf Grund der von Herrn Prof. Bauschinger angestellten Versuche ist vom Unterzeichneten eine Formel zur Bestimmung der Tragfähigkeit eiserner Stützen im Feuer abgeleitet worden, welche Formeln schwache Rothglut auf der dem Feuer zugewendeten Seite längs der ganzen Stütze und die Temperatur des schmelzenden Bleies auf der anderen Seite, oder daselbst eine bis zu 600 Grad Celsius niedrigere Temperatur voraussetzt, als sie auf der heißen Seite besteht. Diese niedrige Temperatur ist durch Anspritzen der Säule mit Wasser herbeigeführt gedacht.

Jene Formel ist in No. 53 u. 55 der deutschen Bauzeitung Jahrgang 86 veröffentlicht, und ist in der Anlage 1 jene Abhandlung, wie auch eine fernere in No. 83 enthaltene Abhandlung beigelegt worden.

In jenen Aufsätzen sind 2 fast gleiche Formeln für Guß- und Schmiedeeisen entwickelt.

$$P = S \cdot F \cdot \frac{1}{1 + \frac{K l^2 F}{J}}$$

worin für  $K$  Werthe  $0,00038$  u.  $0,00043$  etc. abgeleitet sind. Da aber in Wirklichkeit bei wechselnder Temperatur das Tragvermögen erheblich variirt, so sollen diese kleinen Differenzen von  $K$  unberücksichtigt bleiben und für die Vergleichung der Werthe mit den Versuchsergebnissen  $K = 0,0004$  gesetzt werden, während der Werth  $S$  noch genauer ermittelt werden soll.

### 5. Die Versuche des Herrn Professor Bauschinger.

Die Versuche des Herrn Professor Bauschinger, veröffentlicht in den Mittheilungen aus dem mechanisch technischen Laboratorium der königl. techn. Hochschule zu München, bieten reiches Material zur Beantwortung der unter I2 gestellten Fragen.

Zur Frage 1:

Wie verhalten sich die gebräuchlichen Guß- und Schmiedeeisen-Stützen im Feuer?

Die erwähnten Versuche zeigen, daß sowohl Guß- als Schmiedeeisen im Feuer durch die Erwärmung sowohl an Festigkeit verlieren, als auch zumal bei einseitiger Erwärmung sich verbiegen. Durch die Verbiegung entsteht eine excentrische Wirkung der Druckkraft und mithin eine gesteigerte Kantenspannung.

Die Versuche liefern den Nachweis, daß durch diese Eigenschaften des Eisens sowohl Gußstützen, als Schmiedestützen gefährdet sein können. Diese Gefahr wächst mit der Größe der Last, welche der Stütze zugemuthet wird. Darum ist in jenen Versuchen jede Stütze mit einer Druckkraft gepreßt worden, welche der nach üblichen Formeln berechneten für den Gebrauchsfall als zulässig erachteten Stützlast entspricht. Es ist erwiesen daß Gußeisen-Stützen diese Last im Flammenfeuer zu tragen vermögen, daß dagegen die verfügbaren Schmiedestützen zum Theil die ihnen zugemuthete Last nicht tragen, zum Theil jedoch bei Feststellung der zu beiden Enden angebrachten Kugelgelenke bei guter Konstruktion auch im Feuer die ihnen nach der Formel zugemuthete Last zu tragen vermochten.

Weitere Schlußfolgerungen aus den Versuchen des Herrn Professor Bauschinger ziehen zu wollen, ist gewagt, denn die mancherlei in Frage kommenden Einflüsse lassen sich aus den genannten Versuchsreihen nicht getrennt von einander erkennen, z. B. der Einfluß größerer oder kleinerer Säulenlänge, der Einfluß des Verhältnisses von Länge und Breite der Stütze etc. auf die Tragfähigkeit derselben bei erhöhter Temperatur.

Da die Sicherheit, welche eine Stütze im Feuer bietet, von der freien Länge, von dem gewählten Querschnitt, von dem Umstande, ob Einspannung oder keine Einspannung statt hat, ob die Last central angreift, oder auf Konsolen sich stützt und außerdem von den Eigenschaften des Materials abhängt so kann man nicht ohne Weiteres sagen, daß Stützen aus Schmiedeeisen deshalb sich schlechter im Feuer bewähren als Stützen aus Gußeisen, weil gewisse Versuchsstücke sich schlechter bewährt haben. Ist es denn nicht z. B. leichter erreichbar, eine durch mehrere Stockwerke gehende Schmiedestütze zu einem Stück zusammen zu nieten, so daß die Abtheilungen in den einzelnen Geschossen als denkbar günstig eingespannte Stützen zu betrachten sind, wogegen Gußsäulen sich nicht so vollkommen zu einem Stück vereinigen lassen,

und also als weniger gut eingespannt zu betrachten sind? Ist es immer möglich, bei Gufsstützen die Last so genau zu centriren wie bei Schmiedestützen? Ist eine einseitige Erwärmung in dem Maaße, wie sie bei einem direkt über einem Feuerheerde liegenden Versuchsobjekt sich entwickelt, überhaupt denkbar?

Betrachten wir die Frage, ob Schmiede- oder Gufs-Material vorzuziehen sei von diesen mancherlei Gesichtspunkten, so erkennen wir, daß es nicht zu empfehlen sei, auf Grund einer vergleichenden Zusammenstellung über das Verhalten von Schmiede- und Gufsstützen im Feuer der Konstruktion aus Schmiede- oder Gufseisen im Allgemeinen einen Vorzug zu geben, um so mehr, als je zwei zum Vergleich herangezogene Gufs- und Schmiedestützen nicht gleiche Verhältnisse der Steifigkeit, resp. der Schlankheit der Stütze besessen haben. Das günstigere Verhalten einer Stütze, bei welcher das Verhältniss von der Länge zur Breite geringer ist, als bei einer schlanken Stütze, kann sehr wohl als in diesen Unterschieden der Dimensionen begründet erkannt werden und braucht nicht durch einen Unterschied in den Eigenschaften der Materialien allein bedingt zu sein.

Von diesem Gesichtspunkte ausgehend, hob ich zunächst nach Veröffentlichung der ersten Versuchsreihe des Herrn Professor Bauschinger hervor, daß das Gufseisen in den fraglichen Versuchsobjekten zu gering beansprucht gewesen sei, und aus diesem Grunde ein Vergleich der Materialien erschwert werde. In der zweiten Versuchsreihe ist das Gufseisen fast doppelt so hoch beansprucht, als in der ersten Versuchsreihe und wurde damit die Beantwortung der Frage nach dem Verhalten der Materialien erheblich der Lösung näher gerückt.

Wünschenswerth bleibt jedoch der Vergleich von kongruenten Stützen verschiedener Materialien und ferner die Ableitung einer Formel, welche angiebt, wie hoch sich die Widerstandsfähigkeit der Stütze im Feuer für den Einzelfall berechnen läßt, wobei vorausgesetzt werden muß, daß die Temperaturen auf der kühleren Seite sich zwischen Null und 330 (Temperatur des schmelzenden Bleies) halten sollen und auf der wärmeren Seite etwa 600 Grad (Temperatur des schwach rothglühenden Eisens) erreicht werden sollen.

Diese Erörterungen finden sich in dem beigefügten Aufsätze No. 53 und 55 der Deutschen Bau-Zeitung weiter ausgeführt und wird es die Aufgabe sein, durch diesseits anzustellende Versuche die theoretisch gefundenen Resultate zu prüfen resp. zu berichtigen.

## Abhandlung II.

### Beschreibung neu angestellter Versuche.

#### I. Aufzählung der Versuchs-Objekte und Begründung der getroffenen Auswahl.

Der Versuch bietet uns die Möglichkeit, die Versuchs-Gegenstände so zu wählen, wie sie sich für einen Vergleich am besten eignen. Wo es sich einzig darum handelt, das Verhalten zweier verschiedener Materialien zu untersuchen, thut man am besten Körper von völlig gleicher Form und Größe, aber aus den verschiedenen Materialien

hergestellt, mit einander zu vergleichen. Wo es sich um den Einfluß des Größenwerthes einer gewissen Abmessung des Gegenstandes handelt, hat man zwei Versuchs-Gegenstände von gleichem Material herzustellen, deren Abmessungen im Uebrigen genau die gleichen sind, während nur die eine Abmessung um ein Erhebliches bei den verschiedenen Gegenständen, welche geprüft werden sollen, größer oder kleiner gewählt sein muß. Man kann alsdann den Schlufs ziehen, daß ein verschiedenes Verhalten zweier Versuchsgegenstände wirklich jener einen Ursache, nämlich der absichtlich herbeigeführten einen Verschiedenheit in der Ausbildung zweier mit einander zu vergleichenden Versuchs-Gegenstände zuzuschreiben sei. Jede zweifache oder gar mehrfache Verschiedenheit in der Ausbildung der Versuchs-Gegenstände, welche gerade im Einzelfall mit einander verglichen werden sollen, entwerthet das Resultat, weil es kein sicheres Mittel giebt die Wirkung der Einzelursachen von einander zu trennen. Endlose Diskussionen, in denen Meinungs-Verschiedenheiten über den Betrag des Einflusses der einen oder der anderen Ursache aufeinanderstoßen, werden durch solche nicht ganz klare Versuche veranlaßt, aber es wird dadurch kein Resultat in überzeugend zweifellos richtiger Weise gewonnen.

Aus den angeführten Gründen wurden diesseits für jeden Einzel-Vergleich nur solche Versuchs-Stücke einander gegenübergestellt, welche nur in einer Hinsicht verschieden, im Uebrigen aber gleich ausgebildet sind.

#### Uebersicht der anzustellenden Vergleiche:

A. Zur Erkenntniß des verschiedenen Verhaltens der Materialien Guß- und Schmiedeeisen werden 5 Paare Versuchs-Stücke geprüft, von welchen je ein Paar kongruente Form, aber verschiedenes Material aufweist. Die 5 Paare sind unter einander nach Querschnitt und Länge verschieden ausgebildet.

Dieselben Untersuchungen werden als Feuerproben und als Proben bei normaler Temperatur an je 5 Paar Stützen, zusammen also an 20 Versuchs-Objekten ausgeführt.

(Vergl. Tabelle 1, Anlage 4.)

B. Zur Erkenntniß des Einflusses verschiedener Konstruktionsformen auf die Tragfähigkeit eiserner Stützen wurden <sup>\*</sup>24 Paar Versuchs-Stücke ausgewählt und jedes Paar in sich zwecks eines Vergleiches aus gleichem Material, mit gleichem Inhalt der Eisenquerschnittsfläche hergerichtet. Die 2 Stücke eines Paares erhielten nur in einer Hinsicht verschiedene Abmessung.

Von jenen 24 Paaren wurden 16 Paare im Feuer und 8 Paare bei normaler Temperatur geprüft.

(Vergl. Tabelle 1 und 2, Anlage 4.)

C. Zur Erkenntniß des Einflusses einer Einspannung in Gelenke, gegenüber einer Einspannung zwischen fast parallelen Flächen wurden 2 Paar Versuchs-Stücke aufgestellt, derart, daß die 2 Stücke eines Paares immer kongruente Form und gleiches Material besaßen, aber verschiedene Art der Einspannung erlitten.

(Vergl. Tabelle 2 und 3, Anlage 4.)

D. Zur Erkenntniß des Einflusses einer Ummantelung für eiserne Stützen zum Schutz gegen zu schnelle und zumal einseitige Erwärmung wurden 3 Paar Stützen zu-

sammengestellt, von welchen die Stücke eines Paares in Bezug auf Material und Gestalt kongruent ausgebildet, im einen Fall aber ummantelt, im anderen Fall nicht ummantelt waren.

(Vergl. Tabelle 2 und 3, Anlage 4.)

E. Das Verhalten gemauerter Pfeiler wurde an 4 Versuchsstücken geprüft.

(Vergl. Tabelle 2 und 3, Anlage 4.)

F. Das Verhalten von Stützen aus Holz wurde auch an 4 Stücken untersucht.

(Vergl. Tabelle 2 und 3, Anlage 4.)

Zur Ausführung vorstehender Vergleiche standen 40 Versuchs-Gegenstände zur Verfügung, von welchen manche zu mehrfachen Vergleichen benutzt worden sind.

#### A. Eisen-Stützen.

Sämmtliche Eisenstützen haben einen Eisenquerschnitt von 63,6 qcm Flächeninhalt, nur die massiven Rundeisen aus Schmiedeeisen einen Querschnitt von 62 qcm. Fläche.

Sämmtliche Gufsstücke sind liegend gegossen.

Hohlsäulen. Die verwendeten Hohlsäulen aus Gufseisen, resp. Schmiedeeisen haben 120 mm inneren und 150 mm äußeren Durchmesser, also 15 mm Wandstärke erhalten.

Für die Größen-Verhältnisse maßgebend waren die Abmessungen eines im Handel vorrätigen geschweißten Schmiederohres von obigen Querschnitts-Abmessungen.

Diesem Rohre entsprechend erhielten auch die hohlen Gufsstützen 150 mm äußeren und 120 mm inneren Durchmesser. Die hohlen Gufssäulen sind an jedem Ende mit einem Verstärkungsring von 40 mm Höhe versehen, so daß sich längs dieses Kopf- und Fuß-Ansatzes die Wandstärke auf 20 mm gegen 15 mm im übrigen Theil der Säule steigerte.

Gufsstützen solcher Art wurden in Längen von 1,2 und 4 m, Schmiedestützen obigen Querschnittes in Längen von 1 und 2 m gefertigt und an den Enden sauber abgedreht.

Massive Stützen. Zur Erkenntniß, ob es vortheilhaft oder nachtheilig sei, das Material auf einen Querschnitt geringerer Breite zu konzentriren, wurden auch massive Eisenstützen hergerichtet, welche wieder einen gleichen Flächeninhalt im Eisenquerschnitt erhalten sollten, wie die Hohlsäulen. Es wurde daher für diese Stützen ein äußerer Durchmesser von 9 cm vorgeschrieben, welcher der Kreisfläche von 63,6 qcm Inhalt entspricht. Bei den Gufseisen ist das Maaß genau inne gehalten, während die Schmiedestützen aus Walzeisen ein wenig schwächer ausfielen und nur 62 qcm Durchschnittsfläche aufweisen.

Auch diese Stützen, sowohl die Gufs- als Schmiedekörper sind in Längen von 1 m, 2 m und 4 m Länge angefertigt worden.

Die Versuche mit den Massivkörpern von 4 m Länge hatten zumal theoretisches Interesse; sie dienten dazu, an dem Verhalten der sehr schlanken Körper die schnelle Abnahme der Tragkraft, wie sie bei wachsender freier Länge statt hat, zu erweisen.

Nieteisen-Stützen. Zur Prüfung des Verhaltens genieteteter Stützen, im Vergleich zu Stützen von ringförmigem Querschnitt, wurden 3 Nieteisen-Stützen von 2 m Länge hergestellt, welche aus je 4 Winkeln 60 . 60 . 8 und 2 Flacheisen von 115 . 13 mm

Querschnitt so zusammen genietet wurden, dass der Querschnitt der Stütze ein Quadrat von 150 mm Seite bildet, in dessen inneren Ecken sich die Winkeleisen befinden, während 2 Seiten durch je ein Flacheisen, 2 Seiten durch Gitterstäbe verbunden sind.

(Siehe Skizze Tafel II.)

Es ist genau durch Berechnung des erforderlichen Gewichtes und des vorhandenen Gewichtes ausgepafst, daß die 4 Winkel und die 2 Flacheisen zusammen auch wieder 63,6 qcm Querschnitt besitzen. Einige Gitterstäbe, welche sich in der Mitte der Stütze nicht nieten ließen, wurden verschraubt.

Bei größeren Stützen, wie sie in der Praxis gewöhnlich vorkommen, fällt der Raum zwischen den Winkeln so weit aus, daß eine Nietung überall möglich ist. Im Uebrigen soll der Spalt thunlichst klein gehalten werden und hat sich die Endigung der zu tragenden Unterzüge nach der Stützen-Konstruktion und nicht umgekehrt letztere nach der Art der Träger-Ausbildung und der Breite der Träger-Flanschen zu richten. Die Flanschenbreite ist zweckmäßig an den Enden zu verkleinern, der Träger durch ein Anliegen oben und unten gegen die Seiten der inneren Stütze vor schiefer Stellung zu sichern.

Ausgegossene Hohlstützen. Eine hohle Gußsäule von 2 m Länge und von gleichem Querschnitt, wie die vorne beschriebenen Stützen, ist mit einem Mörtel, bestehend aus 1 Theil Zement und 1 Theil Sand ausgegossen. Dasselbe geschah mit einer eben solchen Schmiedestütze.

Gleichfalls wurde eine der Gußsäulen mit einem in die Achse des Rohres eingegossenen Schmiederohr versehen. Der verwendete Mörtel bestand aus 1 Theil Zement und 3 Theilen Sand. Das Rohr war ein Gasrohr von 60 mm Durchm. und 3 mm Wandstärke. Es soll dieses eingesetzte Schmiederohr verhindern, daß bei einem durch Temperaturwechsel im Feuer resp. beim Anspritzen entstandenen Rifs die Säulenhälften sich verschieben, dieselben sollen vielmehr gezwungen werden, in der centrirten Lage zu verharrn, damit dieselben also dem Druck noch Widerstand zu leisten vermögen.

Ummantelte Stützen. Ein Gußrohr ist oben und unten mit je einer angegossenen Scheibe versehen, deren äußerer Durchmesser 280 mm zeigt und deren Stärke 100 mm mißt. Das Rohr ist in Abständen von 300 mm mit einem Kranz von je 4 angegossenen Dornen versehen, deren Länge 48 mm und deren Durchmesser am Fuß 15 mm beträgt. Um diese 32 Dorne, welche sich an der 2 m langen Säule befinden, ist Bindendraht von etwa 1 mm Stärke gewickelt, welcher um die Spitzen der Dorne geschlungen ein Netzwerk bildet, an dem sich der Zementputz hält, dessen Stärke 6 cm beträgt. Der Putz ist aus 1 Theil Zement und 3 Theilen Sand hergestellt.

In ähnlicher Weise ist ein Schmiederohr von gleichen Abmessungen ummantelt, dasselbe ist zunächst mit 3 längslaufenden Quadrateisen von 12 mm Seite versehen, welche mit Bindendraht am Rohr befestigt sind. Ueber diese Eisenstreifen ist ein Netzwerk aus Bindendraht gelegt. Das Rohr ist außerdem an der Oberfläche rauh gehackt.

Endlich ist eine Nietstütze mit einem Holzmantel aus Föhrenholz versehen, dessen Stärke 3 cm mißt. Das Holz ist nach Art von Fafsdauben in 4 Langstreifen neben einander gefügt und mit einem Eisenblech von 1 mm Dicke außen bepanzert. Das Blech ist in den Nähten in 7 cm Abstand durch Schrauben gehalten, im Uebrigen

in Abständen von 30 cm mit je 4 über den Umfang vertheilten Holz-Schrauben versehen. Der Luftzutritt ist thunlichst vermieden, so daß das Holz wohl ankohlen, aber nicht ganz verbrennen kann. Auf diese Weise soll das Eisen von der direkten Einwirkung des Feuers geschützt bleiben.

Gußstücke besonderer Form. Es ist auch ein absichtlich stark excentrisch gegossenes Rohr und ferner eine mit modernen architektonischen Verzierungen versehene Säule zur Verfügung gestellt, da diese unkonstruktive Verzerrung der Gestalt wichtiger Tragkonstruktionen gewiß sehr nachtheilig wirken kann.

Nachschrift. Am Versuchsobjekt nicht bestätigt.

### B. Pfeiler aus Klinkermauerwerk.

Pfeiler von 2 m Länge aus Klinkermauerwerk in 1 Stein-Stärke,  $22\frac{1}{2}$  bei  $22\frac{1}{2}$  im Quadrat messend, sind mit einem Mörtel von 1 Theil Zement und 1 Theil Sand am 29. und 30. November aufgeführt und in einer Temperatur von 5 bis 10 Grad Wärme 15 resp. 17 Tage erhärtet. Die Klinker hatten außen bläulich braune Farbe, welche sich 1 cm tief in den Stein erstreckte. Im Innern zeigten die Steine ein sattes Braunroth.

In einen Pfeiler ist je ein Würfel aus Sandstein und ein Würfel aus Granit eingefügt worden, deren Lagen aus der Skizze Tafel II zu erkennen sind.

### C. Holzstützen.

4 Holzstempel von  $\frac{15}{15}$  cm Querschnitt und 2 m Länge sind aus Föhrenholz und aus Eichenholz zur Verfügung gestellt, von welchen je 2 im Feuer und 2 bei normaler Temperatur zerdrückt werden sollen.

## 2. Beschreibung der Apparate und der anderweitigen Hilfsmittel.

Versuchs-Apparat. Wie aus der Zeichnung Tafel I ersichtlich, besteht der verwendete Prefsapparat aus der eigentlichen Presse, dem dickwandigen Cylinder und dem Kolben, ferner aus den schmiedeeisernen Zugstangen, welche den Cylinder an den seitlichen Angüssen fassen und durch Stahlkeile angezogen sind. Der hydraulischen Presse gegenüber befindet sich ein schweres Gegenstück, welches ebenso wie das Gußstück des Prefs cylinders auf Eisenschwellen ruht und nach hinten sich gegen das zweite Paar Stahlkeile stemmt. Die Zugstangen sind so lang, daß je 1, 2 oder 4 lange Versuchs-Objekte eingespannt werden können.

Für die Hauptversuchsreihe wurde eine Einspannung zwischen Gelenken vorgesehen, weil man ohne Vorhandensein der Gelenke gar nicht sagen kann, wo der Druck eigentlich durchgeht und somit ein Vergleich verschieden gebauter Versuchs-Objekte gestört worden wäre. Rückschlüsse aus den Resultaten der zwischen Gelenke gespannten Stützen auf fest eingespannte Stützen sind durch Vergleiche erreicht.

(Vergl. Tabelle II und III.)

Die Gelenke bestehen aus Halbkugeln und Schalen aus Gußeisen. Die Halbkugeln bilden mit kräftigen Gußkörpern ein Stück und sind durch Schrauben einerseits gegen den Kolben der hydraulischen Presse, andererseits am Gegenstück (Traverse) befestigt und so centrirt, daß die Kolbenachse durch die Mitte beider Gelenke geht.

Die Gelenke sind sauber bearbeitet, gut unter Oel gehalten und funktionieren völlig nach Wunsch.

Bei dem ersten Versuch zersprang jedoch das eine Gufstück, welches den Hohlraum des Kolbens überdeckte, obwohl die Gufstärke 6 cm betrug. Diese Stärke wurde bei dem Ersatzstück auf 14 cm gesteigert.

Die Kugelschalen bildeten den hinteren einspringenden Theil eines Gufkörpers, dessen vordere Fläche sauber bearbeitet war und zum Auflager der scharf anliegenden Versuchs-Objekte diente. Die Platten hatten je nach der Form der Stütze einen kreisbogenförmigen, resp. geraden unteren Ansatz, welcher dem Versuchsobjekte zum Auflager diente und auch zur Vermittelung der genauen beabsichtigten Einspannung benutzt wurde.

Diese Auflagerplatten hatten Ansatzstücke mit Löchern zur vorläufigen Aufhängung derselben, welche provisorische Aufhängung beseitigt wurde, sobald eine Versuchs-Stütze eingespannt war.

Von hinten führte ein Druckrohr das Druckwasser in die Presse, welche durch eine die Arbeiter schützende Holzplanke von der Pumpe getrennt war. An der Pumpe befand sich das Manometer.

Die hydraulische Presse ist in der Fabrik des Herrn Lühmann 1873 gebaut. Es wurden mit derselben zunächst 700 Stück Säulen für den Hamburger Quaispeicher probirt und hernach im Ganzen mehrere Tausend Säulen mit der Presse gedrückt. An Lederstulp-Dichtungen kamen in dieser Zeit 2 Erneuerungen vor.

Manometer. Zunächst stand ein von 0 bis 200 und ein von 0 bis 6 Atmosphären zeigendes Manometer zur Verfügung, jedoch zeigte es sich, daß in der Nähe von 5 und 10 bis 20 Atmosphären das große Manometer immer weniger Druck angab, als thatsächlich vorhanden war; daher wurde ein drittes Kontrolmanometer hinzugenommen, welches zwischen Null und 30 Atmosphären neu justirt war. Durch die beobachtete Differenz wurde es erforderlich, alle ausgeführten Proben zu berichtigen.

Vor der Drucklegung dieser Arbeit sind im Sommer 1887 die benutzten Manometer mit feinen Kontrolmanometern verglichen, die Fehler berichtigt, und erscheinen hier im Abdruck der Protokolle und in den Tabellen die berichtigten Werthe.

Für Reibungsverlust der Presse sind 5% in Abzug gebracht, nachdem festgestellt worden war, daß dieser Verlust in Wahrheit 5% kaum erreiche.

(Vergl. Protokoll II, Seite 33 und 40.)

Wirkung der Presse. Die Werthzahlen für die Wirkung der Presse sind im Protokoll I, Seite 96 und 97 verzeichnet.

Messung der Durchbiegung. Ein Zeiger mit der Uebersetzung 1:4 erlaubte die Ablesung von je 1 mm Durchbiegung in vierfachem Maaßstabe, so daß auch Bruchtheile von Millimetern deutlich geschätzt werden konnten. Wo der Aufenthalt in Nähe der Stütze mit Gefahr verbunden war, geschah die Ablesung durch das Fernrohr eines Nivellir-Instrumentes.

Es wurde untersucht, ob die Einwirkung des Feuers ein Fehlzeigen des Zeigers herbeiführe. Absichtlich wurde ein solches Fehlzeigen dadurch herbeigeführt, daß

Wasser einseitig nur von oben auf das erhitzte Zeiger-Ende gegossen wurde\*). Dadurch entstand ein Fehlzeigen von 0,6 mm, so daß angenommen werden muß, es sei das Fehlzeigen bei den normalen Verhältnissen nicht größer als 0,1 bis 0,2 gewesen. Dieser Fehler fällt deshalb so klein aus, weil der Drehpunkt kalt ist und nur das eine verdickte Ende des Hebels etwas ungleichmäßig erwärmt wird.

Im Sommer 1887 angestellte Ermittlungen ergaben, daß am Zeiger nicht nur die Durchbiegung der Stützen, sondern auch das Kanten des Kolbens der Presse mit gemessen wurde und daher stets zu große Zahlen für die Durchbiegung ermittelt und niedergeschrieben sind.

Die Durchbiegung brauchte nur in der Vertikalebene gemessen zu werden, da nur diese bei der von unten wirkenden Erwärmung und der nach unten gerichteten excentrischen Einspannung von Bedeutung war. Seitliche Durchbiegungen traten allerdings in Folge theilweisen seitlichen Anspritzens auch auf, z. B. bei der Nieteisen-Stütze, welche mit dem Flacheisen nach oben und zwar in Gelenken eingespannt war. (Vergl. Protokoll II, Seite 8). Die seitlichen Durchbiegungen sind aber nicht gemessen worden.

Messung der Temperatur. Die Temperatur der Stütze wurde durch das Schmelzen von Blei, resp. von einer Silber-Legirung gemessen, welche letztere von Herrn Professor Bauschinger verwendet worden ist.

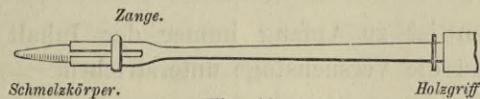


Fig. 12.

Temperatur des schmelzenden Bleies 330 ° C.

Temperatur der schmelzenden Legirung  $\left\{ \begin{array}{l} 39 \text{ Theile Silber} \\ 61 \text{ „ Blei} \end{array} \right\} 600 \text{ ° C.}$

Die nach obigen Gewichts-Verhältnissen zusammen geschmolzene Legirung ist im Protokoll meistens kurzweg Silber genannt. Bei Berührung eines Eisenstutzens, welcher im Schmiedefeuer erhitzt worden war, schmolz das Blei im Bereich des dunklen Eisens, die Silberlegirung schmolz nicht am dunklen Eisen, auch nicht genau an der Grenze, sondern dort, wo das Eisen schon eine klar erkennbar rothe Farbe zeigte. Diese Kontrolle wurde im geschlossenen Raum, am Tage in einem dunklen Winkel der Werkstatt ausgeführt. Eine Berührung der Stütze mit dem Schmelzkörper dauerte etwa 10 Sekunden.

Standort der Presse. Die Presse stand im Freien, im Hofraum der Fabrik. Neben der Presse befand sich ein Krahn mit Ausleger, welcher die Versuchsstücke (Gufssäulen) in den Apparat hob. Die Versuche des Herrn Prof. B. sind in einem Saale angestellt, welches bezüglich des Glühens von Bedeutung ist, da letzteres in einem Saal leichter gesehen werden konnte.

\*) Vergl. Protokoll I, Seite 32 und Protokoll II, Seite 40—65.

Art der Feuerung. Die Feuerung bestand aus Koks, welche durch Spähne und Holz in Brand gesteckt wurden, und zwar nur jedesmal bei Beginn einer Versuchsreihe. Durch das Anspritzen ging das Feuer nicht ganz aus, da die glühenden Koks noch Wärme hielten, obwohl sie oben schwarz geworden waren.

Die Koks berührten zunächst den Eisenkörper; wenn das Feuer etwas zusammengesunken war, schwebte das Rohr in 10 bis 15 cm Abstand von den heißen Koks.

Außerdem wurde Holz verfeuert, und zwar wurde letzteres seitlich von den eingespannten Stützen aufgeschichtet und gegen die Stützen gelehnt, um auch die Oberfläche derselben einem Flammenfeuer auszusetzen.

Die also erzeugte Hitze wird bei einem Brande zwar nur dann entstehen, wenn schon zusammenstürzende Balken verkohlt sind und wenn durch kräftige Luftzuführung das Feuer tüchtig angefacht ist. Diese Feuerung mit Koks wurde aber gewählt, um den Versuch etwas abzukürzen, da einfaches rauchendes Flammenfeuer, ohne die erwärmende Wirkung glühender Holzkohle oder glühender Koks, kaum im Stande ist, Eisenstücke glühend zu machen.

### 3. Die Ausführung der Versuche.

Ueber die Resultate der Versuche ergeben die Protokolle I und II Aufschluss, wie die Tabellen und Angaben der Anlage 4.

In den Protokollen ist zu Anfang immer der Inhalt des Protokolles hervorgehoben und sind daselbst die Versuchstage unterstrichen.

Der Uebersicht halber wird hier noch angeführt, das am 7. und 9. Dezember vorläufige Versuche ausgeführt sind. (Vergl. Protokoll I, Seite 8 und Seite 26.)

Versuche mit 1 m langen Stücken sind

am 10. Dezember vorgenommen. (Protokoll I, Seite 31—43).

Versuche mit 4 m langen Stücken sind

am 13. Dezember vorgenommen. (Protokoll I, Seite 59—60).

Versuche mit 2 m langen Stücken

Kaltproben am 15. Dezember. (Protokoll I, Seite 70—78).

Versuche mit 2 m langen Stücken

Feuerproben am 17. und 18. Dezember. (Protokoll I, Seite 79—88),

am 18. Dezember (Protokoll II, Seite 1—5),

am 20. Dezember (Protokoll II, Seite 6—19).

Die Zahlen-Resultate sind in den Tabellen der Anlage 4 und in den Zeichnungen daselbst zusammen gestellt.

Die Pfeiler, welche mit Mörtel aus 1 Theil Zement und 1 Theil Sand gemauert sind, waren 16 resp. 20 Tage alt. Von dem verwendeten Mörtel wurden Proben angefertigt und diese am 13. Tage ihres Erhärtens durch Herrn Ingenieur Riggenbach am Bauplatz der neuen Elbbrücke zerrissen. Die Festigkeit derselben betrug im Mittel 21 kg geschrieben einundzwanzig kg pro qcm an Zugfestigkeit.

### Abhandlung III.

## Schlussfolgerungen, abgeleitet aus den unter II beschriebenen Versuchen.

Die Motive, welche zu der Preisausschreibung geführt haben und in der Publikation der Verhandlungen des Vereines zur Beförderung des Gewerbefleißes aufgeführt sind, umfassen die Gefahren, denen gusseiserne und schmiedeeiserne auf Druck beanspruchte Baukonstruktionstheile im Falle ihrer Erhitzung bei einer Feuersbrunst ausgesetzt sind.

Es ist daselbst angeführt worden, es werde befürchtet, daß Gufseisensäulen durch Feuer erhitzt und mit kaltem Wasser bespritzt zerspringen, daß dagegen Schmiedeeisenstützen der Regel nach wegen ihrer dünnen Wandstärke sich schneller erhitzen und bereits bei geringerer Temperatur zerknicken können, als gusseiserne Säulen, welche nicht nur eine mäßige Rothglut unbeschädigt ertragen, sondern oft auch die hierbei häufig eintretende Beanspruchung auf Biegung überstehen. Aus diesem Grunde hält man nach den Motiven der Preisschrift gerade die schmiedeeisernen Säulen bei Brandfällen für im höheren Grade unsicher als gut gegossene Säulen und glaubt, daß nur aus schlechtem Material gegossene, falsch konstruirte und fehlerhaft hergestellte gusseiserne Säulen vermieden werden sollen.

Zur Ermittlung des Thatbestandes sind diesseits Versuche mit 16 Gufseisenstützen und 12 Schmiedestützen angestellt worden. Die Resultate erlauben eine bestimmte Beantwortung aller Fragen, welche sich auf den zweiten Theil der angeführten Motive, die Steifigkeit und Tragfähigkeit der Stützen betreffend, beziehen, während in Hinsicht des ersten Theiles der Motive, welcher von dem Zerspringen mit kaltem Wasser angespritzter Gufssäulen handelt, sich negative Resultate ergeben haben.

### I. Gufseisen.

#### Ueber die Entstehung von Sprüngen in Gufssäulen.

Von den 16 Gufseisen-Körpern wurden 10 direkt dem Feuer ohne Schutz ausgesetzt; dieselben erglühten unten lebhaft, während an der Oberfläche derselben die Temperatur den Schmelzpunkt von Blei überschritt. Diese Stützen wurden alle und meistens wiederholt von oben, von der Seite oder von unten angespritzt; dennoch zeigten sich keine Risse. Nur bei einer 4 m langen Stütze kann dieses nicht mit Gewißheit behauptet werden, weil die Gufssäule während des Spritzens brach und also der entstandene Riß sowohl durch Ueberanstrengung als auch durch Abkühlung herbeigeführt sein kann.

Die sämtlichen Versuchs-Stücke waren 1 oder 2 Wochen zuvor und zwar liegend gegossen.

Der eigenthümliche Umstand, daß, mit Ausnahme des einen unsicheren Falles, Risse nicht entstanden, veranlafte uns in 2 Fällen, das zumal unten glühende Gufsstück

mit brennendem Holz zu bedecken, umzudrehen, das Holz zu entfernen und nun die nach oben gerichtete glühende Säulenfläche mehrmal mit einem Eimer Wasser zu begießen, wobei der volle Strahl direkt die glühende Stütze traf. Auch diese Versuche blieben wirkungslos, Risse entstanden nicht.

Da es nun nach den Angaben der Polizeibehörde von Berlin und nach den Versuchen von Herrn Professor Bauschinger (erste Versuchsreihe) Thatsache ist, daß erhitzte und sodann angespritzte Gufssäulen springen, so wird diesseits die Frage aufgestellt, ob frisch gegossene Gufseisenkörper sich anders verhalten als ältere Gufseisenstützen. Es ist von manchen Gufsmaterialien, z. B. Glas bekannt, daß sie sich Jahre hindurch zusammenziehen. Soviel mir bekannt, springen Gufsplatten bei Oefen und Feuerherden nicht immer bei der ersten Erhitzung und ersten plötzlichen Erkaltung, sondern gelegentlich nach längerer Zeit des Gebrauches. Es wird daher nur deshalb, um alle möglichen Fälle berücksichtigt zu haben, die Hypothese aufgestellt, daß frisch gegossene, erhitzte und angespritzte Gufssäulen überhaupt nicht leicht Risse und Sprünge bekommen, daß dagegen die Gefahr des Springens hervortritt, wenn die Gufssäule alt ist.

Prüfen wir diese Hypothese an den beiden Versuchsreihen des Herrn Professor Bauschinger. Wir finden in der ersten Versuchsreihe bei fast jedem Versuch die Bemerkung: „Leises Knistern, ein Krach, die Gufssäule zeigt Sprünge.“ Auch in die Zeichnungen sind fast überall Risse eingetragen. Diese Versuchsobjekte waren größtentheils ausgeschossene Exemplare, confer. Sonderabdruck Heft XVII der Veröffentlichungen des technischen Laboratoriums zu München, Seite 2, Zeile 11. Für die zweite Versuchsreihe wurden zwei neue Säulen gegossen, confer. S. 2 daselbst, Absatz 2, Zeile 9, wo es heißt: „Herr Kustermann ließ mir auf meine Bitte hin bereitwilligst zwei Stück solcher Säulen gießen, von denen die eine etc. . . .“ Ueber das Verhalten dieser neu gegossenen Stütze ist daselbst Seite 5, Spalte 1, Absatz 2 zu lesen: „Die aus der Maschine genommene Säule zeigt nach sorgfältiger Untersuchung keine Verletzung irgend welcher Art;“ . . . . . Ferner heißt es S. 6 ganz oben: „Die aus der Maschine genommene zweite Säule zeigt nach sorgfältiger Untersuchung keinerlei Sprünge und sonstige Beschädigungen.“

Es ist nicht zu erwarten, daß derselbe Experimentator mit denselben Apparaten bei einer Versuchsreihe immer Sprünge und Risse erzielen und bei einer Wiederholung der Versuche gar keine Risse erzielen werde, wenn nicht dieser Gegensatz in dem Verhalten der Versuchsobjekte schon in den Versuchsobjekten selbst begründet sein sollte. Bei beiden Reihen waren die Versuchsstücke liegend gegossen, die der ersteren Reihe waren aber ältere Gufsstücke (Ausschußstücke, dem Lager entnommen) die letzteren ganz frisch für den Versuch gegossene Stützen.

Es gewinnt hiernach die aufgestellte Hypothese vielleicht etwas an Wahrscheinlichkeit, daß Gufssäulen mit zunehmendem Alter bei der Erwärmung und dem Anspritzen leichter Risse erhalten, als frisch gegossene Stücke.

Der Gießerei-Besitzer Herr Lühmann äußerte die Ansicht: „Es seien wohl die vielfach in der ersten Versuchsreihe des Herrn Professor Bauschinger hervorgetretenen

Risse auf den Umstand zurückzuführen, daß für die Versuche Ausschußgufsstücke verwendet seien. Vergl. III 3.

Bei der zweiten Versuchsreihe dürften die Sprünge sich darum nicht wiederholt haben, weil für diese Versuche keine Ausschußstücke, sondern sorgfältig, wiewohl auch liegend gegossene Säulen verwendet worden sind.

Es wird vielleicht auf Grund der bei dieser Preisbewerbung einlaufenden Arbeiten möglich sein zu entscheiden, welche dieser beiden Ansichten die richtigere sei; auch ist es möglich, etwa nach einem Jahre die unsererseits der Prüfung unterzogenen Gufskörper, soweit sie noch ganze Stücke aufweisen, an den Enden abzdrehen und noch einmal einer Prüfung im Feuer zu unterwerfen, um zu erkennen, ob alsdann das Gufseisen im Feuer und bei dem Anspritzen mit kaltem Wasser Risse erhalten werde.

Versuch zur Sicherung der Tragfähigkeit gesprungener Gufseisenstützen, deren Sprünge lediglich auf Temperaturspannungen zurückzuführen sind.

Da dies Zerspringen von Gufsstützen mehrfach beobachtet wurde und die Eigenschaft des Gufseisens, in erhitztem Zustande zu springen, auch aus anderen Beispielen bekannt ist, wurde versucht, die Gufsstütze gegen Zerstörung selbst dann zu sichern, wenn dieselbe Temperatur-Risse erhalten hat. Zweitens wurde versucht, durch Ummantelung der Stütze die Einwirkung des Feuers abzuschwächen.

Es ist beobachtet (vergl. Versuchsreihe 1 von Herrn Professor Bauschinger), daß Temperatursprünge zwar die Säule in zwei Theile trennen können, daß aber niemals die Neigung besteht, die Gufsstütze in einzelne Scherben zu zerlegen.

Entstandene, rund um die Säule laufende Risse, können erstens dadurch gefährlich werden, daß die Stücke einer gesprungenen Säule nicht mehr genau über einander stehen und der Druck also auf die unteren Theile der Stütze nicht regelrecht übertragen wird.

Zweitens können die Risse unmittelbar gefährlich werden, wenn Gufssäulen auf Biegung beansprucht sind und mithin das Auftreten von Zugspannungen möglich wird. Dies kann z. B. vorkommen, wenn Träger auf Konsolen einer Säule so aufliegen, daß der Druck  $A$  an dem Hebelarm  $e$  angreift. Zumal bei Bränden und im Besonderen an der Grenze der Brandstätte wird es vorkommen, daß Auflagerdruck  $A$  dem Druck eines voll belasteten Bodens entspricht, während  $B$  einen minimalen Werth angenommen hat.

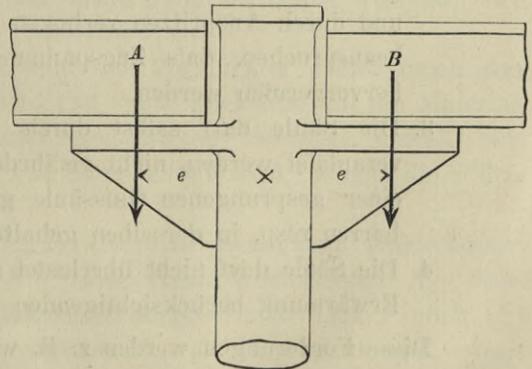


Fig. 13.

Die Tragfähigkeit von nicht ummantelten Gufssäulen dürfte daher als wesentlich gesicherter in Hinsicht auf Feuersgefahr erscheinen, wenn erstens die Gufssäulen

centrale Belastung erfahren, gar nicht auf Zug in Anspruch genommen sind und wenn ferner Vorsichtsmaßregeln getroffen sind, um selbst gesprungene Gufssäulen in der ursprünglichen Lage genau über einander zu erhalten. Vergl. Prot. I S. 93 bis 95.



Fig. 14.

Um diese letztere Bedingung zu erreichen, wurde in die Achse einer gulfseisernen Hohlsäule ein Gasrohr aus Schmiedeeisen von 60 mm Durchmesser eingebracht (Fig. 14) und die verbleibenden Zwischenräume mit Zementmörtel ausgegossen.

Diese Säule von 63,6 qcm Gufseisen-Querschnitt zerbrach erst durch Steigerung der Last auf 99 400 kg. Diese Last auf den qcm des Querschnittes vertheilt gedacht, betrug  $\frac{99\,400}{63,6} = 1563$  kg. Das Rohr war eben zuvor glühend gewesen und durch Anspritzen an der nach oben gekehrten Seite theilweise abkühlt.

Die beiden Bruchstücke wurden genau in derselben Weise, wie dieselben zur Zeit des Bruches verharreten, durch das Schmiederohr auch ferner erhalten. Eine relative Verschiebung der Querschnitte gegen einander fand nicht statt.

Wenn diese Gufssäule nicht überlastet und in Folge dessen nicht so stark verbogen worden wäre, daß Zugspannungen hätten entstehen können, dann würden dieser Säule Temperaturrisse und Sprünge nicht wesentlich geschadet haben.

Der Versuch ergab übrigens, daß die Ausfüllung mit Zementmörtel nicht rathsam sei, daß vielmehr Lehm resp. Thon und Sand zu empfehlen sind. Thon und Sand brennt sich hart und enthält, wenn einmal getrocknet, kein Wasser, während Zement im Feuer an Wasser verliert und Dämpfe erzeugt, welche in Hohlräume eingesperrt, gefahrbringend werden können.

Es sind für Gufssäulen folgende Regeln abzuleiten, wofern die Gufssäulen ihre Funktion als Stützen auch im erhitzten Zustande trotz einseitiger Anspritzung mit Sicherheit erfüllen sollen.

1. Die Last muß so central angreifen, wie möglich.
2. Die Last darf selbst dann, wenn die Gufssäule durch einseitige Erwärmung und durch Anspritzen verbogen ist, nicht so stark die Stütze auf Biegung beanspruchen, daß Zugspannungen in der konvexen Faser des Materiales hervorgerufen werden.
3. Die Säule darf selbst durch Risse, welche durch plötzliche Abkühlung veranlaßt werden, nicht gefährdet sein, vielmehr müssen die einzelnen Stücke einer gesprungene Gufssäule genau in der richtigen Lage zu einander verharreten resp. in derselben gehalten werden.
4. Die Säule darf nicht überlastet sein und muß nach passenden, die einseitige Erwärmung berücksichtigenden Formeln berechnet werden.

Diese Forderungen werden z. B. wie folgt zu erfüllen sein.

ad 1. Die Last muß selbst dann auf die beiden einander gegenüberstehenden Konsolen  $C$  und  $C'$  (Fig. 15) gleichmäßig vertheilt sein, wenn auch nur der Boden I belastet und II unbelastet ist. Es ist dies dadurch zu erreichen, daß abwechselnd die Längsträger  $a, b, c, d, e$  und  $f$  etc. auf Unterzug  $A$  und auf Unterzug  $B$  auflagern. An den

schraffierten Punkten sind kleine Unterlagsscheiben anzuordnen, wogegen an den Punkten  $x, y, z$  und  $w$  ein Spielraum zwischen Längsträger und Unterzug verbleibt.

ad 2. Die Säule ist nicht allzu schlank zu konstruieren. Ein Verhältniß der freien Länge  $L$  zum Durchmesser resp. zur Breite der Stütze  $L/D \leq 10$  ist zu empfehlen, wenn die Stütze als zwischen Gelenken eingespannt zu betrachten ist. Ist die Stütze als zwischen parallelen Auflagenflächen oben und unten stehend zu betrachten, dann wird meistens das Verhältniß  $L/D \leq 17$  zu empfehlen sein. Es empfiehlt sich nachzurechnen, ob der Krümmungspfeil  $v = \frac{l^2}{1600 D}$  vergl. Prot. I, S. 5, welcher

durch die Erwärmung hervorgerufen wird, vermehrt um die ursprünglich etwa vorhandene

Excentricität  $a$  und vermehrt um die Verbiegung der Stütze durch die Last, deren

Größe  $f = \frac{(l/2)^2 \cdot P \cdot (a + v)}{2 EJ - \frac{5}{6} (l/2)^2 \cdot P}$  (vergl. hier I 4 c) beträgt, nicht dahin wirkt, die Druck-

linie aus dem sogenannten Kern des Stützen-Querschnittes hinaus zu verlegen. Dies darf nicht geschehen, weil sonst Zugspannungen entstehen, welche der etwaigen Risse halber ganz vermieden werden sollen. Zum Zweck schneller Verwendung, wird es sich empfehlen, für einige Querschnitte die erlaubte Maximallänge unter Berücksichtigung genügender Sicherheit später auszurechnen und die Resultate in kleinen Tabellen zusammen zu stellen.

ad 3. Soweit sich nach dem ausgeführten Versuch übersehen läßt, ist es rathsam, in die Achse hohler Gufssäulen einen aus nicht sprödem Material bestehenden Körper zu setzen, z. B. ein Schmiederohr und dieses mit Lehm resp. Thon und Sand so einzustampfen, daß es fest im Gufskörper sitzt und diesem, wie ein Dübel wirkend, noch Halt giebt, falls durch plötzliche Abkühlung Risse entstehen.

ad 4. Die Stütze ist bezüglich der Gefahr auf Zerknicken nicht nach der Euler'schen Formel zu berechnen, weil diese gar keine Rücksicht auf die Materialfestigkeit nimmt und ferner keine excentrische Kraftwirkung annimmt, obwohl eine Excentricität immerhin vorhanden sein wird und noch erhöht wird, sobald die Stütze einer Erhitzung ausgesetzt ist.

Die Formel von Schwarz resp. Laissle und Schübler paßt besser, jedoch muß man statt der Koeffizienten  $K = 0,00023$  einen Koeffizienten  $K = 0,0004$  wählen. Dabei ist zu beachten, daß die Stütze die ausgerechnete Last  $P$  noch mit einiger Sicherheit bei einseitiger Erwärmung tragen soll, welches erreicht wird, wenn man für  $S$  setzt 1000 bis 1200 kg, vergl. S. 27 Protokoll II

$$P_1 = 1200 \cdot F \cdot \frac{1}{1 + 0,0004 \cdot \frac{l^2 \cdot F}{J}}$$

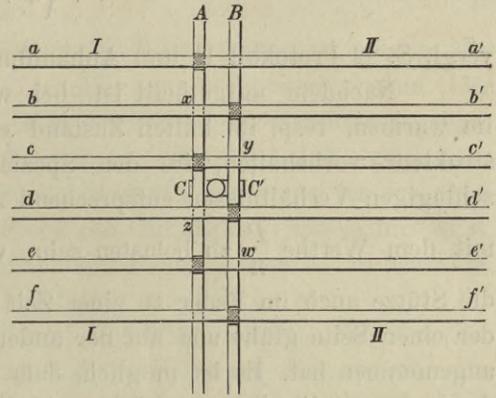


Fig. 15.

Dieselbe Stütze trägt im kalten Zustande Lasten, die kleiner sind als

$$P = 4000 \cdot F \cdot \frac{1}{1 + \left( a + \frac{(l/2)^2 \cdot P a}{2 J E - \frac{5}{6} (l/2)^2 \cdot P} \right) \cdot \frac{F \cdot D}{2 J}}$$

vergl. S. 22 Protokoll II und Abhandlung I 4 c.

Nachdem mitgetheilt ist, bei welchen Belastungen die Zerstörung der Stütze im warmen, resp. im kalten Zustand etwa erwartet werden kann, bleibt es dem Konstrukteur vorbehalten, für den Spezialfall den Sicherheits-Koeffizienten  $n$  den einschlägigen Verhältnissen entsprechend zu wählen. Die Säule wird alsdann im Maximum mit dem Werthe  $\frac{P}{n}$  zu belasten sein, welcher Werth kleiner sein muß als  $P_1$ , wofern die Stütze auch im Feuer zu einer Zeit widerstandsfähig bleiben soll, wo dieselbe auf der einen Seite glüht und auf der andern Seite die Temperatur des schmelzenden Bleies angenommen hat. Es ist möglich, daß bei günstigen Einspannungs-Verhältnissen zumal dann, wenn die Stütze auf der einen Seite durch Anspritzen schon ziemlich kalt geworden ist, dieselbe erheblich mehr tragen kann als vorstehender Werth  $P_1$  erkennen läßt, jedoch ist dies dann Zufall.

Es kommt z. B. vor, daß eine Säule nicht wirklich die berechnete Durchbiegung ganz annimmt, weil die Art der Einspannung dies verhindert, oder weil das Material auf der erwärmten Seite, weil es weicher geworden ist, um ebensoviel zusammengepresst wird, als die Temperatur eine Ausdehnung anstrebt. Alsdann fällt die Verbiegung kleiner oder gleich Null aus, und die Stütze trägt viel. Es kommt aber auch vor, daß die Stütze sogar sich bei dem Anspritzen vom Feuer abwendet. Alsdann geht die Drucklinie gerade durch das weichere heiße Eisen, weil dieses jetzt die konkave Seite bildet. Also ist es zu erklären, daß Stütze  $^{150}/_{120}$  Durchmesser von 1,0 m Länge im Feuer nur 74 t getragen hat, (Prot. I, S. 32) gegen 105,1 (Prot. I, S. 79) Tragkraft der 2,0 m langen, also doppelt so schlanken Stütze.

Daß es wichtiger ist, sich mit den passendsten Konstruktions-Verhältnissen der Stützen zu beschäftigen, als mit der Materialfrage zeigt z. B. Blatt 2 Gußrohr  $^{150}/_{120}$ . Die Säule von 2,0 m Länge trägt im Feuer 105,1 t; diejenige von gleichem Querschnitt, aber von 4,0 m Länge trägt nur etwas über 11,9 t. Die letztere sehr schlanke Stütze hat das Konstruktions-Verhältniß  $L/D = 28$ . Diese Stütze darf nach Obigem nur im Mittel mit 187 kg, resp. mit weniger als 187 kg pro qcm beansprucht werden, falls sie im Feuer bei mäßiger Erhitzung standfest bleiben soll.

#### Ummantelte Stützen.

Ein Mantel von einigen Zentimeter Stärke ist im Stande, auf 1 oder mehrere Stunden hinaus eine im Feuer stehende Stütze vor dem Erglühen zu schützen, confer. Tabelle II und Prot. I S. 91 u. 92, wie I 86 u. II 6.

Da der Mantel ferner eine plötzliche Abkühlung und allzu einseitige Erwärmung verhindert, so ist derselbe für viele Bauten unter Umständen zu empfehlen.

Hiermit dürfte erkannt sein, worauf bei Konstruktion von Gufsstützen das Augenmerk zu richten ist, dafs das Gufseisen als ein hartes Material selbst im Feuer noch eine erhebliche Widerstandsfähigkeit gegen Druck behält, während jede Anstrengung auf Zug mit Gefahr für die Stütze verbunden ist.

Die Bestimmung des zu wählenden Sicherheits-Koeffizienten ist einzig der Entscheidung des den Spezialfall beurtheilenden Technikers zu überlassen, da die Güte des Gusses sehr verschieden ausfallen kann und daher der Sicherheits-Koeffizient größer oder kleiner gewählt werden wird, je nachdem die mit den am Orte selbst verwendeten Gufsstützen gemachten Erfahrungen dieses als wünschenswerth erscheinen lassen. Als dann kommt noch in Frage, ob nur in einem Stock die Gufsstützen angeordnet sind, oder ob die Stützen in mehreren Stockwerken aufeinander stehn. Ferner ist zu beachten, ob eine genaue Prüfung bei der Abnahme der Gufsstützen möglich ist etc.

Um jedoch einen Anhalt zu gewinnen, kann angeführt werden, dafs bei der Wahl  $n = 3\frac{1}{3}$  und bei Anwendung der vorstehenden neuen Formel  $P = \text{etc.}$  für den kalten Zustand etwa dieselbe Sicherheit gewonnen wird, als Laissle und Schübler empfohlen haben. Zwar nennen Laissle und Schübler dieses fünffache Sicherheit, jedoch ist solches nicht zutreffend, denn die Stütze verbiegt sich schon bei etwa 4000 kg Kantenspannung (etwas excentrischen Gufs vorausgesetzt) so sehr, dafs sie der Zerstörung entgegen geht.

Bei  $3\frac{1}{3}$ facher Sicherheit ist alsdann

$$\frac{P}{n} = \frac{3}{10} \cdot 4000 F \cdot \frac{1}{1 + \left( a + \frac{(l/2) \cdot P \cdot a}{2 E J - \frac{5}{6} (l/2)^2 \cdot P} \right) \frac{F \cdot D}{2 J}}$$

$$E = 1\,000\,000$$

$a =$  Anfangsexcentrizität

$e$  freie Länge, Angaben in cm.

Bei Anwendung paralleler Auflagerflächen am Kopf und Fuß ist statt der ganzen freien Länge nur etwa  $\frac{2}{3}$  derselben für  $l$  in die Formel einzusetzen.

## 2. Schmiedeeisen-Stützen.

Schmiedeeisen-Konstruktionen, aus verschiedenen Walzeisen zusammen gesetzt, zeigen niemals in einem Querschnitt gehäuft so viele Materialfehler, wie dies bei Gufseisen vorkommen kann. Daher wird eine aus Walzeisen zusammengenietete Konstruktion auch dann in Praxis größere Sicherheit bieten, wenn auch der numerische Werth des sog. Sicherheits-Koeffizienten bei Berechnung der Nieteisen-Konstruktion kleiner gewählt ist, als bei einem aus Gufseisen hergestellten Konstruktionstheile. Diese vortheilhafte Eigenschaft des Schmiedeeisens gestattet eine bessere Ausnutzung des Materiales und traut man daher dem Schmiedeeisen ebenso viel oder mehr zu, als dem Gufseisen, von welchem man ja eben nicht weiß, ob es auch wirklich fehlerfrei sei. Es ist nun die Befürchtung ausgesprochen, Schmiedeeisen könne im Feuer so viel an Festigkeit verlieren, dafs die für den kalten Zustand üblichen Inanspruchnahmen, obwohl

dieselben für normale Temperatur völlig ausreichende Sicherheit gewähren, doch für den Zustand erhöhter Temperatur, wie er bei einem Brande eintreten kann, zu hoch ausfallen möchten. Es wurde die Befürchtung ausgesprochen, daß Schmiedeisen im Feuer erheblich schneller weich werde als Gufseisen.

Diese letztere Befürchtung hat sich, wie aus der Tabelle I ersichtlich, bei den diesseits angestellten Versuchen nicht ergeben. Es verhält sich die Härte des Schmiedeisens im Feuer zur Härte (Druckfestigkeit) des Gufseisens etwa ebenso wie im kalten Zustande. Die Tragfähigkeit einer Schmiedestütze richtet sich ebenso wie die Tragfähigkeit der Gufsstützen im hohen Maaße nach der verwendeten Konstruktion und deren Konstruktions-Verhältniß  $L/D$ . Wenn z. B. das Versuchsstück Fig. 15, Blatt II, Heft XII der Mitth. aus dem techn. Lab. zu München, sehr wenig Widerstandsfähigkeit gegen Druck aufwies, so liegt dies daran, daß das Versuchsstück so sehr schlanke Form zeigt. Auch in unserer Versuchsreihe findet sich auf Tafel II dieser Arbeit ein ähnliches Rohrstück von 4,0 m Länge und zwar aus Gufseisen bestehend, dasselbe hat im Feuer nur gut 11,9 t Druck ausgehalten und ging dann zu Bruch, während die kürzere daneben gezeichnete Gufssäule von 2,0 m Länge und genau gleichem Querschnitt 105,1 t Tragkraft im Feuer aufwies. Jener hohe Betrag 105,1 t gegenüber 11,9 t ist aber in diesem Fall der einzig in Folge geringerer Länge erzielten größeren Steifigkeit des kleineren Versuchsstückes zuzuschreiben, denn es handelte sich beidemale um Gufseisen. Wenn also unsere schlanke Gufssäule im Feuer kaum mehr als  $\frac{11900}{63,6}$  gleich 187 kg mittlere Material-Beanspruchung hat aushalten können, (vergl. Tabelle III, Zeile 6), so ist es ganz selbstverständlich, daß ein noch schlankeres Schmiederohr (Versuch 12, Heft XII der Mitth. d. techn. Lab. in München) bei einer mittleren Material-Beanspruchung von 435 kg im Feuer zerstört werden mußte. Dasselbe gilt für die auf Blatt I und II in Heft XV der Mittheilungen dargestellten Schmiedestützen. Ich würde dieselben nach der Formel  $P = 1000 \cdot F \cdot \frac{1}{1 + 0,0004 \cdot \frac{l^2 F}{J}}$

nur mit etwa 15 t belasten, während den Versuchsstücken 33,0 t zugemuthet worden ist. (Vergl. die Bauz. No. 83, Seite 499, Spalte 1 unten.) Daß bei dieser mehr denn doppelten Last die an sich schon sehr leicht konstruirte Winkeleisen-Stütze zerstört werden mußte, ist nicht zu verwundern. Dies schließt aber, wie erwiesen ist, nicht aus, daß steif konstruirte Schmiede-Stützen im Feuer und beim Anspritzen erheblich über 1000 kg mittlerer Material-Beanspruchung auch dann noch aushalten können, wenn sie auf der einen Seite glühen, wenn sie ferner durch die Last, wie dies in der Praxis nicht zu vermeiden ist, sogar etwas excentrisch beansprucht sind, wenn nur der Querschnitt genügendes Trägheits-Moment besitzt und Gelenk-Konstruktionen vermieden werden.

Die Versuche des Herrn Professor Bauschinger besitzen aber den großen Werth, erwiesen zu haben, daß Schmiedestützen nicht nach der Formel von Schwarz oder Laissle und Schübler unter Zugrundelegung des kleinen Koeffizienten  $K = 0,00009$  berechnet werden dürfen, falls dieselben auch im Feuer ihre Last noch tragen sollen.

Der Koeffizient  $K$  ist auf 0,0004 zu erhöhen, wie dies zuerst von mir im Zentralblatt der Bau-Verwaltung No. 17, Jahrg. 1886 ausgesprochen ist. Setzt man alsdann für  $S$  in die bezügliche Formel den Werth 1000 bis 1200 kg, dann ergibt sich immerhin für die schmiedeiserne Stütze noch Sicherheit gegen Zerknicken bei einseitiger Erwärmung.

$$P = 1000^* F \cdot \frac{1}{1 + 0,0004 \cdot \frac{l^2 \cdot F'}{J}}$$

In der Formel ist  $l$  die freie Länge zwischen den Gelenken. Fehlen Gelenke, so daß die Auflagerung als zwischen parallelen Flächen erfolgend angesehen werden kann, dann ist für  $l$  in die Formel  $\frac{2}{3}$  des Zahlenausdruckes der wirklich vorhandenen freien Länge zu setzen und zwar nur  $\frac{2}{3}$  und nicht  $\frac{1}{2}$ , weil eine vollkommene Einspannung doch nicht erreicht wird. Die Stütze biegt sich alsdann nach einer doppelt geschwungenen Linie durch, (vergl. Prot. II, S. 12), wobei die Durchbiegung reduziert wird, gegenüber einer Einspannung zwischen Gelenken, und wobei ferner sich die Lage der resultirenden Druckkraft zu Gunsten der Tragkraft nach der konvexen Seite der Stütze verlegt.

Durch die angestellten Versuche ist nur die eine Eigenschaft, die Druckfestigkeit der Einzelstütze untersucht worden. Zusammengesetzte Konstruktionen sind aber verschiedenartigen Kraftwirkungen unterworfen, wie dies in Abhandlung I besprochen ist. Dieselben Stützen, wie sie in den Versuchen unter gleichen Verhältnissen geprüft worden sind, können in Bauwerken sich ganz verschieden verhalten, je nachdem sie aus weichem oder sprödem Material bestehen, je nachdem sie eingespannt sind, oder nicht, und je nachdem sie central oder excentrisch belastet sind. Zwar läßt sich wohl aus den Versuchen erkennen, daß beide Materialien, sowohl Guß- als Schmiedeisen für Bauzwecke sehr wohl verwendbar sind, jedoch kann nur durch die Beachtung aller in Frage kommenden Momente im Spezialfall entschieden werden, welches Material für einen gerade vorliegenden Bau zu empfehlen sei.

Hamburg, den 27. Dezember 1886.

M. Möller.

### 3. Einige Bemerkungen über die gußeisernen Säulen.

1) Die gußeisernen Säulen, welche für die Versuche in meiner Gießerei angefertigt sind, bestehen aus demselben Eisen, welches ich stets für derartige Gußstücke verwende. Die Säulen sind sämtlich liegend und in nassen Formen gegossen; es sind nicht etwa besonders ausgesuchte Stücke genommen worden, sondern solche, wie sie sich bei gewöhnlichem Betriebe und bei Aufwendung der gewöhnlichen Aufmerksamkeit ergeben.

2) Die Bruchflächen der Säulen zeigen wiederholt blasige Stellen, zu deren Erklärung hier zu bemerken ist, daß dieselben sich stets in der Nähe der Kernstützen bemerkbar gemacht haben, wo das flüssige Gußeisen, wenn es die schmiedeiserne Stütze berührt, abschreckt, in unruhige Bewegung geräth und in Folge dessen nach dem Erkalten eingeschlossene Lufttheile in Form von Blasen zurückbleiben.

\*) 1000 bis 1200.

3) Im Gegensatze zu den Erfahrungen, welche Herr Prof. Bauschinger bei seinen ersten Versuchen machte, sind bei unseren Säulen nach dem Anspritzen keine Risse aufgetreten, während wir ohne Zweifel mindestens ebenso hohe Wärmegrade angewendet haben. Die Erklärung dieser Thatsache ist meines Erachtens nur darin zu suchen, daß Herr Bauschinger zu den genannten Versuchen im Wesentlichen ausgeschossene Exemplare verwendete, und zwar erwähnt derselbe bei mehreren Säulen ausdrücklich, daß sie Kaltgußstellen gehabt hätten. Wenn nun auch die Risse sich nicht immer an den als Kaltguß bezeichneten Stellen eingestellt haben, so ist doch anzunehmen, daß die durchgängige Kaltgüßigkeit der Säulen die wahrscheinliche Ursache der Risse gewesen ist. Denn es kann kaum einem Zweifel unterliegen, daß die Gußstücke aus einem matten, nicht sehr dünnflüssigen Eisen hergestellt sein müssen.

Im Gegensatze dazu sind unsere Säulen von einem gut durchgeschmolzenen Eisen gegossen und eine Kaltgußstelle findet sich nirgends. Es ergibt sich aber als selbstverständlich, daß aus solchem Eisen hergestellte Säulen eine weit größere Festigkeit besitzen müssen und bei plötzlicher Abkühlung sich weit widerstandsfähiger erweisen werden, als Säulen, welche Kaltgußstellen zeigen. Für diese Ansicht spricht auch der Umstand, daß die Säulen der zweiten Versuchsreihe des Herrn Prof. Bauschinger, welche keine Ausschufsstücke waren, sondern vielmehr eigens für die Versuche angefertigt wurden und bei denen keine Kaltgußstellen erwähnt werden, nach dem Anspritzen keine Risse gezeigt haben.

Aus Vorstehendem folgt die Regel: „Säulen mit Kaltgußstellen jedenfalls nicht zu verwenden.“

Uebrigens bin ich nicht etwa der Meinung, daß gut gegossene Säulen nicht ebenfalls beim Anspritzen Risse und Sprünge bekommen könnten. Nur werden solche erst viel später auftreten, d. h. wenn die Säulen hellroth resp. weißglühend geworden sind, so daß sich ihre Temperatur dem Schmelzpunkte nähert. Ist aber bei einem Brande die Temperatur erst so hoch gestiegen, dann ist bei dem betreffenden Gebäude überhaupt nichts mehr zu retten und von einem Verbleiben von Menschen in demselben selbstverständlich nicht mehr die Rede. — Nach dem im letzten Winter stattgehabten Brande eines hiesigen Speichers, welcher vollständig zerstört wurde und in welchem gußeiserne Säulen standen, zeigten sich letztere durchweg angeschmolzen und zwar so stark, daß bei einer Säule das Kapital herabgefallen war und in dem darunter befindlichen Schaft eingeschmolzen erschien, wobei von letzterem ein ca. 60 cm langes Stück gänzlich fortgeschmolzen war. Von diesen Säulen waren selbstverständlich auch einige gesprungen.

Hamburg, den 28. Dezember 1886.

R. Lühmann.

#### 4. Wiederholung resp. Zusammenstellung der auf die im Abschnitt I 2 niedergeschriebenen Fragen zu gebenden Antworten.

Ad 1) Rothglühend gewordene Gußstützen von gutem Guß können unter Umständen mit kaltem Wasser angespritzt werden ohne Sprünge und Risse zu bekommen.

Da bei den diesseits angestellten Versuchen, bei welchen die Temperatur so hoch gesteigert wurde, daß die Gußsäule im Freien bei Tageslicht schwach rothglühend erschien, sich nach dem Anspritzen keine Risse zeigten, so sind diesseits Hypothesen darüber aufgestellt worden, unter welchen Umständen das Springen des Gußeisens wohl erfolgen möge. (Vergl. III 3.)

Die Gußeisen-Stützen hielten eine hohe Beanspruchung aus, welche im Feuer nach demselben Verhältniß höher war, als bei den erhitzten Schmiedestützen, wie sich dieses auch für den kalten Zustand ergeben hat. Steife Stützen hielten, aus Gußeisen hergestellt, etwa  $\frac{2}{3}$  mal so viel als gleiche Schmiedestützen, während bei schlanken Stützen ( $L/D < 20$ ) Guß- und Schmiedeisen im kalten Zustande angenähert gleich viel trug, und im warmem Zustande das Schmiedeisen auch für diese Stützen etwas weniger zu tragen vermochte. (Vergl. Tabelle 1, Anlage 4.)

Die Zerstörung der Guß- und Schmiedestützen im Feuer geschah stets in Folge eintretender Verbiegung und daraus sich ergebender zu großer Kantenpressungen resp. Zugspannungen. Die Verbiegung geschah bei kurzen Stützen ( $L/D = 8$ ) im warmen Zustande in Folge Zusammenpressung des erwärmten und also weich gewordenen Eisens, so daß die Stützen sich von dem Feuer weg wendeten. Bei Einspannung der Stütze zwischen parallelen Flächen wiederholte sich dies bei längeren Stützen ( $L = 2 \text{ m}$ ;  $L/D = 13$ ). Alle schlanken Stützen bogen sich gegen das Feuer hin durch, weil bei diesen die Temperatur-Ausdehnung für die Verbiegung maßgebend wurde.

Diese Beobachtung wiederholte sich für die Guß- und Schmiede-Stützen in gleicher Weise. Die Größe der Durchbiegung war bei dem Schmiedeisen im Anfang der Pressung geringer als bei dem Gußeisen. In der Nähe der Maximaltragfähigkeit wuchs die Durchbiegung bei beiden Materialien schnell, bei dem Schmiedeisen aber erheblich schneller als bei dem Gußeisen; letzteres brach alsdann, während das Schmiedeisen verbogen, aber ungebrochen aus dem Apparat genommen wurde.

Die Zeitdauer bis zum Erglühen war für Schmiedeisen um ein Geringes kürzer als für Gußeisen. Die massiven Stäbe wurden fast ebenso schnell warm, als die hohlen Rohre.

Ad 2) Von den zur Bestimmung der Knickfestigkeit gedrückter Baukonstruktionsteile gebräuchlichen Formeln von Schwarz resp. Laissle und Schübler und von Euler ist nur die erstere von Sch. resp. L. und Sch. für die Berechnung von Baukonstruktionsstücken verwendbar; diese Formel ergibt unter Anwendung sogenannter fünffacher Sicherheit für Gußstützen Lasten, welche auch im Feuer etwa getragen werden können, jedoch empfiehlt es sich, den Koeffizienten  $K = 0,00023$  auf  $K = 0,0004$  zu erhöhen, weil sonst sehr schlanke Stützen doch etwas überlastet werden. Für Schmiedestützen ist die Anwendung des gebräuchlichen Koeffizienten  $K = 0,00009$  nicht zu empfehlen, weil nach diesem Koeffizienten berechnete schlanke Schmiedestützen im Feuer selbst bei Anwendung fünffacher Sicherheit überlastet erscheinen.

Ad 3) Die Schwarz'sche Formel resp. die von Laissle und Schübler giebt allemal zu hohe Bruchbelastungen an, wie sie den praktischen Verhältnissen nicht entsprechen. (Vergl. Tabelle 1, Anlage 4). Ein Gußrohr, welches nach der Formel erst bei 383 t zerstört werden soll, bricht schon bei 195,7 t etc. Daher besitzt eine nach der Formel

von L. und Sch. auf fünffache Sicherheit konstruirte Stütze nur etwa  $3\frac{1}{3}$ fache Sicherheit; denn es muß zugegeben werden, daß geringe excentrische Beanspruchungen, wie für die Versuche angewendet wurden, auch in der Praxis stets vorkommen werden.

Im Uebrigen folgen die Rechnungswerthe aus der Formel von Laissle und Schübler der Wirklichkeit ziemlich genau. Wo z. B. Gufseisen mehr hält als Schmiedeisen (steife Versuchsstücke), da ergiebt dies auch die Formel, wo aber Schmiedeisen mehr hält (schlanke Stützen), da ergeben auch die Resultate der Formel entsprechende Werthe. Und gerade daher sind bei den Versuchen von Herrn Professor Bauschinger die schlanken Schmiedestützen überlastet worden, weil diese den Versuchen zu Grunde gelegte, im kalten Zustande höhere Tragfähigkeit schlanker Schmiedestützen sich im Feuer verliert und in diesem Zustande die Schmiedestütze auch wieder, wie gewöhnlich, etwas weniger trägt, als die gleich schlanke Gufsstütze kongruenter Form.

Die Eulersche Formel, welche auf die Material-Festigkeit und auf Anfangs-Excentricität keine Rücksicht nimmt, ist für Baukonstruktionszwecke nicht wohl zu gebrauchen; sie paßt nur für ganz schlanke Stäbe, deren Verhältniß  $L/D$  größer ist als 1:50. Die Euler'sche Formel giebt daher keinen Anhalt, bei welcher Belastung eine Säule in Praxis wohl durch Druck zerstört werde.

Beispiel: Tabelle 1 — Gufsrohr  $150/120$  mm Durchmesser von 2,28 m freier Länge wird im kalten Zustande bei 166,8 t zerstört, die Eulersche Formel sagt 280 t. Die kongruente Schmiedestütze wird bei 103,2 t zerstört, die Eulersche Formel sagt, bei 560 t trete erst die Gefahr auf Zerknicken ein. Die Resultate der Eulerschen Formel sind also für die Stützen gebräuchlichster Form für Schmied- und Gufseisen einander gerade entgegengesetzt. Nach der Eulerschen Formel zerknickt das Schmiedeisen nur halb so leicht, in Wirklichkeit zerknickt es bei geringer excentrischer Inanspruchnahme erheblich leichter als eine kongruente Gufsstütze. (Vergl. Anlage 1, Wochenschrift für Baukunde No. 91, unten.)

Nach obigen Erfahrungen werden die diesseits Abh. I abgeleiteten und im Protokoll No. II, Seite 21 und Seite 27 näher bezeichneten Formeln zur Berechnung der Bruchlast einer Stütze empfohlen.

Ad 4) Gufs- und Schmiede-Stützen lassen sich gegen Feuersgefahr, soweit die Tragfähigkeit bei gesundem Material in Frage kommt, gleich sicher konstruiren. Verwendet man bei Berechnungen von Gufsstützen einen höheren Sicherheits-Koeffizienten, als bei Schmiedestützen, weil eventuell größere Materialfehler sich bei der Ausführung ergeben möchten, dann werden alle jene Gufs-Stützen im Feuer tragfähiger bleiben, bei welchen die befürchteten Materialfehler sich nicht eingestellt haben.

Ad 5) Gufseisenstützen in Stockwerksbauten werden bezüglich Berechnung der Tragfähigkeit im Feuer häufig nicht als eingespannte Stützen zu berechnen sein, während Schmiedestützen, sobald sie so zu sagen einem Mastbaume gleich als geschlossener Konstruktionstheil durch das ganze Gebäude bis oben hinauf reichen, wie eingespannt wirken und als solche im Feuer eventuell mehr tragen werden, als Gufsstützen von gleichem Konstruktionsverhältniß.

Ad 6) Durch Ummantelung der Stützen kann man die schädliche Wirkung des Feuers mehrere Stunden hindurch aufhalten. Vergl. Tabelle II u. III u. Bl. 3 Anlage 1.

Ad 7) Vergl. S. 31 der Abhandlungen über die passende Form der Gufsstütze. Ueber die Schmiedestütze Anlage 2 Centralblatt der Bauverw. No. 162 und Abh. II über die Nietstütze und deren thunlichst dichte Wandungen.

Ad 8) Siehe Anlage 4 Tabellen II u. III.

Die Stützen aus bestem Klinkermauerwerk leiden im Feuer so gut wie gar nicht. Sandstein und Granit zersplittert, Granit zerfällt, der Glühhitze ausgesetzt, in Stücke, welche man zwischen den Fingern zerreiben kann; überhaupt leidet der Granit noch etwas mehr als der Sandstein.

Das Feuer dringt in 40 Minuten 10 cm tief in den natürlichen Stein ein, diesen daselbst ganz zerstörend. Siehe Protokoll II S. 9.

Ad 9) Stützen aus natürlichem Stein verlieren die Festigkeit in dem Maaße langsam, wie die Hitze in den Stein eindringt. Die Steine werden pro Stunde, von der Oberfläche gemessen, etwa um eine Schicht von 15 cm Stärke zerstört.

Gufs- und Schmiedestützen verlieren bei der einseitigen Rothglut etwa  $\frac{1}{2}$  der Festigkeit, die sie im kalten Zustande aufweisen. Schlanke Stützen verlieren mehr als die Hälfte, auch einzelne kürzere Stützen verloren etwas mehr als die Hälfte, an Tragkraft im Feuer. Dieses Verhältniß, in Abhandl. I, „n“ genannt, ist bei Schmiede- und Gufseisen ziemlich das gleiche, nur bei sehr schlanken Schmiedestützen wächst der Verlust an Tragfähigkeit mit der Schlankheit der Stütze, vergleiche Darstellung der Schaulinien.

Ad 11) Die Beantwortung kann nur auf Grund der Formeln Prot. II S. 21 und 27 geschehen.

Ad 12) — fehlt. —

Der Versuch war nicht im kalten Zustande ausführbar, die centrisc eingespante Stütze zerbrach nicht bei 100 Atmosphären Pressung. Im warmen Zustande erschien der Versuch zu gefahrbringend, die Stütze hatte sich nach oben gewendet und würden die Stücke zu weit geflogen sein. Vergl. Prot. II S. 16 unten.

Ad 13) Vergl. Abh. I und Protokoll II S. 21 u. 27 über die vorgeschlagenen Formeln zur Berechnung der Stützen.

Ad 14) Ueber die Tragfähigkeit excentrisch gegossener Stützen siehe Anlage 4, Gufss. von 2,0 m Länge und Protokoll I S. 79 u. 85 u. Prot. I S. 29.

Ad 15) Vergl. Protokoll II S. 13 und Anlage 4 über die Tragfähigkeit verzierter Säulen aus Gufseisen.

Ad 16) Siehe Tabelle II u. III Anlage 4, Holzstützen brennen verhältnißmäßig schnell in jener Hitze, welche Eisen glühend macht, das brennende Holz entwickelt hohe Temperatur und Flammen, trägt also zur Verbreitung des Feuers bei.

Ad 17) Ein auf Druck beanspruchter Körper wird durch Scheerkräfte, resp. durch Zug oder Druckkräfte zerstört.

Mauerwerk erfordert eine sehr sorgfältige Vertheilung der Last und der Auflagerkräfte, sonst entstehen Längsrisse, indem die Ziegel durchbrechen und der Pfeiler in Einzelstützen zerfällt, die gleich darauf nach einander zerstört werden. Siehe Prot. I S. 77 und Prot. II S. 10 u. 18.

Holz darf nicht langrissig sein — vergl. Prot. II S. 5. Das Holz darf ferner nicht überlastet werden, denn die einzelnen Fasern wirken nicht wie ein fester Körper gemeinsam, sondern wie ein Bündel von Stäben. Jede Faser legt sich um und zerknickt bei zu hoher Beanspruchung für sich; vergl. S. 75 u. 76.

Gufseisen darf nicht auf Zug beansprucht sein, muß central belastet werden und ist die Gufsstütze genügend steif zu machen, damit die Biegungs-Spannungen nicht Zug erzeugen. Auf Druck zerstörtes Gufseisen bildet blanke Gleitflächen; vergl. Prot. I S. 28 u. 43.

Schmiedestützen sind ebenfalls genügend steif herzustellen. Das Verhältniß  $L/D \leq 15$  ist zu empfehlen.

Hamburg, den 28. Dezember 1886.

M. Möller.

## ANLAGEN.

### Anlage 1.

#### Frühere Veröffentlichungen.

*Aus dem Centralblatt der Bauverwaltung, Jahrgang 1886 No. 162.*

#### Ueber das Verhalten gufseiserner und schmiedeeiserner Säulen im Feuer.

Die Versuche von Professor Bauschinger über das Verhalten von gufseisernen, schmiedeeisernen und steinernen Säulen im Feuer haben zu Ergebnissen geführt, die eine weitere Erörterung dieses wichtigen Gegenstandes nothwendig machen\*). Es ist durch jene Versuche nämlich gezeigt worden, daß schlanke schmiedeeiserne Stützen unter der Last, welche ihnen nach der Zerknickungsformel

$$P = \beta_0 F \frac{1}{1 + K \cdot \frac{F \cdot l^2}{J}}$$

zugemüthet werden kann, unter Umständen im Feuer zusammenbrechen, sofern man für  $K$  den von Laissle und Schübler empfohlenen empirischen Wert von 0,00009 verwendet. Desgleichen hat sich ergeben, daß die Gefahr der Verbiegung bei den gufseisernen Versuchsstücken eine geringere war, so daß die meisten gufseisernen Versuchsstücke die ihnen nach obiger Formel, aber unter Zugrundelegung des höheren, für Gufseisen bestimmten Werthes von  $K$ , zukommende Last auch im rothglühenden Zustande zu tragen vermochten.

Es ist hieraus der Schluß gezogen, daß das Versagen der schmiedeeisernen Versuchsstücke durch ungünstige Eigenschaften des Schmiedeeisen-Materials bedingt worden sei. Gegen die allgemeine Fassung dieser Schlußfolgerung kann angeführt werden, daß sich sehr wohl steife schmiedeeiserne Stützen herstellen lassen, welche

\*) Vergl. Centralblatt der Bauverwaltung, 1885, Seite 371.

sich im Feuer nicht so stark durchbiegen, wie die sehr schlanken Versuchsstücke, und daß solche Säulen selbst bei zweifach höherer mittlerer Druck-Beanspruchung, als die Versuchsstücke erlitten haben, und bei einseitiger Erwärmung bis zu etwa 600° Celsius und nachfolgendem Anspritzen noch tragfähig bleiben. Es ist eben mit den drei angestellten Versuchen die Frage nach dem Verhalten der schmiedeeisernen Stützen durchaus nicht gelöst. Es handelt sich nämlich nicht allein um die Materialfrage, sondern auch um die Aufsuchung der besten Form und Herstellungsweise.

Wie schon erwähnt, sind die Säulen von Professor Bauschinger mit einer Last beansprucht, welche nach der Formel

$$P = \mathfrak{S} \beta_0 F \frac{1}{1 + K \cdot \frac{F \cdot l^2}{J}}$$

berechnet worden ist.

In dieser Formel ist  $\mathfrak{S}$  der Sicherheits-Koeffizient und gleich  $\frac{1}{5}$  gesetzt;  $\beta_0$  ist die Beanspruchung f. d. qcm, bei welcher das Material durch Druck zerstört wird, und zwar ist für Gufseisen  $\beta_0 = 7000$  kg, für Schmiedeeisen  $\beta_0 = 4000$  kg gesetzt.  $F$  ist die Querschnittsfläche in qcm,  $J$  das Trägheits-Moment in  $\text{cm}^4$ ,  $l$  ist die freie Säulenlänge vom Fuß bis zum Kopf in cm.  $K$  ist ein aus Versuchen bestimmter Koeffizient, welcher für Gufseisen durch Professor Bauschinger in früheren Jahren zu 0,0006, für Schmiedeeisen von Laissle und Schübler zu 0,00009 angegeben worden ist, letzteres unter der Annahme, daß die Last bei der Schmiedeeisen-Stütze fast genau centrisch wirkt.

Dieser Erfahrungswert  $K$  ist etwas willkürlich für Gufseisen fast 7mal so groß gewählt als für Schmiedeeisen, derselbe ist für Gufseisen wohl zu groß, für Schmiedeeisen zu klein angenommen. Andererseits ist aber der Ausdruck  $\mathfrak{S} \beta_0$ , welcher den höchsten erlaubten Werth der Kantenspannung ausdrückt, für Gufseisen mit  $\frac{1}{5} \cdot 7000$  gleich 1400 kg für den qcm zu hoch angenommen; denn wenn auch Gufseisen oft erst bei 7000 Druck f. d. qcm zerstört wird, so kommen doch in größeren Gufsstücken Unregelmäßigkeiten und Gufsspannungen vor, welche es wünschenswerth machen, mit der Maximalkantenspannung nicht über 700 kg zu gehen.

Der Verfasser dieser Zeilen hat das Verhalten der einzelnen Versuchsstücke, welche Professor Bauschinger zur Verfügung gestanden haben, näher untersucht und dabei gefunden, daß durch Anwendung der üblichen Formel die Schmiedestützen, gegenüber den geprüften Gufssäulen, überlastet worden sind. Beispielsweise sind diejenigen Gufssäulen, deren freie Länge vom Fuß bis zum Kopf  $26\frac{1}{2}$ mal den Durchmesser übertraf, nur mit durchschnittlich 237 kg f. d. qcm belastet worden, während die Schmiedeeisenstütze von gleichem Verhältniß des Durchmessers zur freien Länge durchschnittlich mit 532 kg f. d. qcm angestrengt worden ist.

Durch die einseitige Erwärmung verlängerte sich die dem Feuer zugekehrte Seite der Säule besonders stark und bog sich daher die Stütze gegen das Feuer hin. Infolge dieser Durchbiegung wirkte die Druckkraft nicht mehr centrisch und vertheilte sich dieselbe nun nicht gleichmäßig über den Säulenquerschnitt, sondern es nahm die Kantenspannung auf der inneren, hohlen, kälteren Seite der Stütze sehr bedeutend zu, während auf der dem Feuer zugekehrten Seite Zugspannungen auftreten mußten. Durch

Rechnung läßt sich erweisen, daß die größte Druckspannung bei der oben erwähnten Gußsäule etwa auf 700, bei jener Schmiedestütze, deren Verhältniß  $D/L$  auch  $\frac{1}{26\frac{1}{2}}$  betragen hat, etwa auf 1500 kg, und später sogar auf 2000 kg angewachsen sein muß. Wenn nun unter so ungünstigen Verhältnissen die Schmiedeeisenstütze im Feuer zerstört worden ist, während die Gußeisensäulen zum Theil standfest blieben, so darf aus diesen Ergebnissen doch nicht gefolgert werden, daß das Schmiedeeisen überhaupt als Säulenmaterial untauglich sei. Vielmehr liegt es auf der Hand, daß man nur für die Verhältnißzahl  $K$  entsprechende Werthe anzunehmen braucht, um Formeln zu erhalten, aus welchen sich die Abmessungen der Säulen von gleicher Feuersicherheit für Schmiedeeisen und Gußeisen berechnen lassen. Um derartige Werthe für  $K$  zu finden, wurde von der Voraussetzung ausgegangen, daß Schmiedeeisen eine Kantenspannung  $S$  von 1000 kg im Zustande einseitiger Erwärmung auf der kühleren Seite auszuhalten vermöge. Die seitliche Durchbiegung wurde für einen Temperatur-Unterschied von  $600^{\circ}$  Cels. der einen gegenüber der andern Seite der Säule berechnet, es ist sodann ermittelt, um wie viel diese Durchbiegung sich noch durch den Gegensatz der Kantenpressungen erhöht. Bei dieser Ableitung ist der Elastizitätsmodul mit  $\frac{2}{3}$  desjenigen Werthes in Rechnung gezogen, welcher für den kalten Zustand ermittelt worden ist. Da dem Verfasser nicht die Mittel zu Gebote stehen, den genauen Werth des Elastizitätsmodul für den warmen Zustand und die zulässige Beanspruchung des Materials durch Versuche zu bestimmen, so ist zwar das gewonnene Ergebnis nicht genau richtig, doch dürften die gefundenen Beziehungen immerhin der Wahrheit schon nahe kommen. Auf diesem Wege hat sich ergeben, daß Schmiedeeisenstützen im Stande sind, im Feuer bis zu schwacher Rothgluthitze und selbst bei stattfindendem einseitigen Anspritzen mit Sicherheit die Last  $P$  zu tragen, welche sich aus der Formel

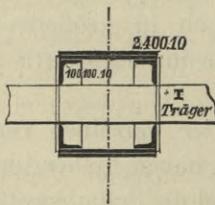


Fig. 16.

$$P = S \cdot F \cdot \frac{1}{1 + K \cdot \frac{l^2 \cdot F}{J}}$$

berechnet, sofern gesetzt wird

$$S = 1000 \text{ kg f. d. qcm}$$

$$K = 0,0004 \text{ bei } \frac{L}{D} \leq 8$$

$$K = 0,00045 \text{ bei } \frac{L}{D} = 8 \text{ bis } 20.$$

Als Beispiel sei erwähnt, daß das Versuchsstück No. 12 von Professor Bauschinger mit 10 Tonnen belastet worden ist, während die Last nach obiger Formel nur etwa  $4,5$  Tonnen hätte betragen dürfen, falls bei einseitiger Erwärmung die Kantenspannung den Werth 1000 kg nicht überschreiten sollte. Bei  $4,5$  Tonnen Last ist im Mittel der Querschnitt nur mit 200 kg f. d. qcm angestrengt. Mehr darf man der sehr schlanken Stütze mit dem Längen-Verhältniß  $\frac{L}{D} = 31$  nicht zumuthen. Die Anwendung der obigen Formel bedingt aber keineswegs an und für sich eine Materialverschwendung, sie ergibt vielmehr für günstige Säulen-Querschnitte hohe mittlere

Beanspruchungen, also eine gute Ausnutzung des Materials. Es kann z. B. eine Stütze des hier neben abgebildeten Querschnitts, wie sie bei Speicherbauten in Hamburg Verwendung findet, bei einseitiger Erwärmung bis zu schwacher Rothgluth noch 200 000 kg tragen. Die Kantenspannung wächst dabei nur auf 1000 kg auf der kühleren Seite, obwohl im Mittel der ganze Querschnitt mit 850 kg f. d. qcm beansprucht ist. Hier findet das Material also eine vierfach bessere Verwerthung als in dem schlanken Rohr, welches für Bauschingers Versuch Nr. 12 gedient hat. Schlanke Stützen, z. B. mit kreuzförmigem Querschnitt, wie Fig. 17 zeigt, sind dagegen zu vermeiden, wo man feuersicher und doch billig konstruiren will.

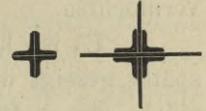


Fig. 17.

Aus Obigem erhellt, daß die Stütze aus Schmiedeeisen an Tragfähigkeit der Gufseisenstütze im Zustande einseitiger Erwärmung nicht nachsteht, sobald erstere nur hinlänglich steif konstruirt wird.

Hamburg, im Januar 1886.

M. Möller  
Regierungs-Baumeister.

*Aus der Deutschen Bauzeitung, Jahrgang 1886 No. 53 u. 55.*

### Zur Frage des Verhaltens gufseiserner und schmiedeeiserner Stützen bei Feuersbrünsten.

Die Versuche von Professor Bauschinger über das Verhalten von gufseisernen und schmiedeeisernen Stützen im Feuer, welche gleichzeitig mit der Untersuchung massiver Pfeiler angestellt wurden, beleuchten das Verhalten von Stütz-Konstruktionen für den Zustand einseitiger Erwärmung.

Es ist so schwierig, ein klares Gebild aller Gefahren zu gewinnen, welchen Eisen-Konstruktionen im Feuer ausgesetzt sind, daß sowohl diese Versuche, wie die vielfachen Mittheilungen der Fachblätter über besondere Vorkommnisse, wie sie sich bei Feuersbrünsten ereignet haben, mit großem Dank aufzunehmen sind. Im Besonderen ist die eingehende Weise von Bedeutung, in welcher die Veröffentlichung der angestellten Versuche in den Mittheilungen aus dem mechanischen Laboratorium der technischen Hochschule in München (Januar 1885) stattgefunden hat. Der Leser wird so genau in die Sache eingeführt, als habe er den Versuchen selbst beigewohnt und ist nun im Stande, die Tragweite der gewonnenen Erfahrungen zu prüfen, um zu erkennen, wie sich wohl Stützen-Konstruktionen im Feuer bewähren werden, welche ganz andere Durchbildungsverhältnisse aufweisen, als die gegebenen Versuchsstücke.

Es ist durch die Versuche gezeigt worden, daß schlanke schmiedeeiserne Stützen unter der Last, welche ihnen nach der bekannten Zerknickungsformel

$$P = \gamma \beta_0 F \frac{1}{1 + \frac{K F l^2}{J}}$$

zugemuthet werden kann, unter Umständen im Feuer zusammenbrechen, sobald man für  $K$  den von Laissle und Schübler empfohlenen Werth 0,00009 verwendet. Des-

gleichen hat sich ergeben, daß die Gefahr der Verbiegung bei den gußeisernen Versuchsstücken eine geringere war und darnach die meisten gußeisernen Versuchsstücke die ihnen nach obiger Formel, aber unter Zugrundelegung eines für Gußeisen höheren Koeffizienten  $K$ , zuzumuthende Last auch im rothglühenden Zustande zu tragen vermochten.

Es ist hieraus der Schluß gezogen worden, daß das ungünstige, bezw. wie später gezeigt wird, nur scheinbar ungünstige Verhalten der schmiedeisernen Versuchsstücke durch Mängel des Schmiedeisenmaterials bedingt worden sei. Professor Bauschinger drückte sich S. 18 und 19 der Veröffentlichung, wie folgt ganz allgemein aus:

„Ich schließe aus den Versuchen, daß schmiedeiserne Säulen sich selbst unter der günstigsten Einspann- oder Befestigungsweise ihrer Enden theilweise schon bei nicht ganz erreichten  $600^{\circ}$ , jedenfalls aber bei geringster Glühhitze unter ihrer Last nach dem Feuer zu unaufhaltsam durchbiegen, welche Bewegung durch Anspritzen von der Gegenseite her noch unterstützt und beschleunigt wird, selbst dann, wenn nur die Enden der Säule vom Wasserstrahl getroffen werden. — Die auf ihnen ruhenden Konstruktionen müssen zusammenstürzen.

Unter gleichen Umständen betr. der Einspannung biegen sich die gußeisernen Säulen zwar auch gegen das Feuer hin durch, und diese Durchbiegung wird durch nachfolgendes Anspritzen auch vergrößert; aber sie überschreitet doch eine gewisse Grenze auch dann nicht, wenn die Säule der ganzen Länge nach geglüht hat und der Wasserstrahl auch zeitweise auf die Mitte der Säule gerichtet wird, und die Säule hört nie auf, die ihr auferlegte Last zu tragen, selbst dann nicht, wenn sie in Folge des Anspritzens Risse, oft sehr bedeutende Risse erhalten hat. Während des Abkühlens, noch während des Anspritzens, richtet sie sich wieder vollständig oder nahezu gerade. — Nur wenn beide Enden einer gußeisernen Säule ganz frei (in Kugellagern beweglich) sind und beim Spritzen auf die der ganzen Länge nach glühende Säule der Wasserstrahl energisch gegen deren Mitte gerichtet wird, biegen sie sich so weit durch, daß sie brechen.“

Gegen die allgemeine Fassung dieses Schlußwortes dürfte angeführt werden, daß sehr wohl steife Schmiedeisen-Stützen konstruirt werden können, welche sich im Feuer nicht so stark durchbiegen, wie die (sehr schlanken) Versuchsstücke, und daß solche Säulen selbst bei 2fach höherer mittlerer Beanspruchung pro qcm, als die Versuchsstücke erlitten, bei einseitiger Erwärmung bis zu etwa  $600^{\circ}$  Celsius und nachfolgendem Anspritzen noch tragfähig bleiben. Es ist eben mit den 3 angestellten Versuchen die Frage nach dem Verhalten der schmiedeisernen Stütze durchaus nicht abgeschlossen. Es handelt sich nämlich nicht allein um die Materialfrage, sondern auch um die Aufsuchung der besten Konstruktionsweise.

Die Versuchssäulen waren mit einer Last beansprucht, welche nach der oben angeführten Zerknickungsformel berechnet war. In dieser Formel wird  $\gamma$  der Sicherheits-Koeffiz. benannt und zu  $\frac{1}{5}$  angesetzt,  $\beta_0$  die Beanspruchung für 1 qcm, bei welcher das Material durch Druck zerstört wird. Und zwar ist für Gußeisen  $\beta_0 = 7000$  kg, für Schmiedeisen  $\beta_0 = 4000$  kg gesetzt.

$F$  ist die Querschnittfläche in qcm,  $J$  das Trägheitsmom. (cm),  $l$  ist die freie Säulenlänge vom Fuß bis zum Kopf in cm.  $K$  ist ein empirisch bestimmter Koeffizient, welcher für Gufseisen durch Professor Bauschinger in früheren Jahren zu 0,0006, für Schmiedeisen von Laissle und Schübler zu 0,00009 angegeben worden ist, letzteres unter der Annahme, daß die Last bei der Schmiedeisenstütze fast genau centrisch wirkt.

Dieser empirische Werth  $K$  ist, etwas willkürlich, für Gufseisen fast 7 mal so groß gewählt als für Schmiedeisen; derselbe ist, wie gezeigt werden soll, bei dem Gufseisen wohl zu groß, bei dem Schmiedeisen zu klein. Dagegen ist der Ausdruck  $\gamma\beta_0$ , welcher für Gufseisen  $\frac{1}{5} 7000 = 1400$  beträgt, und die erlaubte Maximal-Kantenspannung für 1 qcm Querschnittfläche ausdrücken soll, aber auch zu groß. Denn obwohl Gufseisen oft erst bei 7000 kg/qcm Druck zerstört werden kann, so kommen in größeren Gufsstücken doch allerlei Unregelmäßigkeiten und Anfangsspannungen vor, welche es wünschenswerth machen, mit der Maximal-Kantenspannung nicht über 700 kg zu gehen. Es ist dann auch nur scheinbar die große Kantenspannung von 1400 kg nach obiger Formel zugelassen worden, weil die Wirkung des großen Divisors  $K$  in Wirklichkeit den Werth 1400 auf ein kleineres Maß herab gezogen hat.  $K$  ist in der That etwa  $1\frac{1}{2}$  bis 2 mal so groß gewählt, als nothwendig sein würde, wenn 1400 kg Kantenspannung zugelassen werden sollte, und es liegt daher bei der Gufssäule in der Wahl von  $K$  ein fernerer Sicherheitskoeffiz., so daß schließlich die nach obiger Formel berechneten Gufssäulen nicht mit 5 facher, sondern je nach dem Zahlenwerth des Ausdrucks  $K \frac{Fl^2}{J}$  mit 10 bis 20 facher Sicherheit für den kalten Zustand konstruirt sind. Es ist daher nicht zu verwundern, daß die Säulen im Feuer, wo zwar in Folge der Durchbiegung die Kantenspannung erheblich stieg und die zulässige Maximalbeanspruchung pro qcm sehr herabging, dennoch mit einiger Sicherheit ihre Last getragen haben. Hierbei ist die Kantenspannung als Summe der mittlern Querschnitts-Beanspruchung und derjenigen Biegungsspannung gedacht, welche durch die excentrische Kraftwirkung hervorgerufen wird.  $S = \frac{K}{F} + \frac{Kz}{J/a}$ . In dieser Formel ist  $S$  die Kantenspannung,  $K$  die Last,  $z$  die Exzentricität der Kraftwirkung,  $J$  das Trägheitsmom.,  $J/a$  das Widerstandsmom.,  $F$  die Querschnittsfl. und  $Kz$  das Angriffs- bzw. Biegemoment der excentrischen Kraftwirkung.

Die kürzeren Gufssäulen (vergl. Versuch 8), deren Längen etwa = dem 20fachen Säulendurchmesser waren, sind in den Versuchen im Mittel mit etwa 405 kg/qcm beansprucht worden. Diese Säulen haben sich im Feuer wenig verbogen, da die Durchbiegung, wie hernach gezeigt wird, in umgekehrtem Verhältniß zum Durchmesser steht, dagegen im Quadrat der freien Länge zunimmt. Die kurzen Säulen erlitten also bei ihrer geringen Durchbiegung nur kleinere excentrische Beanspruchungen, so daß die Kantenspannungen kaum über 700 kg betragen haben mögen. Es ist übrigens bei Ermittlung der Kantenspannung wohl zu beachten, daß nicht die volle Durchbiegung  $f$  der Exzentricität  $z$  der Kraftwirkung entspricht, sondern nur ein Theil derselben; denn die dem Feuer zugekehrte sich ausdehnende Faser stemmt sich besonders stark gegen die Last (und das Fundament), so daß diese Faser am Auflager mehr Druck aufnimmt

als die kürzere konkave Seite der Stütze. Die Mittellinie der Kraftwirkung verlegt sich also etwas (das Maß sei mit  $v$  bezeichnet) nach derselben Seite, wohin sich die Säule um den Pfeil  $f$  ausbiegt, so daß nur der Unterschied beider Verschiebungen als Größe der Exzentrizität aufgefaßt werden kann.

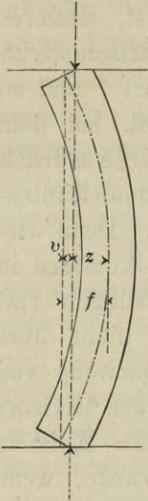


Fig. 18.

Die schlankere Gufssäule von Versuch No. 5 ist im Mittel nur mit 237 kg/qcm des Querschnitts beansprucht worden. Unter Berücksichtigung der oben erwähnten Betrachtungen mag diese Säule wohl auch 700 kg Kantenspannung erlitten haben.

Die schmiedeisernen Versuchsstücke waren schlanker. In Versuch 3 finden wir das Verhältniß  $L/D$  in Richtung der einseitigen Erwärmung, etwa zu 26,5 in Versuch 6 zu 30, in Versuch 12 zu 31. Das schmiedeiserner Versuchstück (Versuch 3) ist im Mittel mit 532 kg/qcm belastet, gegenüber 237 kg bei der Gufssäule, Versuch 5, deren Verhältniß von  $L/D$  auch etwa 26 beträgt. Da nun die Größe der Durchbiegung nur bei gleicher Länge und gleichem Verhältniß  $L/D$  annähernd dieselbe sein kann, so können einzig die Versuche 4 bzw. 5 und 3 einander gegenüber gestellt werden, um die Frage nach den Eigenschaften der Materialien zu beantworten. — Es ergab sich, daß die Gufssäule in Versuch 5 nur 95 mm Durchbiegung erlitt, die Schmiedesäule in Versuch 3 dagegen 138 mm Durchbiegung erreichte. Wenn wir annehmen, daß in Folge der Durchbiegung die Kantenspannung der Gufssäule sich von 237 kg mittlerer Beanspruchung auf 700 kg Kantenspannung steigerte, so müssen wir dementsprechend annehmen, daß im Augenblick gleicher Durchbiegung diese entsprechend der Gufssäule im Querschnitt bemessene Schmiedesäule, Versuch No. 3, auch etwa nach demselben Verhältniß  $\frac{700}{237}$  eine Zunahme der Kantenspannung gegenüber der mittleren Spannung von 532 kg erlitten haben mag, so daß die Kantenspannung auf  $\frac{700}{237} 532 = 1530$  kg angewachsen sein dürfte. Es kann nicht Wunder nehmen, daß die Schmiedesäule einer so hohen Kantenspannung im warmen Zustande sich kaum noch gewachsen zeigt.

Die Durchbiegung nahm aber sogar auf 138 mm zu, ob dies in Folge der schon vorhandenen hohen Kantenspannungen geschehen (vgl. S. 23—25 a. a. O.), oder weil der Säule Fuß- und Kapitell-Ausbildung fehlten, wie solche die Einspannung der Gufssäule begünstigten. Bei der hohen Durchbiegung würde die Kantenspannung der Säule bei voller Belastung 2000 kg/qcm erreicht haben, und die Säule war daher auch nicht mehr im Stande, die volle Last zu tragen.

In gleicher Weise ergibt sich aus Versuch 12, daß das Schmiedematerial im Zustande einseitiger Erwärmung etwa beim Anspritzen 1400 kg/qcm Kantenspannung an der konkaven, kühleren Seite ausgehalten hat und erst bei höherer Beanspruchung unter der Last zusammenknickte.

Das wirkliche Ergebnis der Versuche von Prof. Bauschinger ist also dieses, daß bei Berechnung von Schmiedesäulen nach der gebräuchlichen Formel:

$$P = \gamma \beta_0 F \frac{1}{1 + K \frac{Fl^2}{J}}$$

der empirische Werth  $K$  nicht gemäß den Angaben von Laissle und Schübler zu 0,00009, sondern bedeutend größer gewählt werden muß, sobald die Möglichkeit vorliegt, daß sie der Gefahr des Verbiegens, wie sie z. B. durch einseitige Erhitzung im Feuer veranlaßt wird, ausgesetzt sein können. Denn obiger geringe Werth von  $K$  ist nur anwendbar, wenn exzentrische Kraftwirkungen von Bedeutung ausgeschlossen sind.

Ermittlung des Werthes  $K$  der Formel:

$$P = \gamma \beta_0 F \frac{1}{1 + K \frac{Fl^2}{J}}$$

unter Annahme einseitiger Erwärmung bei Feuersbrünsten.

Stehende Säulen werden im Feuer beiderseitig gleichmäßiger erwärmt, als horizontal über dem Feuerherde eingespannte Versuchsstücke. Es soll aber angenommen werden, daß im Augenblicke des Anspritzens die eine Seite der Säule um  $600^\circ$  kälter sein kann, als die dem Feuer zugekehrte Seite, und dieser ungünstige Zustand soll der Berechnung als Grundlage dienen.

Der Rechnungsgang gestaltet sich wie folgt: Zunächst wird aus den Konstruktionsverhältnissen der Stütze die Durchbiegung abgeleitet unter Annahme des obigen (größten) Temperaturunterschiedes. In zweiter Linie wird die Maximalkanten-Spannung für den Zustand der größten Durchbiegung berechnet, wobei folgende fernere Annahme zu machen ist: Es wurde oben schon erwähnt, daß gleichzeitig mit der Entstehung einer Durchbiegung auch die Mittellinie der Druckkräfte eine Verlegung um das Stück  $v$  nach derselben Seite erfährt, wohin die Durchbiegung  $f$  erfolgt, so daß die Kraftwirkung in einer Entfernung  $(f-v)$  vom Schwerpunkt des Querschnitts diesen Querschnitt schneidet. Der Werth  $f$  ist die Maximaldurchbiegung in der Mitte der freien Säulenhöhe. Die Größe  $v$  wird zwar zuweilen ebenso groß sein wie  $f$ , oder auch nur halb so groß; hier aber soll der größeren Sicherheit halber  $v$  nur zu  $\frac{1}{4} f$  angenommen werden, so daß als Exzentrizität der Kraftwirkung  $\frac{3}{4} f$ , d. i.  $\frac{3}{4}$  der Säulendurchbiegung im Zustande starker einseitiger Erwärmung sich ergibt.

Die Krümmung der Säule nach dem Halb.  $R$  geschieht durch Längenänderung der äußern Säulenfasern; indem die Querschnittsflächen  $AB$  und  $HE$  das Bestreben haben, in normaler Lage zu beiden Begrenzungslinien  $AH$  und  $BE$  zu verharren.

Zieht man  $AF$  parallel zu  $CH E$ , dann stellt  $BF$  die Längenänderung  $\Delta l$  der Säulenseite  $BE$  dar, gegenüber  $AH$  und es ergibt sich die Gleichg.:

$$\frac{R}{l} = \frac{AB}{\Delta l}$$

$$R = \frac{l}{\Delta l} AB.$$

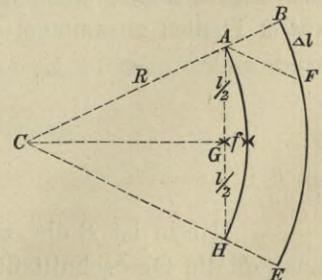


Fig. 19.

Für  $A B$ , die Breite der Säule sei der Buchstabe  $D$ , d. i. bei runden Stützen der äußere Durchm., gesetzt:

$$R = \frac{l}{Al} D.$$

Die Größe  $l/Al$  ergibt sich als konstant, sobald man als Temperaturunterschied einen bestimmten Werth (hier  $600^{\circ} \text{C.}$ ) annimmt.

Bei  $100^{\circ}$  Unterschied beträgt die Ausdehnung für Schmiedeeisen in runder Zahl  $\frac{l}{800}$ , für Gufseisen  $\frac{l}{900}$ . Bei  $600^{\circ}$  ergibt sich ein Längenunterschied  $\frac{6l}{800} = \frac{l}{133}$  für Schmiedeeisen und  $\frac{6l}{900} = \frac{l}{150}$  für Gufseisen.

Da nun  $R = \frac{l}{Al} D$  ist, wie oben gezeigt wurde, so ergibt sich durch Einsetzung der Werthe:  $Al = \frac{l}{133}$  bzw.  $\frac{l}{150}$  der Krümmungshalbm.  $R$  wie folgt:

$$R = 133 D \text{ für Schmiedeeisen}$$

$$R = 150 D \text{ für Gufseisen.}$$

Die Durchbiegung  $f$ , welche Folge der einseitigen Erwärmung ist, berechnet sich für die Mitte der freien Säulenlänge aus dem rechtwinkligen Dreieck  $A C G$  nach folgender Gleichung:

$$R^2 = (R - f)^2 + (l/2)^2, \text{ hiernach } 2 R f = f^2 + (l/2)^2.$$

$f^2$  ist gegenüber  $(l/2)^2$  zu vernachlässigen, so dals:  $f = \frac{(l/2)^2}{2 R}$  zu setzen ist.

Als Größe der Exzentrizität  $z$  soll, wie oben erörtert wurde,  $3/4$  der Durchbiegung  $f$  in Ansatz gebracht werden, d. i.:

$$z = 3/4 \frac{(l/2)^2}{2 \cdot 133 D} \text{ rd. } \frac{l^2}{1400 D} \text{ für Schmiedeeisen,}$$

$$z = 3/4 \frac{(l/2)^2}{2 \cdot 150 D} \text{ rd. } \frac{l^2}{1600 D} \text{ für Gufseisen.}$$

Der Säulenquerschnitt in der Mitte der freien Länge erleidet zwei Beanspruchungen, zunächst Vertikaldruck und sodann eine Biegebungsbeanspruchung durch das Angriffsmoment. (Kraft  $P$  multipliziert mit der Exzentrizität  $z$  der Druckkraft.) In Folge dessen setzt sich die Spannung der am meisten beanspruchten konkaven Faser aus 2 Theilen zusammen, welche sich wie folgt berechnen:

$$S_1 = \frac{P}{F} \text{ und } S_2 = \frac{M}{J/a} = \frac{Pz}{J/a}$$

$$S = S_1 + S_2 = \frac{P}{F} + \frac{Pz}{J/a}.$$

Hierin ist  $S$  die zu berechnende Maximal-Kantenspannung,  $P$  die zu tragende Last,  $F$  die Querschnittsfläche,  $z$  die Exzentrizität der Kraft, d. i. Abstand des Schnittpunktes der Kraft mit der Querschnittsfläche bis zum Schwerpunkt des Querschnitts,

$J$  Trägheitsmom. des Querschn.,  $a$  Abstand der äußeren Faser vom Schwerpunkt hier  $D/2$  zu setzen, da die Breite der Säule, bezw. der äußere Durchm. mit  $D$  bezeichnet wurde und symmetrische Querschnitte vorausgesetzt werden sollen. Wird in vorstehender Formel  $a = D/2$  gesetzt, so hat man:

$$S = P \left( \frac{1}{F} + \frac{z}{2J/D} \right) \text{ und } P = \frac{S}{1/F + \frac{z}{2J/D}}$$

und hiernach für den oben berechneten Werth von  $z$ :

$$P = S F \frac{1}{1 + 0,00036 \frac{l^2 F}{J}} \text{ für Schmiedeeisen,}$$

$$P = S F \frac{1}{1 + 0,00031 \frac{l^2 F}{J}} \text{ für Gufseisen.}$$

In obigen Formeln ist die Maximal-Kantenspannung  $S$  für Gufseisen nicht kleiner zu wählen als der Druckfestigkeit des Materials entspricht, und zwar etwa zu 700 kg f. 1 qcm, da dafs Gufseisen Anfangsspannungen enthält, wenig widerstandsfähig gegen Stöße ist und Ausführungsfehler, z. B. ungleiche Wandstärken vorkommen, so dafs sich bei Zugrundelegung einer Kantenspannung von 700 kg gelegentlich doch eine fast doppelt so hohe Beanspruchung ergeben kann.

Für Schmiedeeisen ist als Maximal-Kantenspannung 1000 kg f. 1 qcm bei Hochbaukonstruktionen empfohlen worden, und da die Versuche von Professor Bauschinger gezeigt haben, dafs Schmiedeeisen im warmen Zustande bis 1300 kg Kantenspannung (und vielleicht noch etwas darüber hinaus) aushalten kann, weil ja die Temperatur beim Anspritzen sinkt und gerade die kältere konkave Seite den Maximaldruck erhält so darf vorläufig, bis andere Erfahrungen vorliegen, 1000 kg Kantenbeanspruchung im Zustande der Verbiegung als zulässig erachtet werden.

Es sei hier erwähnt, dafs Schmiedeeisen-Konstruktionen, welche bei voller Inanspruchnahme 1000 kg Kantenspannung erleiden, mit etwa 2,7 facher Sicherheit, diese Last im kalten Zustande tragen, wenn das Material 3600 kg Bruchfestigkeit besitzt. Die Formänderungen der Konstruktionstheile werden nämlich, wie diesseits gelegentlich von Probe-Belastungen bei Harkort in Duisburg gesehen wurde, alsbald zu groß, weil die Material-Beanspruchung die Elastizitätsgrenze überschreitet. Es treten dann lokal weit höhere Beanspruchungen auf, als im normalen Zustande der Konstruktion sich rechnungsmäßig ergeben.

Für die angenommenen Spannungen von bezw. 1000 kg und 700 kg erhält man:

$$P = 1000 F \frac{1}{1 + 0,00036 \frac{l^2 \cdot F}{J}} \text{ für Schmiedeeisen;}$$

$$P = 700 F \frac{1}{1 + 0,00031 \frac{l^2 \cdot F}{J}} \text{ für Gufseisen.}$$

Soweit Schlusfolgerungen aus den Versuchen von Professor Bauschinger auf anders konstruirte Stützen gewonnen werden können, bzw. ohne erneuerte Versuche als zulässig erachtet werden dürfen, wird folgende Behauptung aufgestellt: Säulen welche im kalten Zustande zunächst zentral belastet sind, und deren Tragvermögen etwa nach dieser Formel, bzw. nach der vervollständigten Formel (s. oben) berechnet ist, werden durch die Last  $P$  bei einseitiger Erwärmung bis reichlich  $600^{\circ}$  C. nicht zerdrückt, da die Kantenspannung den Werth 1000 bzw. 700 im Zustande der Ausbiegung nicht überschreitet.

Soweit nur das Zusammendrücken im Feuer in Frage kommt, werden sich die nach obiger Formel berechneten Gufssäulen besser verhalten, als schmiedeiserne Stützen. Aber dies ist von geringer Bedeutung, denn die nach jener Formel berechneten Schmiedestützen tragen bis zu der Temperaturgrenze, (die hier nur in Frage kommen kann) bei etwa  $600-700^{\circ}$  die ihnen zugemuthete Last ja auch und zwar zu einer Zeit noch, wenn die Gufssäulen zwar nicht zerdrückt, aber in Folge großer Zugspannungen auf der konkaven Seite und durch andere unberechenbare Spannungen mit Sprüngen und Rissen bedeckt und völlig unsicher geworden sind, so dafs selbst nach erfolgter Erkaltung der Gufssäulen der Einsturz eines Gebäudetheiles immer noch befürchtet werden kann, während das Schmiedematerial wiederum Sicherheit bietet.

Es ist ferner zu berücksichtigen, dafs bei Temperaturen über  $600^{\circ}$  schon ein Theil der Last herabgestürzt sein wird und eine Entlastung der Spitze begonnen hat, da so hohe Temperaturen sich nur bei freiem Zutritt der Zugluft entwickeln werden, d. h. also wenn ein Theil der Deckenkonstruktionen zerstört ist. Auf Temperaturen über  $700^{\circ}$  können sich unsere Rechnungen nicht erstrecken, da bei  $1100$  bis  $1200^{\circ}$  C. Gufseisen schon schmilzt und bei  $1300^{\circ}$  Schmiedeeisen unter Funkensprühen verzehrt wird.

Um das Ergebnis der abgeleiteten Formeln zu prüfen, mögen auf einige Säulen der Versuchsreihe des Professors Bauschinger selbst angewendet werden:

Gufssäule, Versuch 5: Aeüßerer Durchm. 14,7 cm, Wandstärke 2,52 cm, freie Länge 400 cm, Querschnittsfl.  $F=96,6$  qcm, Belastung bei dem Versuch 23 t;  $J$  berechnet sich zu rund 1860. Danach ergibt sich

$$P = 700 \cdot 96,6 \frac{1}{1 + 0,00031 \frac{400 \cdot 400 \cdot 96,6}{1860}} = 18,8 \text{ t.}$$

Die in Rede befindliche (schlanke) Gufssäule hätte also nur 18,8 t Belastung erhalten dürfen, wogegen sie 23 t während des Versuchs getragen hat, wobei also die Kantenspannung den erlaubten Werth 700 kg/qcm schon überschritten haben muß.

Weitaus mehr als diese Gufssäulen sind aber die Schmiedeeisenstützen überanstrengt worden. Das Rohr von Versuch 12 hatte: äußeren Durchmesser 12,8 cm, inneren Durchmesser 11,6 cm, Querschnittsfläche  $F=23$  cm,  $J=429$ ,  $L=400$ , und es ist darnach:

$$P = 1000 \cdot 23 \frac{1}{1 + 0,00036 \frac{400 \cdot 400 \cdot 23}{429}} = 5,61 \text{ t.}$$

Die weiterhin folgenden Betrachtungen zeigen, daß hier  $K = 0,00043$  zu wählen ist und daß alsdann die Tragfähigkeit sich zu nur 4,6 t berechnet. Das Schmiedeisen-Rohr hat also unter der Bedingung, daß die Kantenspannung nicht über 1000 kg/qcm hinausgehe, nur 4—5 t Tragkraft gehabt; es sind ihm aber 10 t zugemuthet worden, so daß dasselbe ganz nothwendigerweise der Zerstörung anheimfallen mußte.

Damit die Kantenspannung im Zustande der einseitigen Erwärmung nicht zu groß werde, hätte die mittlere Beanspruchung des Querschnitts bei den in Rede befindlichen schlanken Versuchsstücken auf  $\frac{2}{7}$  bzw. kaum  $\frac{1}{4}$  desjenigen Werthes herabgemindert werden müssen, welcher bei centraler Beanspruchung noch erlaubt ist. Die passende Wahl dieses Verhältnisses ist durch die angemessene, neu abgeleitete Größe des empirischen Faktors  $K$  der Formel gewährleistet.

Säulen für Speicher-Konstruktionen würden nun recht theuer ausfallen, wenn man in ihnen das Schmiedeisen, wie es in vorstehender Rechnung nothwendig war, nur mit 244 kg/qcm belasten wollte. Diese geringe erlaubte Beanspruchung ergibt sich ja aber nur aus der ungünstigen Form der Stütze des Versuchs No. 12, und es können weitaus höhere mittlere Beanspruchungen gestattet werden, wenn man steife Konstruktionen wählt, wie solche bei Speicherbauten angewendet sind.

Beispiel:

$l = 300$  cm Geschosshöhe;  $F = 236$  qcm Querschnittfläche;  $J = 44,360$  kleineres Trägheitsmom.

$$P = 1000 \cdot 236 \frac{1}{1 + 0,00036 \frac{300 \cdot 300 \cdot 236}{44\,360}} = 202\,000 \text{ kg.}$$

Die Säule von nebenstehendem Querschn. und der geringen freien Länge von 3 m Geschosshöhe erleidet bei einseitiger Erwärmung im Feuer während des Anspritzens auf ihrer ganzen Länge nur Kantenspannungen, welche kleiner sind als 1000 kg, obwohl die mittlere Beanspruchung 855 kg für 1 qcm beträgt. In Folge der größeren Steifigkeit und geringern Geschosshöhe läßt diese Säule ohne Gefahr also 4 mal so große mittlere Beanspruchung für 1 qcm des Querschn. im Feuer zu, als das schmiedeiserne Rohr beim Versuch 12.

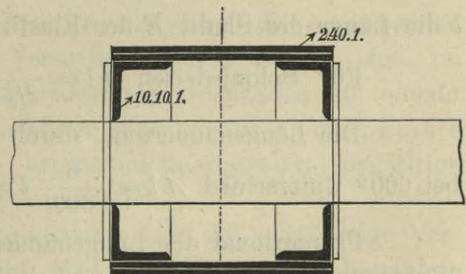


Fig. 20.

Im Augenblick, wo die Stütze auf der ganzen Länge heiß geworden ist, wird dieselbe auch schwerlich diejenige Maximallast zu tragen haben, für welche die Stütze berechnet worden ist: Es wird nicht gerade Schneelast auf dem Dache des brennenden Hauses liegen, und es wird auch ein Theil der Last schon verbrannt sein, bevor die Säulen zu glühen beginnen. Man kann also für eine Säule, welche im Feuer 202 000 kg tragen soll, für gewöhnlich eine etwas höhere Maximallast zulassen.

Die Rechnung ergibt, daß Stützen von kreuzförmigem Querschnitt im Mittel weitaus geringer zu belasten sind, als Säulen der obigen Querschnittsform, wenn jene

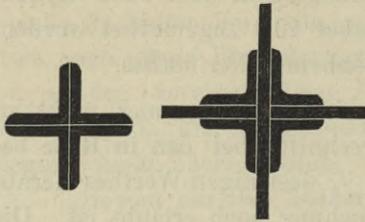


Fig. 21.

im Feuer genügende Sicherheit bieten sollen; sie erfordern alsdann einen entsprechend größeren Materialaufwand. Hinzu kommt, daß der Kreuz-Querschnitt in vielgeschossigen Gebäuden keine so günstige Auflagerung der Trägerkonstruktion zuläßt und daher bei einseitiger Belastung eines Trägers die Zentrierung der Lastwirkung unmöglich wird. Hierdurch wird schon im kalten Zustande die Stütze unter Umständen exzentrisch belastet werden.

### Vergrößerung der Durchbiegung durch Steigerung der Kantenspannung.

Die seitliche Ausbiegung der Säule kann nur annähernd so berechnet werden, als rühre sie einzig von der einseitigen Erwärmung her, wie eine solche Annahme in obiger Berechnung noch zu Grunde gelegt worden ist. Immerhin erleidet die Durchbiegung aber dadurch noch einen Zuwachs, daß das Angriffsmoment der exzentrisch wirkenden Last selbst eine Verbiegung erzeugt. Diesen Zuwachs an seitlicher Verbiegung kann man aus den Elastizitäts-Verhältnissen der Säule berechnen. Setzt man zunächst eine steife Säule voraus, bei welcher die mittlere Beanspruchung 800 gewesen und die Kantenspannungen zu  $800 + 200 = 1000$  resp.  $800 - 200 = 600$  sich ergeben würde, so beträgt der Unterschied der Belastungen in den beiden äußern Fasern 400 kg/qcm, und es entspricht dies einer Verkürzung der stärker gedrückten konkaven Faser gegenüber der konvexen um  $\Delta l = \frac{Sl}{E}$   $S$  ist der Unterschied der Beanspruchung,  $l$  die Länge der Säule,  $E$  der Elastizitäts-Modul.\*)

$$\text{Für Schmiedeeisen } \Delta l = \frac{400 l}{\frac{2}{3} 2\,000\,000} = \frac{l}{3\,300}$$

Die Längenänderung, durch einseitige Erwärmung hervorgerufen, beträgt aber bei 600° Unterschied  $\Delta l = \frac{6}{800} l = \frac{25 l}{3\,300}$ .

Proportional der Längenänderung der äußeren Faser ist auch der Zuwachs an Verbiegung, die hier also um einen mehr denn 25 fach größeren Betrag von der einseitigen Erwärmung, dann von der verschiedenen Kantenspannung herrührt, so daß durch letztere die Durchbiegung im vorliegenden Fall um 4% etwa gesteigert wird.

Nur für sehr schlanke Säulen, wie sie in Versuch 12 und 6 zur Benutzung gelangt sind, ist der Zuwachs an Durchbiegung von Bedeutung, indem derselbe 3 bis 4 mal so groß wird, als in dem zuvor berücksichtigten Falle, und daher also eine um

\*) Es ist nothwendig, die Größe des Elastizitätsmodulus für höhere Temperaturen durch Versuche festzulegen, da der Werth des Modulus bei größerer Wärme sich kleiner als sonst gestalten dürfte. Hier sei  $\frac{2}{3}$  desjenigen Werthes gerechnet, welcher für kaltes Eisen ermittelt ist.

12 bis 15 % größere Durchbiegung hervorruft, als aus der einseitigen Erwärmung allein sich berechnen läßt.

Die Ziffer 12 % gilt nur für richtig belastete schmiedeiserne Stützen, deren Kantenspannung 1000 kg/qcm im Zustande einseitiger Ausbiegung nicht übertrifft. In den überlasteten Versuchsstücken war bei den Bauschinger'schen Versuchen der Zuwachs an Durchbiegung sogar 20—25 % von derjenigen Ausbiegung, welche durch einseitige Erwärmung allein hervorgerufen war.

Gufs-Säulen würden bei gleichen Belastungs-Verhältnissen wie Schmiedeisen-Stützen einen größeren Zuwachs an Durchbiegung durch die Kantenspannung erfahren, weil der Elastizitätsmodul für Gufseisen nur halb so groß ist, als für Schmiedeisen. Da nun aber hier die größte Kantenspannung nur zu 700 kg gegenüber 1000 kg bei Schmiedeisen angenommen ist, so stellen sich auch die durch Biegung hervorgerufenen Spannungs-Unterschiede etwa zu 7/10 derjenigen bei Schmiedestützen, und es muß für Gufs-Stützen der Zuschlag also nicht doppelt so groß, sondern nur etwa 1,4fach so groß sein, als bei Schmiede-Stützen. Entsprechend dem jeweiligen Zuwachs an Durchbiegung ist der Koeffizient  $K$  zu vergrößern; man erhält alsdann folgendes Endergebnis:

$$\text{Es ist in der Formel: } P = SF \frac{1}{1 + K \frac{l^2 F}{J}} \text{ zu setzen:}$$

Für  $S$  als Maximal-Kantenspannung für Schmiedeisen 1000 kg, für Gufseisen 700 kg, wenn nicht etwa bei eingehenderer Prüfung andere Werthe gewonnen werden.

Für  $K$  ist bei kurzen steifen Stützen, deren Verhältniß  $L/D \leq 8$  ist bei Schmiedeisen 0,00038, bei Gufseisen 0,00034 zu setzen.

Bei schlanken Säulen, wenn  $L/D$  etwa 26 oder mehr beträgt, ist für  $K$  bei Schmiedeisen 0,00043 und für Gufseisen ebenfalls 0,00043 zu setzen.

Der Werth der Versuche von Prof. Bauschinger wird durch die vorstehenden Darlegungen nicht geschmälert. Es ist durch die Versuche erwiesen worden, daß im Feuer die Gefahr des Zerknickens für schlanke Schmiedestützen vorhanden ist, sobald dieselben nach der Zerknickungsformel mit den besonderen Werthen für  $K$  von Laissle und Schübler berechnet sind, weil diese Werthe bei Schmiedeisenstützen sorgfältige Centrirung der Last, also keinerlei Durchbiegung voraussetzten.

Es kann aber nicht als zutreffend erachtet werden, daß das ungünstige Verhalten der schmiedeisernen Versuchsstücke allein auf Material-Mängel und besondere Weichheit des Schmiedeisens zurückgeführt werde, da ungünstige Konstruktion und Ueberlastung die Zerstörung des Materials herbeigeführt haben.

Was noch erübrigt, ist die genaue Festlegung der im warmen Zustande der Stütze zulässigen Maximal-Kantenspannung durch Versuche, da die angenommenen Werthe 700 und 1000 kg f. 1 qcm auf Umwegen abgeleitet worden sind. Erwünscht ist ferner die Erforschung der Größe des Elastizitätsmodulus bei höheren Temperaturen.

Sehr schwierige Versuche würden erforderlich sein, um Säulen verschiedener Konstruktionsformen im Feuer auf den Werth ihrer Konstruktionsweisen zu prüfen. Solche Versuche dürften zwar sehr interessant, aber auch sehr kostspielig ausfallen.

Hamburg, Oktober 1885.

M. Möller.

*Aus der Deutschen Bauzeitung Jahrgang 1886 No. 83.*

### Ueber das Verhalten gußeisener und schmiedeeiserner Säulen im Feuer und bei rascher Abkühlung.

Bericht über die Veröffentlichung von Prof. Bauschinger, 2. Versuchsreihe XVII.

Im letzten Frühjahr sind von Professor Bauschinger in München, anschließend an die im J. 1884/85 ausgeführten bekannten Versuche über das Verhalten von erwärmten eisernen Stützen, weitere Versuche angestellt, über welche in den Mittheilungen aus dem technischen Laboratorium und durch Herrn Prof. Bauschinger persönlich auf der General-Versammlung der Architekten- und Ingenieur-Vereine in Frankfurt a. M. nähere Nachricht gegeben worden ist.

Herr Prof. Bauschinger sagt, daß gegen die ersten Versuche zwei Einwände erhoben worden seien:

1. gelegentlich eines Vortrags im Arch.- und Ingen.-Verein zu Hamburg vom Unterzeichneten der, daß Gußeisen und Schmiedeeisen nicht genau mit demselben Maaßstabe gemessen worden seien; das Schmiedeeisen habe zu hohe Kantenspannungen erlitten.

Beide Arten von Säulen sind nach der Formel

$$P = \gamma \beta_0 F \frac{1}{1 + K \frac{Fl^2}{J}}$$

berechnet und mit dieser für den kalten Zustand bemessenen zulässigen Belastung geprüft worden. Dabei ist die Kantenspannung  $S_{\max} = \frac{P}{F} \left( 1 + \frac{f}{k} \right)$  für den Zustand einseitiger Erwärmung sehr groß. Es steigt in Folge der durch das Glied  $f/k$  hinzu kommenden Biegungsspannungen die mittlere Beanspruchung  $\frac{P}{F}$  von 470 bis 540 auf 2560 bis 2845 kg. Diese Kantenspannung reicht hin, eine verbogene wieder abgekühlte Säule in diesem kalten Zustande zu zerstören, wie viel mehr im warmen Zustande.\*)

Für die Ermittlung der Belastung der Gußeisen-Säulen ist bei der Versuchsreihe nicht der von Laissle und Schübler ermittelte kleine Koeffizient,  $K = 0,00025$ , sondern ein etwa  $2\frac{1}{2}$  fach höherer Koeffizient,  $K = 0,0006$ , verwendet, weil vor Jahren (von Prof. Bauschinger) angestellte Versuche\*) gezeigt hatten, daß für Gußeisen Laissle und Schübler einen zu kleinen Werth  $K$  benutzten, wie derselbe höchstens bei völlig centrisch gegossenen Säulen anwendbar sei, nicht aber bei den liegend gegossenen Säulen, deren Wandungen selten gleich stark ausfallen.

Bei den für die erste Versuchsreihe verwendeten Ausschufs-Exemplaren lagen die Höhlungen der Säulen sehr excentrisch, und es war daher für jene Exemplare der von Laissle und Schübler berechnete kleine Koeffizient  $K$  nicht am Platze, sondern der größere Werth  $K = 0,0006$  zu verwenden.

\*) In dieser Formel bedeutet  $f$  Biegunspfeil und  $k$  Kernweite.

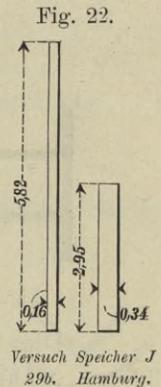
\*) Cövilingen. Bd. XXVIII.

Daher ergab sich für jene erste Versuchsreihe die geringe Probelastung der Gufssäulen, von z. B. nur 260 kg/qcm des mittleren Querschnitts. Es empfehle sich dringend, zukünftig auch in der Praxis liegend gegossene Säulen nicht höher zu belasten, als sich dies unter Benutzung des Koeffizienten  $K = 0,0006$  ergibt.

Da aber die in Bauten verwendeten Säulen, nach dem kleineren Koeffizienten  $K$  berechnet, höhere Belastung tragen, so ist eine zweite Versuchsreihe ausgeführt, bei welcher die Probelast größer gewählt wurde, indem nun der kleinere Koeffizient  $K = 0,00025$  der Last-Ermittlung zu Grunde gelegt worden ist.

Der zweite Einwurf wurde von Herrn Direktor Gerber gemacht, es seien die Schrauben-Verbindungen der schmiedeisernen Versuchsstücke nicht hinreichend solide gewesen. Es ist nun eine zweite Versuchsreihe mit schmiedeisernen Stützen ausgeführt, welche Versuchsstücke Herr Gerber in der Brückenbau-Anstalt zu Gustavburg bei Mainz hat anfertigen lassen. Von den ersten vier dieser Säulen (No. 28 und 29), ähnlich denen, wie sie in der genannten Werkstätte für die neuen Lagerhäuser in Hamburg angefertigt werden, hatten je zwei gleiche Größe und Gestalt. Ferner wurde noch eine fünfte Säule No. 30 zur Verfügung gestellt.

Hierzu darf Referent gleich beifügen, das die benannten Versuchsstücke nicht eigentlich als den in Hamburg verwendeten Stützen „ähnlich“ bezeichnet werden dürfen, da dieselben etwa vierfach so schlank als jene Speicherstützen sind. Und weil sich die vorliegenden Untersuchungen einzig auf die Steifigkeit der Stützen beziehen, so ist es unzulässig, solche, die in dem wesentlichsten Punkt einen Gegensatz bilden, als einander „ähnlich“ zu bezeichnen. Die hier beigefügten Skizzen machen den thatsächlich bestehenden Unterschied anschaulich.



Folgende Ergebnisse wurden bei den Versuchen der zweiten Reihe gefunden.

A. Versuche mit gufseisernen Säulen. Versuch No. 28; —  
Gufseisensäule No. 26.

Aeußerer Durchmesser  $D = 17,7$  cm,  
Länge . . . . .  $L = 400$  cm,  
Querschnitt . . . . .  $F = 130,7$  qcm

$$D/L = \frac{17,7}{400} = \frac{1}{22\frac{1}{2}}$$

Bei  $K = 0,00025$  ergibt sich  $P = 77$  t  
„  $K = 0,00060$  „ „  $P = 42,4$ t.

Als Druckkraft ist  $P = 77$  t gewählt.

$$S = \frac{77\,000}{130,7} = 590 \text{ kg.}$$

Die Durchbiegung beträgt bei Erwärmung bis  $400^{\circ}$  C. 34 mm. Die Säule hält die Belastung aus.

Dieselbe Säule wird nochmals erwärmt und biegt sich nun nach oben durch; sie trägt die 77 t Last, obwohl sie theilweise schwach rothglühend ist und angespritzt wird. —

Versuch No. 29; Gufssäule No. 27.

Außerer Durchmesser . . . 15,6 cm  
Länge . . . . . 400 cm  
Querschnitt . . . . . 103,9 qcm

$$D/L = 1/25\frac{1}{2}$$

$$K = 0,00025 \quad P = 52 \text{ t}$$

$$S = \frac{52000}{103,9} = 500 \text{ kg pro qcm im Mittel.}$$

Auch diese Säule biegt sich nach oben durch und trägt in theilweise rothglühendem Zustande die volle Last von 52 t.

#### B. Versuch mit schmiedeisernen Stützen.

Versuch No. 30; Säule No. 29a.

Breite  $D = 21 \text{ cm}$  gemessen in der Ebene, in welcher  
Länge  $L = 584 \text{ cm}$  die Durchbiegung erfolgt.

$$D/L = 1/25$$

Querschnitt  $F = 74,24 \text{ qcm}$

$$K = 0,00009 \quad P = 33\,000 \text{ kg}$$

$$S, \text{ mittlere Beanspruchung} = \frac{33\,000 \text{ kg}}{74,24} = 444 \text{ kg.}$$

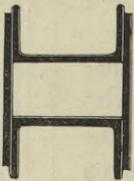


Fig. 23.

Die Durchbiegung wächst bei schwacher Rothglut vor dem Anspritzen bis 32 mm, während des Anspritzens bis 62 mm.

Die Säule trägt die ihr zugemuthete Last, krümmt sich aber bei Abkühlung der Stütze nach oben und zwar um 76 mm; im übrigen sind Fehler oder Beschädigungen nicht zu erkennen.

Versuch No. 31 Säule 29b. Breite der Säule in Richtung der Vertikalen gemessen, wie dieselbe für die Durchbiegung in Frage kommt;  $D = 16 \text{ cm}$ ; freie Länge  $L = 582 \text{ cm}$

$$D/L = \frac{1}{36,5} \quad \text{Querschnitt } F = 74,24; \quad S = 444.$$

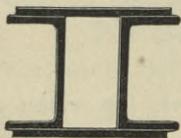


Fig. 24.

Die Säule glüht bei 32 mm Durchbiegung unten auf der ganzen Länge. Bei dem Anspritzen tritt Durchbiegung nach oben ein, welche nach Erhaltung der Säule 66 mm und nach Entlastung derselben 71 mm betrug. Außer der Krümmung sind keine Beschädigungen vorgekommen.\*)

\*) Referent fügt hier gleich bei, dafs diese sehr schlanken schmiedeisernen Stützen im warmen Zustande eine Kantenspannung auf der kühleren Seite ausgehalten haben, welche 1000 kg f. 1 qcm überstiegen haben mufs. Säulen von ähnlichem Querschnitt, aber nur  $1/4$  so schlank, aus L Eisen und Flacheisen gebildet und auf 2 Seiten mit Gitterwerk versehen, sind in Hamburg verwendet und vorn zum Vergleich des Verhältnisses von Länge und Breite neben die Säule No. 29b gestellt.

Versuch No. 32 Säule 28a. Breite  $D = 24$  cm; freie Länge  $L = 584$  cm;  $D/L = \frac{1}{24,5}$ ;  $P = 33$  t, Querschnitt  $F = 74,4$  qcm; Spannung im Mittel  $S = \frac{33000}{74,4} = 443$  kg.

Nachdem das Glühen unten begonnen, beträgt die Durchbiegung 44 mm, die Tragkraft ist auf 20 t herabgegangen. Nach Erkaltung trägt die Säule nur 27 t.

Anmerkung des Referenten hierzu. Die Säule hat nicht als ein einheitliches Stück der Breite von 24 cm gewirkt, sondern gleich zwei Einzelstützen der Breite eines L-Eisens, da die Verbindungsglieder der L-Eisen sich in zu großen Abständen von einander befanden.

Unter Zugrundelegung des Koeffizienten  $K = 0,00045$  hätte die Stütze nur mit 14,6 t belastet werden dürfen, während die Stütze mit 33 t gedrückt worden ist.

Versuch No. 33; Säule 28b. Von gleichem Profil über die Diagonale eingespannt.

Die Säule trägt die Last von 33 t nur bis 500° Erwärmung, dann bei 600° nur noch 23 t; da die Verbiegung nun 130 mm beträgt. Bei theilweisem Glühen der Säule erfolgt ein Krachen, die Stütze fällt herab und ist als völlig zerstört zu betrachten.

#### Versuch No. 34.

Vorgenommen mit einer gleichfalls über die Diagonale eingespannten Säule ähnlicher Konstruktion, verläuft gleich ungünstig.

Aus dieser zweiten Versuchsgruppe zieht Prof. Bauschinger das Ergebnis: Schmiedeeisen-Säulen guter Konstruktion können dem Feuer und dem Anspritzen ziemlich gut widerstehen, wenn auch nicht ganz so, wie Gufseiserne Säulen. Schmiedestützen schlechter Konstruktion, bei welchen die Verbindung der Säulen-Eisen in nicht solider Weise unter einander erfolgt ist, werden aber unter der aufruhenden Last durchgebogen und zerstört. Für den Querschnitt ist die Kastenform der Kreuzform vorzuziehen.

Diesen Ausführungen des Herrn Prof. Bauschinger erlaubt sich Referent Folgendes hinzuzufügen: Durch die Aenderung der Koeffizienten  $K$  von 0,0006 auf 0,00025 ist die mittlere Beanspruchung der Gufssäulen erhöht. Gufssäule No. 29 würde nach der in der ersten Versuchsreihe verwendeten Rechnungsweise nur 263 kg für 1 qcm mittlere Belastung erfahren haben und erhält jetzt 500 kg, also fast das Doppelte. Wenn trotzdem die Säule gehalten hat, so ist damit nur der Beweis geliefert, daß die Gufssäulen fast doppelt so viel zu tragen vermögen, als ihnen in der ersten Versuchsreihe, wo excentrischer Guß vorlag, zugemuthet worden ist. Daher kann jetzt der früher erhobene Einwand: die Schmiedeeisen-Säulen seien gegenüber den Gufseisen-Säulen überlastet, auf die zweite Versuchsreihe nicht ausgedehnt werden.

Die zweite Abhandlung von Prof. Bauschinger macht aber keinen genügenden Unterschied zwischen steifen und schlanken schmiedeisernen Stützen, obwohl dieselben, wenn sie mit einer unter Benutzung des Koeffizienten  $K = 0,00009$  berechneten Last, gedrückt werden, sich im Feuer völlig verschieden verhalten. Sehr schlanke



Fig. 25.



Fig. 26.

Säulen tragen die ihnen zugemuthete Last kaum, gedrunen und steif konstruirte Säulen halten die Last bei einseitiger Erwärmung bedeutend besser aus. Das ergibt sich aus der Größe der Kantenspannung. Steigt dieselbe in Folge der Verbiegung über 1000 kg f. d. qcm, so ist die Standfestigkeit der Säule im warmen Zustande dahin. Die Kantenspannung setzt sich aber zusammen aus der Summe der mittleren Spannung  $P/F$  und der Biegungsspannung, welche für genau centrirtre Säulen im kalten Zustande fast Null ist, bei eintretender Verbiegung aber proportional der seitlichen Ausbiegung wächst.

Die Größe der Verbiegung durch einseitige Erwärmung ist bei Säulen verschiedener Breite  $B$  und freien Länge  $L$  proportional dem Ausdruck  $L^2/B$ , und ist dieselbe so bedeutend, daß nur unter Zugrundelegung eines großen Koeffizienten  $K$  (etwa  $K = 0,00045$ ) für Berechnung der Last eine Ueberanstrengung der Säule durch ein Wachsen der Kantenspannung vermieden werden kann.

Dieser Koeffizient  $K = 0,00045$  ist unter Anlehnung an die Versuche von Prof. Bauschinger vom Referenten rechnerisch ermittelt — (siehe Deutsche Bauztg. No. 53 und 55 d. J.). — Es hat sich auch bei Ausführung der zweiten Versuchsreihe gezeigt, daß Schmiedsäulen, deren Last mit Benutzung dieses Koeffizienten berechnet ist, jene Last wohl mit gleicher Sicherheit tragen, wie Stützen aus Gußeisen. Gewiß würden auch hier praktische Versuche zur genauen Festlegung des Werthes  $K$  führen.

Referent schöpft also aus der zweiten von Prof. Bauschinger angestellten Versuchsreihe ganz dieselben Erfahrungen, wie er sie aus den ersten Versuchen entnommen hat.

Die neueren Versuche haben dargethan, daß schmale eiserne Stützen, in Hochbauten verwendet, bislang in Bezug auf Feuergefahr oft unsicher konstruirt worden sind, weil man gewohnt war, mit dem kleinen Koeffizienten  $K$  nach Laissle und Schübler zu rechnen und in Folge dessen schlanke Säulen stärker belastete, als dieselben im Zustande einer durch einseitige Erwärmung entstandenen seitlichen Verbiegung zu tragen vermögen. Die Rechnung, soweit dieselbe zur Zeit ausführbar ist, zeigt dagegen, daß Schmiedeisen-Säulen, welche mit dem Koeffizienten  $K = 0,00045$  berechnet und belastet werden, die ihnen zugemuthete Last:

$$P = 1000 F \frac{1}{1 + 0,00045 \frac{l^2 F}{J}}$$

tragen können, wenn der Erhitzungsgrad auf der wärmeren Seite schwache Rothglut nicht überschreitet.

In diesem Punkte bilden die aus diesen Versuchen des Herrn Prof. Bauschinger zu ziehenden wichtigen Ergebnisse ein Gegenstück zu den von ihm vor zwei Jahren mit Gußeulen angestellten Versuchen. Damals zeigte Prof. Bauschinger, daß liegend gegossene Säulen stets Herstellungsfehler besitzen, deren Einfluß gelegentlich die Kantenspannung der belasteten Gußeule so bedeutend steigert, daß schlanke Säulen dadurch gefährdet werden. Damals ermittelte Prof. Bauschinger, daß schlanke Gußeulen aus diesem Grunde eine geringere Belastung erfahren müßten, als Laissle und Schübler zugelassen haben, und darum erhöhte derselbe den Koeffizienten  $K$  für Gußeulen von  $0,00025$  auf  $0,0006$ .

Jetzt handelt es sich abermals um nachtheilige Wirkungen, welche in Folge einer Excentricität entstehen können und zwar in diesem Falle um jene Excentricität, welche durch einseitige Erwärmung bei einem Brande hervorgerufen wird. Abermals erscheint der von Laissle und Schübler verwendete Koeffizient hier  $K = 0,00009$  zu klein, weil dieser genaue Centrirung und Ausrichtung der Konstruktionstheile voraussetzt, während bei einem Brande Verbiegungen unabänderlich entstehen; darum dürfte auch hier der Werth  $K = 0,00009$  fallen zu lassen und an seine Stelle für Zwecke des Hochbaues bei Berechnung der Schmiedestützen  $K = 0,00045$  zu setzen sein, solange nicht durch Versuche eine genauere Ermittlung der geeigneten Koeffizienten erreicht worden ist.

Versuche, welche zeigen sollen, ob Schmiedeisen oder Gufseisen empfehlenswerther sei, müssen mit Versuchs-Exemplaren angestellt werden, welche einen direkten Vergleich gestatten. Das aus Schmiedeisen hergestellte Exemplar muß dieselbe Länge und Breite und dasselbe Trägheitsmoment besitzen, als die Stütze aus Gufseisen.

Hier in der zweiten Versuchsreihe sind schlanke Schmiedestützen weniger schlanken Gufsstützen gegenübergestellt, was nicht angängig ist, solange eine Meinungs-Verschiedenheit über den Einfluß der Säulenlänge und Schlankheit auf die Widerstandsfähigkeit derselben bestehen kann, d. h. solange die zu verwendenden Koeffizienten  $K$  nicht genau ermittelt sind.

Damit ist zwar die Frage, ob Schmiedeisen- oder Gufseisen-Stützen vorzuziehen seien, nicht erschöpft. Selbst wenn weitere Versuche zeigen sollten, daß für Schmiedeisen der Koeffizient  $K$  noch größer als  $0,00045$  zu wählen sei, um der Schmiedestütze mehr Masse zu verleihen, so wäre damit der Vorzug von Gufseisen noch nicht erwiesen. Denn erst dann, wenn die Schmiedeisen-Stütze, um gleich feuersicher zu sein, so schwer ausfallen sollte, daß ihre Herstellungskosten zu groß werden, könnte Gufseisen das Schmiedeisen verdrängen; besitzt doch namentlich für Ausführungen von hohen Stockwerkbauten das zähe gegen Bruch und Stoß widerstandsfähige Schmiedeisen sehr wichtige Vorzüge gegenüber dem spröden Gufseisen.

M. Möller, Hamburg.

*Aus dem Wochenblatt für Baukunde, Jahrgang 1886 No. 91.*

### **Zur Ableitung von Formeln für Knickfestigkeit.**

Durch die Erörterungen des Herrn Dr. Zimmermann über die Verwendbarkeit der Euler'schen und der Schwarz'schen Formel für Knickfestigkeit wurde ich erst kürzlich zum eingehenderen Studium dieses Gegenstandes angeregt. Zuvor hatte ich mich zumal über das Verhalten von Stützen bei einseitiger Erwärmung ausgesprochen, über die Verwendbarkeit der vorhandenen Formeln für den kalten Zustand jedoch keine eigenen Betrachtungen entwickelt. Daher konnte es geschehen, daß ich die Abhandlungen des Herrn Dr. Zimmermann in No. 23, 24 und 25 des Centralblattes der Bauverwaltung zwar früher angesehen, jedoch erst nach Abfassung der kleinen Veröffentlichung in No. 81 des Wochenblattes für Baukunde eingehender studirt hatte. Anderenfalls hätte ich meine Ansicht nicht ohne genaue Begründung ausgesprochen; es war mir aber im Augenblick, da ich die kleine Abhandlung schrieb, entfallen, daß Herr

Dr. Zimmermann zu entgegenstehenden Resultaten gelangt war. Jenes Fehlen bitte ich zu entschuldigen und hole ich daher das Versäumte jetzt nach.

Während Herr Dr. Zimmermann den eigentlichen Gegenstand meiner kleinen Besprechung in No. 81 des Wochenblattes für Baukunde als richtig dargestellt bezeichnet, wird zugleich angegeben, daß die eine von mir gemachte Aeußerung, es sei die Schwarz'sche Formel zur Berechnung der Stützen auf Knickfestigkeit, welche die Kantenspannung berücksichtigt, für die Verwendung mehr zu empfehlen, als eine irrige bezeichnet, da durch Theorie und Versuch das Gegentheil erwiesen sei, daß nämlich ein Zerknicken von der Kantenspannung unabhängig und also die Euler'sche Formel  $P_0 = \frac{\pi E J}{l^2}$  als einzig berechtigt hingestellt werden könne, wobei besonders die vorerwähnten Abhandlungen des Herrn Dr. Zimmermann und von Herrn Prof. Bauschinger ausgeführte Versuche als Beweismaterial angeführt werden.

Um meine eigene, etwas abweichende Auffassung nun klar zu stellen, erkläre ich zunächst, daß ich in No. 23 bis 25, Jahrgang 1886, des Centralbl. d. Bauverw. gegebenen theoretischen Erörterungen des Herrn Dr. Zimmermann verstanden habe und dieselben in jedem Punkte als zutreffend erachte, daß ich ebenso die Resultate der Versuche von Herrn Prof. Bauschinger sehr durchsichtig und belehrend finde, und daß ich mit großem Vergnügen dem Vortrage in Frankfurt folgte. Nur in einem Punkte weiche ich von der Ansicht des Herrn Dr. Zimmermann ab, indem ich bei der Uebertragung der theoretischen Resultate auf die Praxis zu anderen Ergebnissen gelange.

Auf Seite 218 in der 2 Spalte der No. 23 ist der Werth einer Last  $P_0 = \frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{E J}{l^2}$  berechnet, welche von der unten am Fuß vertikal eingespannten, am Kopf frei beweglichen Stütze als Kopflast gerade noch getragen werden kann, ohne die Stütze umzubiegen. Die geringste Vermehrung der Last zieht eine nothwendige Vernechtung, ein Umbiegen der Stütze nach sich. Dieser Grenzwert ist als Bruchbelastung anzusehen, und in Praxis nur ein Theil der als Grenzwert ermittelten Last anzubringen; z. B. wie von mancher Seite vorgeschlagen wird,  $\frac{1}{4}$  oder  $\frac{1}{6}$  obigen Grenzwertes. Dadurch entsteht die Formel

$$P = \frac{1}{n} P_0 = \frac{1}{n} \cdot \frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{E J}{l^2},$$

resp. für die Stützen, deren Kopf und Fuß in Gelenken sich drehend, aber nicht seitlich verschiebbar gedacht sind  $P = \frac{1}{n} \cdot \pi^2 \cdot \frac{E J}{l^2}$ , welcher Fall für die Stützen der Baukonstruktionen meistens vorliegt. Bis dahin gehört die Formel in das Bereich der Theorie, denn diese liebt es, für unbekannte Koeffizienten einen Buchstaben, hier  $n$  zu setzen, und dabei bleibt die Theorie ohne Fehl, indem sie es der Praxis überläßt, die schwere Wahl eines passenden Werthes für den der Theorie unbekanntem Koeffizienten  $n$  zu setzen. Diese Wahl wird daselbst Seite 218 in der Mitte der 2. Spalte wie folgt angedeutet: „Die Wahl des Sicherheitsfaktors  $n$  ist dabei der Willkür oder der Erfahrung anheimgegeben, indem er lediglich zufälligen oder einer genaueren Berücksichtigung sich entziehenden Umständen Rechnung zu tragen hat.“

Da ich nun, angeregt durch die hiesigen Speicherbauten, gerade die praktische Seite bei Aufstellung von Formeln für die praktische Benutzung betont haben möchte, so widme ich gerade dem wunden Punkte, dem Uebergang von Theorie zur Praxis, besonderes Interesse. Ich verlange, daß die Wahl des Sicherheitsfaktors  $n$  den wirklichen Verhältnissen und der sonst üblichen Bauweise entsprechen soll. Dabei gelange ich zu nachstehenden Schlusfolgerungen: Wir konstruiren unsere Bauwerke mit Einführung eines Sicherheits-Koeffizienten, weil es möglich ist, daß erstens durch Unvorsichtigkeit der Benutzenden, oder durch Stöße, oder durch Mängel der Ausführungen, ferner durch ein Setzen der Fundamente etc. das Material höhere Beanspruchungen erfahren kann, als rechnerisch ermittelt wurden. Ferner soll das Bauwerk auf Jahre hinaus haltbar bleiben, wenn auch das Material durch den Zahn der Zeit an Güte verloren hat. Wir sind gewohnt, im Hochbau das Schmiedeeisen mit 800 bis 1000 kg im Maximum anzustrengen. Dies entspricht etwa 3,5 bis 2,8facher Sicherheit, denn bei Steigerung der Beanspruchung um das Vielfache jenes Betrages auf 3,5 mal 800 oder 3,8 mal 1000, das sind 2800 kg pro qcm, wird die Elastizitätsgrenze oder Grenze für kleine Dehnungen resp. Zusammendrückungen, überschritten und es erfolgen nun solche Formveränderungen, welche das Konstruktions-Gefüge zerstören und den Konstruktions-theil unbrauchbar machen. (Siehe No. 63 der Deutschen Bauzeitung, Versuche mit genieteten eisernen Trägern.)

Bei Verwendung der Formel für Knickfestigkeit würde es daher nahe liegen, den Koeffizienten  $n$  auch zu 2,8 oder 3,5 anzunehmen, je nachdem man sich entschließt, für die ganze Eisenkonstruktion 2,8 oder 3,5fache Sicherheit zu verlangen. Es ist daher gerechtfertigt  $n = 3$  zu setzen, um so mehr die Gefahr der Verbiegung nicht in dem Maße von einer einzelnen schwächeren Stelle im Querschnitt abhängig ist, wie bei auf Zug beanspruchten Stäben, denn während letztere zerreißen, wenn nur eine einzige Stelle überanstrengt ist, weil dort der Querschnitt schwächer ist, unabhängig davon, ob an anderen Punkten Material-Ueberfluß ist, so richtet sich die Größe der Stabverbiegung nicht allein nach der schwächsten Stelle des Querschnittes, sondern nach der mittleren auf der ganzen Länge der Stütze vorkommenden Spannung. Da nun diese mittlere Spannung lange nicht so weit über den Rechnungswert hinaus steigen kann, als die maßgebende Maximalspannung eines gezogenen Stabes am fehlerhaften, gefährdeten Querschnitt dies vermag, so ist es auch nicht erforderlich für die Gefahr auf Verbiegung einen größeren Sicherheits-Koeffizienten (hier  $n = 3$ ) in Rechnung zu stellen, als dies für den gezogenen Stab üblich ist. Die Euler'sche Formel ist also höchstens mit dem Sicherheits-Koeffizienten 3 zu versehen, wenn die Brauchbarkeit erwogen werden soll, und es bleibt dann einer weiteren Ueberlegung anheimgestellt, zu untersuchen, ob bei Verwendung der Eulerschen Formel zur Bestimmung der Tragfähigkeit von Konstruktionen auf Druck es doch nothwendig erscheinen möge, ein Augenerk auf die Größe der Kantenspannung aus praktischen Gründen zu richten, nachdem Herr Dr. Zimmermann erwiesen hat, daß wir uns aus theoretischen Gründen eigentlich um die Größen der Kantenspannung nicht zu kümmern hätten. Die Beantwortung dieser Frage soll an der Hand eines Beispiels erstrebt werden.

Eine Stütze aus Schmiedeeisen von geschlossener Kastenform, deren quadra-

tischer Querschnitt eine Seitenlänge von 400 mm aufweist, bestehe aus 4 Seitenplatten von je 10 mm Dicke und 4 inneren Eckwinkeln 90.90.10. Das Trägheitsmoment dieses Querschnittes ist  $J = 162,771$ , die Fläche desselben 224 qcm. Die Säule ist am Fuß und Kopf seitlich gehalten, aber nicht eingespannt. Diese Stütze vermag nach der Euler'schen Formel  $P = \frac{1}{n} \cdot \pi^2 \cdot \frac{E \cdot J}{l^2}$  eine Last  $P = 224\,000$  kg mit 3facher Sicherheit ( $n = 3$ ) noch zu tragen, wenn dieselbe  $l = 2200$  cm d. h. 22 m freie Länge besitzt. Kürzere Säulen desselben Querschnittes dürfen bei Verwendung der die Euler'sche Formel einschränkenden Bedingung  $P \leq F \cdot S$  auch nur mit 224 000 kg belastet werden, wenn man hier für  $S$  als erlaubte mittlere Querschnitts-Spannung den Werth 1000 kg pro qcm höchstens zuläßt. Die Verwerthung der Euler'schen Formel führt also in diesem Fall unter Berücksichtigung der einschränkenden Bedingung  $P \leq F \cdot S$  dazu, alle Stützen des bezeichneten Querschnittes, einerlei ob dieselben 3 oder 10 oder 20 m freie Länge aufweisen, mit 224 000 kg zu belasten, wofern die freie Länge 22 m nicht übersteigt. Diese Anleitung zum Konstruiren, welche ein unmittelbarer Ausfluß der von Herrn Dr. Zimmermann erläuterten Theorie ist, kann unmöglich als praktisch richtig gelten. Es wäre sehr gewagt, jene Säule von 22 m freier Länge nach der Euler'schen Formel mit 224 000 kg zu belasten, denn, wenn auch theoretisch genommen, bei exakter Centrirung und dem Ausschluß aller störenden Momente thatsächlich noch 3fache Sicherheit gegen irgend eine Ausbiegung vorhanden sein muß, wodurch also theoretisch eine erhöhte Kantenspannung über die mittlere Anstrengung des Materiales von 1000 kg pro qcm hinaus ausgeschlossen ist, so sprechen dennoch praktische Gründe gegen eine allzu große Belastung einer so schlanken Säule, deren Höhe 55 mal so groß ist, als deren Breite. Die theoretische Voraussetzung, daß bei einem Bauwerk äußere, auf Verbiegung der Stütze wirkende Momente nicht vorhanden sein sollen, ist unhaltbar. Die theoretische Formel berücksichtigt nicht den Einfluß von Fehlern der Ausführung, die Wirkung von ungenauer Centrirung der Last, von Temperatur-Differenzen, seitlichen Schubwirkungen etc. Diese Momente führen viel leichter zu einer Verbiegung der schlanken Stütze als der kurzen Stütze, und daher ist die Gefahr, daß gesteigerte Kantenspannung entsteht, bei der schlanken Säule auch bedeutend größer als bei der gedrungen konstruirten Säule. Nun wollen wir aber durchaus keine Spannungen im Material zulassen, welche 1000kg pro qcm überschreiten, und deshalb müssen wir dort, wo die Gefahr vorliegt, daß die Kantenspannung zeitweise erheblich über die mittlere Spannung steigen kann, die mittlere Spannung herabdrücken. Dies geschieht durch die Anwendung von Formeln, welche der Schwarz'schen Formel entsprechen: Z. B. ergibt sich  $P = \frac{S \cdot F}{1 + \frac{0,0001 \cdot F \cdot l^2}{J}} = 1000 \cdot 244 \cdot \frac{1}{1,7}$  kg; wenn man für  $S$  1000 kg wählt. Die erlaubte mittlere Beanspruchung ist alsdann  $1000 \cdot \frac{1}{1,7}$  gleich rund 600 kg. Für die 4 m lange Säule von gleichem Querschnitt würde nach derselben Regel als mittlere Beanspruchung des Querschnittes 990 kg zuzulassen sein. Für 11 m Länge rund 840 kg etc. Es ist einleuchtend, daß man diesen prak-

tischen Verhältnissen nur durch eine empirische Formel Rechnung tragen kann, nicht durch eine einseitig gebildete theoretische Formel. Es ist nun zwar versucht worden, durch Steigerung des Sicherheits-Koeffizienten  $n$  von 3 auf 6 den Boden der Theorie zu verlassen und aus der Euler'schen Formel eine empirische Formel zu machen, welche sich aber doch nicht den praktischen Verhältnissen so anschmiegen kann, als andere eigens für den Einzelzweck zugeschnittene empirische Formeln. Wählt man in der Euler'schen Formel den Sicherheitsfaktor z. B. sogar gleich 12, so ergibt die Euler'sche Formel plötzlich, daß Säulen von 4 bis 11 m Länge des besagten Querschnittes noch voll 224 000kg zu tragen vermöchten, daß aber eine 22 m lange Säule nun nur 56 000kg trägt. Diese Steigerung des Sicherheits-Koeffizienten  $n$  über den Werth 3 hinaus ist also eine sehr willkürliche Sache und entspricht nicht der Anlehnung an praktische Verhältnisse.

Das Experiment mit genau centrirten Stützen muß zwar erweisen, daß bis zu einer gewissen freien Länge hin Stützen von gleichem Querschnitt alle fast gleich viel halten, [nämlich eine Last  $P = S \cdot F$ ], worin  $S$  etwa der Materialbeanspruchung an der Elastizitätsgrenze entspricht, daß ferner, wenn eine gewisse Länge erreicht ist, die schnelle Verbiegung der Stütze beginnt, so daß von da ab eine starke Reduzirung der Last bei wachsender Länge nothwendig wird. Die erste Gruppe von Stützen mit kurzer Höhererstreckung will Herr Dr. Zimmermann daher nach der Formel  $P = S \cdot F$  berechnet wissen, unabhängig von der Länge  $l$ , die 2. Gruppe von Säulen mit großer Länge aber nach der Euler'schen Formel. Nun liegt aber die Grenze der Länge von Säulen der ersten und zweiten Gruppe hoch, im gewählten Beispiel biegt sich die Stütze des vorne gegebenen Querschnittes erst bei  $22,0\sqrt{3}$ , das ist bei rund 38 m freier Länge unter der Last von 224 000 kg von selbst ganz durch, so daß die Grenze der Berechnungsweise 1 und 2 bei Benutzung des Sicherheits-Koeffizienten  $n = 3$  erst bei 22 m Säulen-Länge liegt. Nun wollen wir aber auch für diese erste Gruppe von Säulen, deren Länge kleiner ist als 22 m aus praktischen Gründen von der kürzesten Säule bis zur Länge 22m ansteigend eine Abnahme der zuzulassenden mittleren Beanspruchungen vorgeschrieben sehen und zwar in Form einer Formel und deshalb verwenden wir für die meisten Fälle der Praxis mit Vortheil die der Schwarz'schen Formel entsprechende Formel

$$P \leq \frac{S F}{1 + \frac{0,0001 \cdot F \cdot l^2}{J}}$$

Nur für sehr schlanke Stützen, deren Länge etwa das 20 bis 50fache der Breite ausmacht, wird die Euler'sche Formel

$$P \leq \frac{1}{n} \cdot \pi^2 \cdot \frac{E J}{l^2},$$

worin  $n = 3$  resp. 4 resp. 6 zu wählen ist, stärkere Querschnitte liefern. In diesem Falle ist dann allerdings die Euler'sche Formel gegenüber der Schwarz'schen unbedingt maßgebend.

Es soll nun zwar nicht gesagt sein, daß die in der Schwarz'schen Formel gewählte Form und Größe der Koeffizienten gerade die denkbar beste sei, sondern es ist

vielmehr erforderlich für Brücken, für Speicher mit einem oder mehreren Stockwerken, für Säulen, welche einseitige Erwärmung erfahren können, oder Stützen, die stets kalt bleiben, etc. von einander abweichende Koeffizienten der Formel einzufügen. Solange aber diese Gliederung nicht vorgenommen ist, möge für gewöhnliche Stäbe, welche einseitiger Erwärmung nicht ausgesetzt sind, die Schwarz'sche Formel mit den Koeffizienten 0,0001 und für schlanke Druckstäbe die Euler'sche Formel empfohlen sein.

M. Möller, Hamburg.

(Schluss folgt.)

---

# VERHANDLUNGEN

des Vereins

zur

Beförderung des Gewerbefleißes.

~~~~~  
Sonder-Abdruck. ~~~~~

*II. Theil*

BERLIN.

Verlag von Leonhard Simion.



## Anlage 2.

### Protokoll I.

#### Ausführung von Druckproben für die Lösung der Preisaufgabe über „die Widerstandsfähigkeit auf Druck beanspruchter Baukonstruktionstheile bei erhöhter Temperatur“.

(Mit Ausnahme der Nieteisenstütze S. 82, welche mit 2 cm Excentricität eingespannt wurde, sind alle Stützen mit 1 cm Excentricität gedrückt.)

(Woselbst im Nachfolgenden das Wort Atmosphäre gebraucht wird, ist immer Druck in Kilogramm pro 1 qcm der Kolbenfläche gemeint.)

#### Inhalt.

Seite*)	1886.	
1— 7.		Rechnungen, zwecks Gewinnung einer Uebersicht vor Ausführung der ersten Versuche aufgestellt.
8—11.	7. Dez.	Erster Versuchstag, Bruch des Gelenkes.
13—26.		Rechnungen.
26—28.	9. Dez.	Zweiter Versuchstag.
29—30.		Rechnungen.
31—43.	10. Dez.	Dritter Versuchstag, Feuerproben und Kaltproben mit 1,0 m langen Stützen.
45—52.		Berechnungen, gestützt auf die vorstehenden Versuche.
53—58.		Berechnung der zu prüfenden Stützen.
59—66.	13. Dez.	Vierter Versuchstag, Feuerproben und Kaltproben, ausgeführt mit 4,0 m langen Stützen.
67—69.		Berechnungen.
70—78.	15. Dez.	Fünfter Versuchstag, Kaltproben, angestellt mit 2,0 m langen Stützen aus Eisen, Holz und Stein.
79—88.	17. Dez.	} Sechster und siebenter Versuchstag, Feuerproben wie vorstehend.
90—95.	18. Dez.	
96—97.		Wirkung der Preise.

Im Sommer 1887 sind, wie in Protokoll II, S. 33, ausgeführt ist, die Manometer einer Prüfung unterworfen worden. Die im Nachstehenden angegebenen Maaßzahlen für den Druck der Presse sind nicht die thatsächlich notirten Ablesungen, sondern die berichtigten wahren Werthe für den Druck.

Im Originalprotokoll sind die ersten Aufzeichnungen in schwarzer Farbe und die Aenderungen resp. Berichtigungen in Roth und Blau später hinzugefügt.

---

\*) Die oben genannten Seitenzahlen der Original-Protokolle sind beim Abdruck dieser Protokolle durch Zahlen am Rande kenntlich gemacht.

Hamburg, den 6. Dezember 1886.

**Berechnung der Stützen von 1 m Länge.**

Als freie Länge ist die Länge zwischen den Gelenk-Drehpunkten anzusehen.

$$l = 14 + 100 + 14 = 128 \text{ cm.}$$

**Stützen bei normaler Temperatur zu prüfen.**

Wenn  $S$  die Maximalkantenspannung bedeutet, bei welcher die Stütze eine Zer-  
 I 2 störung erleidet, beziehungsweise unbrauchbar wird,  $F$  den Eisenquerschnitt,  $E$  den  
 Elastizitätsmodul,  $l$  freie Länge zwischen den Gelenk-Mittelpunkten gemessen,  $J$  das  
 Trägheitsmoment,  $D$  den Stützen-Durchmesser und  $P$  die Last bedeutet, welche gerade im  
 Stande ist, die Säule zu zerstören, resp. gerade eben noch von derselben getragen  
 werden kann, dann ergibt sich die Last  $P$  nach folgender Formel, welche diesseits  
 neu aufgestellt worden ist:

$$P = SF \frac{1}{1 + \left( a + \frac{(l/2)^2 P a}{2 E J - \frac{5}{6} (l/2)^2 P} \right) \frac{F D}{2 J}}$$

$a$  ist die Größe der excentrischen Einspannung der Stütze. Hier ist  $a$  zu 1 cm  
 gewählt. Vergl. Fig. 7.

1. Gufssäule.  $D = 15$  cm äußerer  $\emptyset$  $d = 12$  cm innerer  $\emptyset$ freie Länge  $l = 128$  cm,  $E = 1\,000\,000$  kg.

Als Bruchfestigkeit für Gufseisen ist zuerst 2800 kg pro qcm angenommen  
 worden. Die Richtigkeit dieser Annahmen soll durch die Versuche erprobt werden.

$$F = \pi/4 (15^2 - 12^2) = 63,6 \text{ qcm}$$

$$J = \pi/64 (15^4 - 12^4) = 1466 \text{ in cm}^4.$$

I 3 Für  $P$  wird ein Näherungswerth angenommen, hiernach  $P$  berechnet, bis durch  
 weitere Versuche der richtige Werth  $P$  sich findet. Auf diese Weise wurde zuerst  $P$   
 zu 127 500 kg bestimmt und dann als letzter Näherungswerth  $P = 127\,000$  kg ver-  
 wendet. Bei Einsetzung von  $P = 127\,000$  ergibt sich:

$$(l/2)^2 P a = 520\,192\,000 \frac{F D}{2 J} = 0,325,$$

$$\frac{5}{6} \text{ davon} = 433\,500\,000,$$

$$2 E J = 2\,932\,000\,000,$$

$$f = 0,204 \text{ cm Durchbiegung in der Stützenmitte}$$

$$P = 2800 \cdot 63,6 \frac{1}{1,393} = 127\,500 \text{ kg.}$$

Rechnung Protokoll II, S. 22, mit den auf Grund der Versuche gefundenen Materialfestigkeiten  
 durchgeführt, ergibt für diesen Fall 190 200 kg.

Bei genau centrischer Einspannung würde sich berechnen bei  $S = 4300$ ,  $P = 4300 \cdot 63,6 = 273480$  kg.

## 2) Massiver Stab aus Gufseisen.

 $S = 2800$  zuerst angenommen. $D = 9$  qcm.

$$F = \frac{\pi D^2}{4} = 63,6 \text{ qcm.}$$

$$J = \frac{\pi}{64} 9^4 = 321,5 \text{ in cm}^4.$$

$$E = 1 \text{ Millionen kg.}$$

$$\text{Näherungswerth } P = 72 \text{ 000.}$$

$$(\frac{1}{2})^2 P a = 294 \text{ 912 000.}$$

$$\frac{5}{6} \text{ davon} = 245 \text{ 700 000.}$$

$$2 E J = 643 \text{ 000 000.}$$

$$\frac{F D}{2 J} = 0,89.$$

$$f = 0,743 \text{ cm Durchbiegung.}$$

$$P = 178 \text{ 000} \cdot \frac{1}{2,55} = 70 \text{ 000.}$$

$$\text{Mittelwerth } \frac{72 \text{ 000} + 70 \text{ 000}}{2} = 71 \text{ 000 kg.}$$

Nach Rechnung Protokoll II, Seite 23, ist die Bruchbelastung auf Grund der abgeleiteten Koeffizienten zu  $P = 116 \text{ 000 kg}$  ermittelt.

Für centrische Beanspruchung nach Euler

$$P = \frac{\pi^2 E J}{l^2} \leq 193 \text{ 500 maaßgebende Zahl.}$$

$$P = 7500 F \leq 477 \text{ 000.}$$

### 3. Massiver Stab aus Schmiedeeisen.

I 4

$$S = 2800 \text{ angenommen.}$$

$$P \text{ als Näherungswerth} = 80 \text{ 000 kg.}$$

$$E = 2 \text{ 000 000 kg.}$$

$$(\frac{1}{2})^2 P a = 327 \text{ 680 000.}$$

$$\frac{5}{6} \text{ davon} = 273 \text{ 000 000.}$$

$$2 E J = 1 \text{ 286 000 000.}$$

$$f = 0,323 \text{ Durchbiegung.}$$

$$P = 178 \text{ 000} \cdot \frac{1}{1 + (1 + 0,323) 0,89.}$$

$$P = 178 \text{ 000} \cdot \frac{1}{2,177.}$$

$$P = 81 \text{ 800 kg.}$$

$$\text{Mittelwerth } P = \frac{80 + 81,8}{2} = 81 \text{ 000 kg.}$$

Nach den Versuchen ist im Protokoll II, S. 24,  $P = 87 \text{ 000 kg}$  ermittelt.

Bei centrischer Belastung nach Euler  $P = 3000 \cdot 62 = 186 \text{ 000 kg}$ , da  $\frac{\pi^2 E J}{l^2}$  weitaus größer ausfällt.

### Stützen bei einseitiger Erwärmung zu prüfen.

Annahme: Temperatur der angespritzten Oberfläche  $100\text{--}200^\circ \text{ C}$ . Temperatur der dem Feuer zugekehrten Seite, etwa  $600^\circ \text{ C}$ . höher und zwar auf ganzer Länge der

Stütze. Die ausschließlich in Folge der einseitigen Erwärmung entstandene Durchbiegung der Stütze berechnet sich etwa nach S. 327. No. 55 der Deutschen Bauzeitung 1886

I 5

$$\text{zu: } v = \frac{l^2}{1400 D} \text{ bei Schmiedeeisen.}$$

$$v = \frac{l^2}{1600 D} \text{ bei Gufseisen.}$$

hier:  $D = 15$ ,  $l = 128$  cm.  $D = 9$  cm.  $l = 128$  cm.

Schmiedeeisen  $v = 0,78$  cm,  $v = 1,30$  cm.

Gufseisen  $v = 0,68$  cm,  $v = 1,136$  cm.

Als Maximalkantenspannung im erhitzten Zustande sei für die kältere Seite angenommen  $S = 1000$  kg pro qcm.

Durch die einseitige Erwärmung wird die ursprünglich vorhandene Excentricität, welche unabhängig von der Druckkraft  $P$  auftritt, von  $a$  auf  $(a + v)$  cm erhöht. Dementsprechend ist jetzt in die vorstehende Formel statt  $a = 1$  cm zu setzen:

bei  $D = 15$ ,  $l = 128$ ,  $D = 9$ ,  $l = 128$ .

Schmiedeeisen  $a + v = 1,78$  2,30

Gufseisen  $a + v = 1,68$  2,136

Obige Rechnung wurde nach den Versuchen durch die Angaben Protokoll II, Seite 27 ersetzt.

#### 4. Schmiedestütze warm $^{15}/_{12}$ Ø.

$$l = 128 \quad a' = a + v = 1,78$$

$$E = 2\,000\,000 \text{ kg.}$$

$$S = 1\,000 \text{ kg angenommen}$$

$$S. F = 63\,600$$

$$P \text{ als Näherungswerth} = 30\,000 \text{ kg}$$

$$(l/2)^2 \cdot P \cdot a = 218\,940\,000$$

$$^{5}/_6 (l/2)^2 \cdot P =$$

$$2 E J = 5\,864\,000\,000$$

$$f = 0,04 \text{ cm Durchbiegung.}$$

$$f = 0,04; v = 0,78; f + v = 0,82 \text{ cm ganze Durchbiegung.}$$

$$P = 63\,600 \cdot \frac{1}{1,59} = 40\,000 \text{ kg.}$$

confer. S. 32, Protokoll I.

I 6

$$\text{Mittelwerth } P = \frac{30 + 40\,000}{2} = 36\,000 \text{ kg.}$$

Statt 35 000 ist 36 000 gesagt, weil nicht genau die Mitte zu nehmen ist.

Obige Rechnung ist nach den Versuchen durch die Angaben Protokoll II S. 28 ersetzt.

#### 5. Schmiedeeisen, massiv, 9 cm Ø warm.

$$l = 128 \text{ cm} \quad a' = 2,30$$

$$D = 9 \text{ cm, } d = 0 \text{ cm, } v = 1,30$$

$$E = 2\,000\,000$$

$$S = 1000 \text{ kg}$$

$$F = 63,6 \text{ q cm}$$

$$J = 321,5 \text{ in cm}^4$$

$P$  Näherungswerth 20 000 kg.

$$(l/2)^2 P a^1 = 188\,400\,000 \text{ kg}$$

$$5/6 (l/2)^2 P = 68\,270\,000 \text{ kg}$$

$$2 E J = 1\,286\,000\,000 \text{ kg}$$

$f = 0,155 \text{ cm}$  Durchbiegung

$v = 1,300 \text{ cm}$  Wärmedurchbiegung

$1,455 \text{ cm}$  ganze Durchbiegung.

$$P = 63\,600 \frac{1}{3,185} = 20\,000 \text{ kg}$$

confer. S. 37, Protokoll I.

Obige Rechnung ist nach den Versuchen durch die Angaben Protokoll II, S. 30 ersetzt.

#### 6. Gufssäule, warm.

$$l = 128 \text{ cm}$$

$$D = 15 \text{ cm}, \quad d = 12 \text{ cm}$$

$$E = 1\,000\,000$$

$$S = 1000 \text{ kg}$$

$$F = 63,6 \text{ q cm}$$

$$J = 1\,466 \text{ cm}^4$$

$$P = 36\,000 \text{ Näherungswerth}$$

$$v = 0,68$$

$$a^1 = 1,68.$$

$$(l/2)^2 P a^1 = 247\,800\,000 \text{ kg}$$

$$5/6 (l/2)^2 P = 122\,900\,000 \text{ kg}$$

$$2 E J = 2\,932\,000\,000 \text{ kg}$$

$f = 0,088 \text{ cm}$  Durchbiegung durch Druck

$v = 0,680 \text{ cm}$  Durchbiegung durch Wärme

$f + v = 0,768 \text{ cm}$  ganze Durchbiegung

$$P = 63\,600 \cdot \frac{1}{1,564} = 40\,000 \text{ kg}$$

$$\text{Mittelwerth } P = \frac{36\,000 + 40\,000}{2} = 38\,000 \text{ kg,}$$

vergl. S. 32, Protokoll I.

Nach den Versuchen ersetzt durch die Angaben Protokoll II S. 27.

#### 7. Gufseisen, warm, massiv.

$$l = 128 \text{ cm}$$

$$D = \text{cm}, \quad d = 0 \text{ cm}$$

$$E = 1\,000\,000 \text{ kg}$$

$$S = 1000 \text{ kg pro qcm}$$

$$F = 63,6 \text{ qcm}$$

$$J = 321,5 \text{ cm}^4$$

$$P = 21\,000 \text{ kg Näherungswerth}$$

$$v = 1,13 \text{ cm}$$

$$a^1 = 2,13 \text{ cm}$$

$$(l/2)^2 \cdot P \cdot a^1 = 192\,000\,000 \text{ kg}$$

$$5/6 (l/2)^2 \cdot P = 71\,680\,000 \text{ kg}$$

$$2 EJ = 643\,000\,000 \text{ kg}$$

$f = 0,336 \text{ cm}$  Durchbiegung durch Druck

$v = 1,130 \text{ cm}$  Durchbiegung durch Wärme

$f + v = 1,466 \text{ cm}$  ganze Durchbiegung.

$$P = 63\,600 \cdot \frac{1}{3,18} = 20\,000 \text{ kg}$$

$$\text{Mittelwerth } P = \frac{21 + 20}{2} = 20\,500 \text{ kg}$$

vgl. S. 36, Protokoll I.

Nach den Versuchen ist obige Rechnung durch die Angaben Protokoll II, S. 29 ersetzt.

I 8 Die vorstehend, Seite 1 bis 7 Protokoll I ausgeführten Rechnungen sind von den nachstehend Unterzeichneten heute gemeinsam aufgestellt.

Hamburg, d. 6. Dezember 1886.

gez. M. Möller.

gez. F. Ekert.

#### A. Protokoll über Versuche, welche am 7. Dezember ausgeführt wurden.

No. 1. Hohle Gufssäule.

Äußerer  $\emptyset = 15 \text{ cm}$  revidirt,

innerer  $\emptyset = 12 \text{ cm}$  „

Länge d. St. = 100 cm

freie Länge zwischen den Gelenk-Mittelpunkten gemessen = 128 cm

Gewicht = 46 kg gemessen,

soll wiegen = 47,9 kg (berechnet),

bei S = 7,25 für Gufseisen.

a) Erster Versuch.

Beginn 10<sup>3</sup>/<sub>4</sub> Uhr Vormittag.

Durchbiegungen:

Zahl der Atm. an der Presse.	Bei Vorgang des Kolbens.	Bei Rückgang des Kolbens.
0	0 mm	
16,4	÷ <sup>3</sup> / <sub>4</sub> „	+ 1 mm
20,5	+ 1 „	+ 1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> „
25,4	+ 2 „	

Von unten nach oben zu lesen.

NB. Positive Durchbiegung gleich Durchbiegung nach unten, im Sinne der Excentricität. Negative Durchbiegung ist die Durchbiegung nach oben, entgegen der Excentricität.

b. 2. Versuch mit derselben Stütze.

19

Zahl der Atm.	Durchbiegung bei		Von unten nach oben zu lesen.
	Hingang	Rückgang	
	des Prefskolbens.		
	mm	mm	
0			≠ 0,0
?			÷ 0,9
13,1			+ 0,5
16,4	+ 1		+ 0,9
20,5			+ 1,1
25,4	+ 1½		

c. 3. Pressung.

			≠ 0,0
			÷ 1,0
?	+ 0,2		÷ 0,5
?	÷ 0,2		± 0,0
13,1	÷ 0,3		+ 0,5
16,4	± 0,0		+ 0,7
20,5	+ 0,2		+ 1,0
25,4	+ 0,5		+ 1,4
30,4	+ 1,0		+ 1,8
36,6	+ 2,0		+ 2,0
41,6	+ 2,1		

d. 4. Pressung.

Der umstehend S. 10 bezeichnete Krach erfolgte durch das Springen derjenigen Gelenkschale, welche sich gegen das massive große Fußstück des Apparates legt.

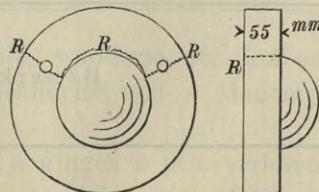


Fig. 5.

Die untergelegten Bleiplatten gaben etwas nach und entstanden in Folge dessen 2 Kantenrisse R.

I 10

Zahl der Atm.	Durchbiegung bei		Bemerkungen.
	Hingang	Rückgang	
	des Kolbens.		
	mm	mm	
0	÷ 0,5		
?	÷ 0,7		
13,1	÷ 1,0	+ 0,1	
16,4	÷ 0,5	+ 0,5	
20,5	÷ 0,2	+ 0,8	
25,4	± 0,0	+ 1,0	
30,4	+ 0,5	+ 1,1	
36,6	+ 0,7	+ 1,3	
41,6	+ 1,0	+ 1,5	
46,6	+ 1,2	+ 1,7	
51,6	+ 1,5	+ 1,9	
56,6	+ 1,9		
61,6	+ 2,3		
63,6	+ 2,5		Krach.
55,6	+ 1,8*		* Gleich nach dem Krach.
56,6	+ 2,0	+ 2,1	
61,6	+ 2,1		
66,6	+ 2,5		

## e. 5. Pressung.

Der umstehend S. 11 bezeichnete Krach erfolgte durch die Zertrümmerung der anderen Gelenkschale, welche sich direkt auf den Kolben der hydraulischen Presse stützt. Der Kolben ist hohl und drückte nun das Gußrohr des Halbkugelgelenkes wie eine Stanze in den Hohlkolben hinein, wobei die mit dem Gelenk einen Körper bildende 60 mm starke Gußplatte ganz zertrümmert wurde. Ein Stück flog 1,5 m weit mit lebhaftem Schlag gegen eine Holzplanke.

I 11

Vergl. Fig. 6 I S. 25.

Zahl der Atm.	Durchbiegung	Bemerkungen.
	bei Hingang des	
	Kolbens.	
	mm	
13,1		
28,4	+ 0,8	
66,6	+ 2,2	
71,6	+ 2,8	
74,6		Krach. Obige Zertrümmerung des Gelenkes erfolgt.

Da die Maschine nun unbrauchbar geworden ist, werden die Versuche auf Freitag, den 10. Dezember vertagt.

Das Gußrohr zeigt keine sichtbare Verbiegung und giebt, in hängender Lage *I 12* gehalten, einen reinen Klang, dasselbe ist völlig unbeschädigt.

Den Versuchen wohnten bei:

Der Gießereibesitzer	Herr Lühmann,
„ Bauunternehmer	„ Braun,
„ Ingenieur	„ Ekert,
„ Techniker	„ Wolff,
„ Unterzeichnete	„ M. Möller.

Hamburg, den 7. Dezember 1886.

(gez.) M. Möller.

(gez.) F. Ekert.

(gez.) R. Lühmann.

Aus den im Protokoll A. beschriebenen Versuchsergebnissen  
abgeleitete Rechnungs-Resultate.

*I 13*

Eine oft schwer zu entscheidende Frage ist diejenige nach der Größe der Reibungsverluste.

Bei den im Beisein des Unterzeichneten ausgeführten Bruchproben eines genieteten Trägers im Werk Harkort — siehe die Deutsche Bauzeitung, Jahrg. 1886 No. 63, wurde eine große Manschettenreibung (Lederstulpdichtung) etwa 15 pCt. vorausgesetzt. — Diese Reibung ist durch direkte Belastung ermittelt.

Die Kolben paßten jedoch wesentlich enger in die Cylinderbohrung, als bei der vorliegenden Presse.

Bei schwachem Druck kam dorten kein Wasser durch. Bei diesen Versuchen dagegen zeigte der Kolben einen sehr leichten Gang, auch quoll anfangs reichlich Wasser aus der Presse heraus, bis etwas mehr Druck gegeben war.

Es wurde eine Prüfung des Reibungs-Widerstandes dadurch herbeigeführt, daß man den Kolben der Presse erst vor-, dann zurückgehen ließ und nun den Unterschied im Druck an dem Manometer ablas, welchen die Umkehrung des Kolbenweges und mithin die Umkehrung der Richtung des Reibungswiderstandes nothwendiger Weise herbeiführen mußte.

*I 14*

Während gepumpt wurde, wanderte der Kolben vorwärts. Der Wasserdruck war  $W = F \cdot n$ , worin  $F$  Kolbenfläche und  $n$  Manometer-Ablesung in Atmosphären ausdrückt.

Von dem Druck  $W = F \cdot n$  gingen  $x$  pCt. verloren, so daß auf die Säule nur wirkten

$$P = W - \frac{x}{100} W = W \cdot \frac{100 - x}{100}$$

$$P = F \cdot n \cdot \frac{100 - x}{100} \text{ kg. } F \text{ in qcm. } n \text{ Atmosphäre.}$$

## Rückgang des Kolbens.

Obige Formel ist nur so lange richtig, als der Wasserdruck  $W$  größer ist, als der Druck  $P$  in der Säule, d. h. solange der Kolben vorwärts dringt, also Wasser zugepumpt wird.

Sobald man das Pumpen einstellt, drängt der Druck  $P$  in Folge der elastischen Wirkung der Stütze und des Wasserverlustes in den Ventilen den Kolben zurück. Dabei hat der Stützendruck  $P$  den Wasserdruck  $W$  und die Kolbenreibung zu überwinden. Die bezeichnete Gleichung lautet:

$$P = W + \frac{x}{100} W$$

$$P = F \cdot n_1 \cdot \frac{100 + x}{100} \text{ kg.}$$

*I 15* In dem Augenblick, wo man mit dem Pumpen aufhört und der Wasserverlust beginnt, müßte der Druck  $P$  in der Stütze noch derselbe sein, wie eine Sekunde zuvor, als der Kolben nach vorwärts drang.

Es müßte die Gleichung bestehen:

$$P = P$$

$$F \cdot n \cdot \frac{100 - x}{100} = F \cdot n_1 \cdot \frac{100 + x}{100}$$

$$\frac{n}{n_1} = \frac{100 + x}{100 - x}$$

Ist  $x$  z. B. = 10, d. h. der Reibungs-Widerstand der Presse 10 % vom Wasserdruck, dann ist:

$$\frac{n}{n_1} = \frac{110}{90} = \frac{11}{9}$$

Der Atmosphärendruck müßte also sofort nach dem Verhältniß 11:9 fallen, wenn mit Pumpen aufgehört würde. Bei den Versuchen in Harkort zeigte sich das Emporschnellen der Wasserpressung  $n$  bei dem Niederdrücken des Pumpenhebels sehr deutlich. Denselben folgte ein sofortiges Zurückgehen des Manometers um ein Erhebliches in jenem Moment, wo die Pumpe nicht mehr Wasser gab. Bei diesen Versuchen ad *a* bis *e* (Seite 8 bis Seite 10) konnte ein solches Zurückschnellen nicht konstatiert werden. —

Bei keiner der Reihen *a* bis *e* erfolgte das Zurückgehen des Druckes plötzlich, z. B. in Reihe *c* S. 9 höchstens 5 Atmosphären, nämlich von 35 auf 30 Atmosphären.

*I 16* Diesem Zurückgehen würde ein Reibungswiderstand entsprechen:

$$\frac{n}{n_1} = \frac{100 + x}{100 - x} = \frac{35}{30} = \frac{7}{6}$$

$$600 + 6x = 700 - 7x$$

$$13x = 100$$

$$x = 7,7$$

Der Reibungswiderstand kann hier nicht größer gewesen sein, als 7,7 %. Dieser Werth ist aber auch nicht einmal erreicht, denn mit dem Rückgange des Kolbens

hatte sich die Säule schon etwas ausgedehnt und war die Durchbiegung schon von 2,1 auf 2,0 zurückgegangen, so daß dieselbe ebensoviel betrug, wie vorhin bei 30 Atmosphären, die Ablesungen also für den Reibungswiderstand eine hier nicht genau meßbare kleine Größe ergeben, von welcher nur gesagt werden kann, daß sie kleiner sei, als 7,7 % des ganzen Wasserdruckes.

## 2. Beispiel.

Wir finden, daß bei dem Zurückgehen des Kolbens stets zu gleichen Manometer-Ablesungen größere Säulen-Durchbiegungen abgelesen worden sind, als bei dem Hingang des Kolbens. Z. B. S. 10 Reihe *d* findet sich für Hingang des Kolbens 2,1 mm *I 17* Durchbiegung bei 55 Atmosphären und desgleichen 2,1 mm Durchbiegung bei 50 Atmosphären für den Rückgang des Kolbens.

$$\frac{n}{n} = \frac{100 + x}{100 - x} = \frac{55}{50} = \frac{11}{10}$$

$$1000 + 10x = 1100 - 11x$$

$$21x = 100$$

$$x = 4,8.$$

Hieraus ergibt sich also der Reibungswiderstand zu 4,8 % des Wasserdruckes, wenn man annehmen könnte, daß zu beiden Zeiten die um 2,1 mm durchgebogene Stütze gleiche Reaktion in Folge ihrer Elastizität auf den Kolben ausgeübt haben würde. Diese Annahme ist für die der Zeit nach dicht bei einander liegenden Ablesungen angängig, jedoch nicht mehr für Ablesungen, welche in weiteren Abständen von einander ausgeführt sind und zwischen welchen die Säule viel höheren Spannungen ausgesetzt war.

Wir gewinnen also die feste Ueberzeugung, daß die Reibungswiderstände der *I 18* Maschine, insbesondere die Lederstulpreibungen nicht mehr als 5 pCt. des ganzen *u. 19* Wasserdruckes betragen haben.

Vergleiche Protokoll II. hinten, woselbst die im Sommer 1887 angestellten Untersuchungen aufgeführt sind.

Als Reibungswiderstand der Presse wird fortan 5 pCt. in Ansatz gebracht werden.

Größe der bleibenden Durchbiegung am Stabe Versuchs-Reihe S. 10 d *I 20* No. 4. gemessen.

Bei diesen Proben wurden 66,6 Atmosphären erreicht, das macht für den Kolbenhingang 128 252 kg Pressung, nach vollzogenem Abzug der Reibungs-Widerstände

$$\text{Material-Beanspruchung im Mittel } \frac{128\ 252}{63,6\ \text{qcm}} = 2016\ \text{kg pro qcm.}$$

An der konkaven (oberen) Faser ist die Maximalspannung 2800 kg pro qcm erreicht.

Die bleibenden Durchbiegungen müßten bei der hohen Beanspruchung wohl *I 21* größer ausgefallen sein, als + 2,0 mm, wenn die in manchen Büchern enthaltenen Angaben über die Elastizitätsgrenze richtig wären, siehe Handbuch der Baukunde I) Hilfswissenschaften, S. 612.

Elastizitätsgrenze in Tonnen		in kg
Schmiedeeisen	1,5	1500
Stahl . . .	3,5	3500
Gufseisen . .	0,75	750

Da bei 2800 kg Materialbeanspruchung pro qcm die Stütze noch nicht so deformirt wird, daß nach Entlastung derselben eine wesentliche Durchbiegung verbleibt, erscheint der Grenz-Koeffizient (Elast.-Grenze) = 750 kg zu klein angegeben zu sein.

*I 22* Vergleichung der aufgetretenen mit der berechneten Durchbiegung

Seite 11 e — 5. Probe.

66,6 Atmosphären-Pressung beim Hingang des Kolben entspricht =  
128 252 kg.

Die gemessene Durchbiegung = 2,5 bis 3,5 mm.

Berechnet Seite 3 für  $P = 127\ 500$  kg  $f = 0,204$  cm. Die Differenz, um welche die wirklich eingetretene Durchbiegung sich größer stellt als die berechnete, betrug bei der 5. Probe  $2,5 - 2,0 = 0,5$  resp.  $3,5 - 2,0 = 1,5$  mm.

Dieser Ueberschuß ist durch den im Protokoll II zum Schlufs geführten Nachweis erklärt, daß bei Ablesung der Durchbiegung das Kanten des Kolbens mitgemessen wurde und dieses die Werthe der Ablesung in fehlerhafter Weise erhöhte.

Die größte Last, welche die Stütze ohne Nachtheil für dieselbe getragen hat.

Pressung 5 S. 11. — 74,6 Atmosphären.

74,6 Atmosphären entsprechen nach Abzug der Reibung = 143 659 kg.

*I 23* Die mittlere Beanspruchung der Säule war dabei  $\frac{143\ 659}{63,6} = 2260$  kg. Die Maxi-

mal-Kantenspannung an der oberen konkaven Seite der Stütze rund 3170 kg pro qcm.

Die Presse darf nur bis 100 Atmosphären arbeiten, dieselbe liefert alsdann 192 580 kg Druck (nach Abzug d. R.); die Kantenspannung, welche diesem Druck entspricht, berechnet sich nach der Formel S. 2 wie folgt:

$$P = SF \frac{1}{1 + \left( a + \frac{(\frac{l}{2})^2 \cdot P \cdot a}{2 EJ - \frac{5}{6} (\frac{l}{2})^2 P} \right) \frac{FD}{2J}}$$

Hier:

$$P = 192\ 500$$

conf. S. 3.

$$F = 63,6$$

$$a = 1,0 \text{ cm}$$

$$(\frac{l}{2}) = 64$$

$$2 EJ = 2\ 932\ 000\ 000$$

$$\frac{FD}{2J} = 0,325$$

$$(\frac{l}{2})^2 P \cdot a = 788\ 480\ 000$$

$$\frac{5}{6} \text{ davon} = 657\ 000\ 000$$

$$f = \frac{7885}{29\ 320 - 6570} = 0,347 \text{ cm}$$

$$192\,500 = S \cdot 63,6 \frac{1}{1 + (1,0 + 0,347) 0,325}$$

$$\frac{192\,500}{63,6} = S \cdot \frac{1}{1,438}$$

$$3027 \cdot 1,438 = S = \mathbf{4350 \text{ kg.}}$$

Da bei dieser Spannung jedoch unbedingt die Elastizitätsgrenze so sehr überschritten sein wird, daß die Deformation viel größer ausfällt, als sich nach vorstehender Formel berechnet, welche nur bei Spannungen bis zur Elastizitätsgrenze Gültigkeit hat, so werden sich bei einem eventuellen Druck von  $P = 192\,580 \text{ kg}$  noch weitaus größere Materialspruchungen einstellen als umstehend zu  $S = 4350 \text{ kg}$  berechnet sind, und ist also anzunehmen, daß die Gufssäule bei dem Druck von 100 Atmosphären zerpreßt sein wird.

Hamburg, den 7. Dezember 1886.

(gez.) M. Möller.

Vergl. Abhandlung I, 3.

Nach einer heute stattgehabten Unterhaltung mit Herrn Ingenieur Ekert erklärt sich derselbe das Schwanken der Durchbiegung in Nähe des Nullpunktes dadurch, daß Herr Ekert annimmt, es werde selbst durch ein eingehaftetes Kugelgelenk die Kraft-richtung nicht genau centrirt. Die im Gelenk auftretende Reibung, verbunden mit einem zufällig vorhandenen, zwar unsichtbaren einseitigen Anliegen könne eine anfängliche Abweichung der Drucklinie im Gefolge haben.

Hieraus ließe sich vielleicht die größere gemessene gegenüber der kleineren berechneten Durchbiegung erklären. Später auch auf Fehler am Manometer zurückgeführt.

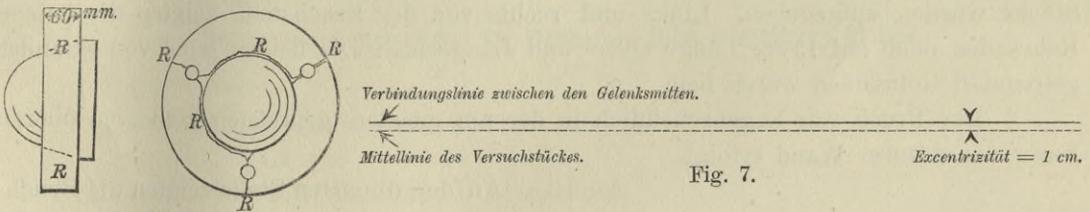


Fig. 6.

Fig. 7.

Der Rifs  $R$  in der zertrümmerten Gelenkplatte verläuft als Kegelmantel vom Rande des Kugelgelenkes nach der inneren Lochleibung des Pumpenkolbens.

Hamburg, den 8. Dezember 1886.

(gez.) M. Möller.

**B. Zweiter Versuchstag den 9. Dezember 1886. Diese Säule soll No. 8 genannt werden.**

Um die neu ersetzte, jetzt 14 cm stark gemachte Platte am Kolben zu prüfen, welche am 7. zersprungen war, wurde ein 1,0 m langes Ausschufsrohr  $150/120 \text{ mm } \varnothing$  eingespannt. Das Rohr war gänzlich excentrisch gegossen, die Wandstärke war auf der einen Seite 1 cm, auf der anderen Seite 2 cm. Zunächst wurde das Rohr mit der dicken Wandung nach oben liegend eingebracht, so daß die anfängliche Excentricität der Druckkraft klein war.

Die Rohrmitte lag nun 1 cm tiefer, als die Lage der durch die Gelenkmitten gehenden Kraft, die Rohrschwerlinie lag aber auch 1 cm über der Rohrmittellinie, so daß keine anfängliche Excentricität rechnerisch nachgewiesen werden konnte. Die Stütze bog sich nach unten durch, und zwar wahrscheinlich deshalb, weil an dem einen Ende der Säule die Excentricität des Gusses nicht ganz so groß war.

Bei 106,6 Atmosphären Druck = 205 290 kg (nach Abzug der 5 pCt. Reibung) bog sich das Rohr 6 mm nach unten durch. Darauf wurde der Druck abgelassen, und zeigte sich nun bei 13,1 Atmosphären-Druck eine Durchbiegung von 4 mm. Das Rohr wurde geprüft, hatte einen guten, hellen Klang und war gesund.

I 27 Darauf wurde das Rohr umgewendet. Die dünne Wandung lag jetzt oben. Die Rohrachse befand sich an den Rohrenden 1 cm unterhalb der von Gelenk zu Gelenk gehenden Lage der Druckkraft. Abermals 1 cm tiefer befand sich die Schwerlinie der Rohrquerschnitte, so daß die anfängliche Excentricität 2 cm betragen haben würde, wenn das Rohr nicht vom vorausgehenden Versuch 4 mm Durchbiegung besessen hätte, welche nun, wo das Rohr gewendet war, nach oben gerichtet war und für die Berechnung der Excentricität der Rohrmitte (auf halber Länge ist gemeint) nun von obigen 2 cm in Abzug zu bringen war, so daß 1,6 cm Anfangsexcentricität verbleibt.

Bei dem Versuch hielt dies Rohr nun 101,6 Atmosphären = 195 660 kg Pressung aus, wobei die Durchbiegung in der Mitte 25 — 26 mm erreichte. Bei 101,6 Atmosphären stieg der Druck trotz des Pumpens nicht mehr und brach nun mit lautem Krach das Rohr entzwei, indem es nach unten durchschlug und einen daselbst liegenden Rost total zertrümmerte.

I 28 Auf etwa 20 cm Länge war die Säule in der Mitte zersplittert, etwa 10 größere Stücke wurden aufgehoben. Links und rechts von der Bruchstelle zeigten die beiden Rohrenden noch auf 15 cm Länge Quer- und Längsrisse. Die beiden ganz von einander getrennten Rohrenden waren heil.

Der Bruch war augenscheinlich in der am meisten geprelsten konkaven oberen Faser der dünnen Wand erfolgt.

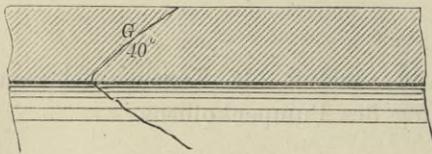


Fig. 8.

An der dünnsten Stelle zeigten die Bruchflächen muschelförmige Gleitflächen  $G$ , welche starke Reibungen erkennen ließen und blank gequetschte Streifen besaßen. Zwei solcher Flächen waren je 4 cm breit und 1,5 cm lang (in der schrägen Linie gemessen). Daselbst zeigten sich am Ausgangsorte der Scheerfläche auf der Säulenoberfläche auch eingebrannte kleine Schlackentheile. Die Bruchflächen der dicken unteren Wandung zeigten ein reines Korn.

NB. Nach dem Versuche waren die Gelenke, fast in ihrer ganzen Fläche, innen und auf der Halbkugel, wie polirt, das Oel war herausgequetscht.

Berechnung der Maximal-Kantenspannung obiger Stütze.

$$S = Sb \text{ (Biegungsspannung)} + Sm \text{ (mittlere Druckspannung).}$$

$$Sb = \frac{M}{J/w} \quad Sm = \frac{P}{F}.$$

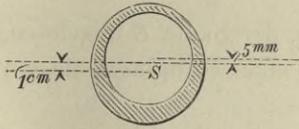


Fig. 9.

$$S = \frac{P}{F} = \frac{M}{J/w}$$

$$M = P \cdot e$$

$$e = 1,5 + (\text{Durchbiegung } 2,6)$$

$$e = 4,1$$

$$P = 195\,660 \text{ kg}$$

$$J = \pi/64 (D^4 - d^4)$$

$$+ \pi/4 (d^2 \cdot 1,5^2 - D^2)$$

$$= 1466 \div 78 = 1388 \text{ cm}^4$$

$$\text{für die obere Faser } w = \frac{15}{2} + 1 = 8,5 \text{ cm}$$

$$\text{„ „ untere „ } w = \frac{15}{2} \div 1 = 6,5$$

$$S = \frac{195\,660}{63,6} + \frac{195\,660 \cdot 4,1}{1388/8,5}$$

$$S = 7990 \text{ kg Druck}$$

pro qcm in der oberen, konkaven Faser.

Die Bruchfestigkeit in der am stärksten beanspruchten Faser betrug hiernach 7990 kg, wenn man als Durchbiegung 2,6 cm annimmt. Nach den Angaben im Protokoll II hinten, ist die wahre Durchbiegung aber einige Millimeter kleiner, als die abgelesene, und wird daher obige Zahl etwas kleiner ausfallen.

Beanspruchung der unteren Faser:

$$S = + 639$$

In der unteren Faser der konvexen Säulenseite herrschte zur Zeit des Bruches I 30 etwa 639 kg Zugspannung.

Hamburg, den 9. Dezember 1886.

gez. M. Möller.

### C. Dritter Versuchstag den 10. Dezember 1886 Vormittags 10 Uhr.

Zugegen waren:

I 31

Herr R. Lühmann,

„ Ekert,

„ Wolff und der Unterzeichnete

„ M. Möller.

#### Proben im Feuer.

Statt Holzfeuerung, wie Herr Professor Bauschinger dieselbe anwendete wurde Koksfeuerung benutzt, damit die Glühhitze schneller erzielt werde.

Die Säulen wurden ganz in Koks gebettet, so daß nur  $\frac{1}{2}$  der Säulenoberfläche frei blieb. Zum Messen der Temperaturen wurde je ein Konus aus Blei, aus Antimon und aus Blei und Silber verwendet. Die Befestigung geschah durch einen Halter mit Handgriff.

Vergl. Fig. 1 der Abhandlung.

Schmelzpunkt des Bleies 330° C.

„ „ Antimons 440° C.

Letzteres schmilzt nicht recht, es wird weich und verdampft sofort bei jener Temperatur.

Schmelzpunkt der Legirung aus

39 Theilen fein Silber . } liegt bei 600° nach den Angaben  
und 61 Gew.-Theilen Blei . } des Herrn Prof. Bauschinger.

siehe S. 2 Heft 12, Mittheilungen des Mech. Laborat. München.

Vergl. hier Blatt 1.

I 32 Die Durchbiegung wurde mit dem Hebel *H* an der Skala *S* abgelesen, Uebersetzung 1 : 4. Die Ablesung erfolgte unter Zuhülfenahme eines Fernglases, dessen Höhenlänge durch ein Stativ fixirt war (Nivellirinstrument).

Die Fehler dieses Hebels, welche in Folge einseitiger Erwärmung des Hebels 1 entstehen konnten, mußten kleiner sein, als 0,3 mm, denn bei Prüfung des Einflusses einseitiger Erwärmung durch einseitiges Uebergießen des Hebelendes 1 (obere Seite) mit Wasser zeigte sich nur eine Differenz von 0,6 mm. Da nun bei dem Gebrauch der Hebel nur wenig einseitig erwärmt war, so kann das Fehlzeigen während der Benutzung höchstens 0,2 mm erreicht haben.

Säule 6 der vorne Seite 6 berechneten Stützen-Warmprobe.

Säule aus Gufseisen, äußerer Durchm. 150 mm

innerer " 120 "

Gewicht = 45,0 kg.

Länge der Säule = 1,00 m

freie Länge zwischen den Gelenkmittelpunkten = 1,28 "

Bei geringer Pressung hängen die Gelenkschalen noch durch, erst bei 13,1 Atmosphären ist die Stütze als richtig eingespannt zu betrachten, daher beginnen die Ablesungen erst bei 13,1 Atmosphären, nachdem bei diesem Druck die Skala auf 0 eingestellt worden ist. Solange kein Druck in der Presse ist, rieselt reichlich Wasser aus derselben, nachdem aber einige Atmosphären Druck erreicht sind, hält die Presse völlig dicht.

I 33

Pressung *a* vom 10. Dezember 1886.

Atmosphären- Druck	Zeitangabe		Durch- biegung in mm	Bemerkungen
	Stund.	Min.		
13,1	9	21	+ 0	Feuer angesteckt.
25,4	9	25	+ 1,0	Das Feuer brennt nur langsam durch. Die Koks glühen nur im Grunde des Feuerkorbes.
25,4	9	30	+ 1,4	
25,4	9	35	+ 2,4	
25,4	9	40	+ 3,9	
25,4	9	45	+ 3,2	Koks werden nachgefüllt.
25,4	9	50	+ 3,4	Blei schmilzt unten.
25,4	9	55	+ 4,0	Antimon schmilzt unten.
25,4	10	0	+ 4,7	Das Rohr glüht unten. Es wird das Rohr auf der ganzen Länge oben mit Wasser bespritzt.

Atmosphären- Druck	Zeitangabe		Durch- biegung in mm	Bemerkungen
	Stund.	Min.		
25,4	10	1	+ 5,7	
25,4	10	2	+ 7,0	
25,4	10	2½	+ 8,5	Es wird mit Spritzen aufgehört.
25,4	10	5	+ 6,4	
25,4	10	8	+ 3,0	Die + Durchbiegungen bedeuten Durchbiegungen des Rohres nach unten gegen das Feuer, entsprechend der Excentrizität und Wärme.
25,4	10	10	+ 2,4	
25,4	10	12	+ 2,0	
25,4	10	13	+ 1,4	
25,4	10	15	+ 1,6	
25,4	10	20	+ 2,0	Das Feuer wird durch einen Blasebalg aufgefrischt.
25,4	10	25	+ 2,6	
25,4	10	30	+ 3,9	Blei schmilzt unten.
25,4	10	34	+ 3,6	
25,4	10	37	+ 2,5	Antimon schmilzt an der Seite.
25,4	10	38	+ 2,0	Blei schmilzt oben auf dem Rohre.
25,4	10	39	+ 1,0	Es wird oben das Rohr bespritzt und zugleich der Druck gesteigert.
25,4	10	40	÷ 0,5	
30,4			÷ 4,0	
36,6			÷ 7,0	
39,6—41,6			÷ 25,0	Knacken. Das Rohr ist oben gesprungen. Vergl. Blatt 10, Fig. d.

25,4 Atmosphären hat das Rohr mit Sicherheit auch während des Anspritzens *I 34* getragen.

36,6—41,6 Atmosphären konnte das Rohr auch noch ertragen, wobei die Durchbiegung aber schnell wuchs, und der Bruch erfolgte

$$36,6 \infty 41,6 \text{ Atmosphären} = 70\,480 \infty 80\,120 \text{ kg.}$$

Säule 4 der vorne S. 5 berechneten Stützen.

Schmiederohr  $^{150}/_{120}$  bestellt gemessen 152 mm äußerer und 123 mm innerer Durchm.  
Gewicht 48,5 kg.

Während bei dem voraufgehenden Versuch das Feuer erst angemacht wurde, als die Säule schon eingespannt war, wurde diese Säule in stark glühendes Feuer gelegt.

Atmosphären- Druck.	Zeitangabe.		Durch- biegung. mm	Bemerkungen.
	Stund.	Min.		
13,1	10	55	± 0	
25,4	10	57	+ 0,8	
25,4	10	57 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	+ 1,4	
25,4	11	0	+ 3,0	
25,4	11	2	+ 4,0	Blei schmilzt unten.
25,4	11	5	+ 3,6	
25,4	11	6	+ 3,0	Blei schmilzt auch an der Seite.
25,4	11	9	± 0	Antimon schmilzt unten.
25,4	11	11	÷ 1,2	Blei schmilzt oben an der Seite und Mitte. Es wird oben gespritzt.
25,4	11	12	÷ 4,0	
			÷ 8,0	
25,4	11	14	÷ 15,0	Der Druck wird wenige Sekunden ermäßigt, um zu sehen, ob 20 nicht zu viel ist.
16,4			÷ 15	
20,5			÷ 14	
20,5			÷ 16	
25,4			÷ 24	
25,4	11	15	÷ 31	
31,6			÷ 50	
25,4			÷ 60	
23,4			÷ 70	
13,1	11	18	÷ 80	
16,4				
20,5			÷ 95	
20,5			÷ 110	
20,5			÷ 115	
?	11	20		Die Schmiedesäule fliegt nach oben aus den Gelenken heraus. Kein Rifs vorhanden. Die Schmiedestütze hat 25,4 Atmosphären vor dem Anspritzen ausgehalten. Während und nach dem Anspritzen trug die Stütze 20,5 Atmosphären = 39 400 kg mit einiger Sicherheit. Die Durchbiegung nahm bei 20,5 Atmosphären etwas ab. Bei 31,4 Atmosphären = 60 800 kg erfolgte die gänzliche Verbiegung der Stütze. Dies entspricht einem Druck von 956 kg im Mittel pro qcm.

## Säule 7 der vorne Seite 7 berechneten Stütze.

I 36

Gufseisen massiv Durchm. = 9,0  $\infty$  9,2,Gewicht = 46,75,  $L = 1,0$ .Pressung  $c$  vom 10. Dezember 1886.

Atmosphären- Druck.	Zeitangabe		Durch- biegung. mm	Bemerkungen.
	Stund.	Min.		
13,1	11	35	$\pm 0$	Das Feuer ist so heiß, wie bei Pressung $b$ .
17,2	11	37,5	+ 1,0	
17,2	11	38	+ 1,2	
17,2	11	40	+ 1,6	
17,2	11	41	+ 2,6	Ruck in den Gelenken.
17,2	11	45	+ 3,0	Blei schmilzt unten.
	11	48		do. an der Seite.
17,2	11	50	+ 3,0	Antimon schmilzt unten.
17,2	11	55	+ 3,0	Silber schmilzt unten.
				Blei oben noch nicht.
17,2	11	58	+ 3,0	Blei schmilzt oben.
17,2				Es wird gespritzt und zwar oben.
17,2			+ 4,0	
17,2	12	0	+ 12,0	Es wird aufgehört mit Spritzen.
17,2	12	1	+ 8,0	Blei schmilzt nun oben und unten.
17,2	12	4	+ 7,6	Antimon schmilzt unten nicht.
17,2	12	6	+ 8,2	
17,2	12	10	+ 9,6	Silber schmilzt unten.
				Blei schmilzt oben.
17,2	12	13	+ 13,0	Es wird gespritzt.
17,2			+ 20,0	Die Säule soll zerstört werden.
21,5			+ 30,0	
16,4			+ 45,0	
13,1	12	14	+ 48,0	In 2 Stücke zerbrochen. Bruch körnig, ohne Gleitflächen. Bruchflächen zeigen gewöhnliche Gufseisen-Struktur. Der Bruch erfolgte glatt durch die Säule.

Die Stütze hielt 17,2 Atm. = 33 200 kg vor dem Anspritzen mit Sicherheit und I 37 nach dem Anspritzen eben noch aus. Bei Steigerung des Druckes bei dem Anspritzen, resp. gleich darauf leistete die Stütze noch bis 21,5 Atm. = 41 400 kg Widerstand und verlor dann schnell an Widerstandsfähigkeit, bis sie brach.

## Stütze 5 der Seite 6 berechneten Säulen.

$$L = 1,0.$$

Schmiedeeisen massiv  $\varnothing$  8,8 mm.

Gewicht = 46,5 kg.

Pressung  $d$  vom 12. Dezember.

Atmosphären- Druck	Zeitangabe		Durch- biegung mm	Bemerkungen
	Stund.	Min.		
13,1	12	25	$\pm 0$	Das Feuer brannte hell, wie bei $c$ und $b$ .
17,2	12	30	+ 0,5	
17,2	12	35	+ 1,2	
17,2	12	37	+ 1,6	Blei ist unten schmelzend.
17,2	12	40	+ 2,1	
17,2	12	45	+ 2,8	Blei schmilzt oben überall, unten schmilzt Silber-
17,2	12	48	+ 3,3	lösung. Es wird oben gespritzt.
17,2	12		+ 4,5	Es stellt sich keine größere Durchbiegung ein. Es
				wird auf's Neue erwärmt. Blei schmilzt oben
				Silber-Legirung schmilzt unten.
20,5			+ 7,0	Zweite Spritzung um die Stütze zu zerstören.
18,9			+ 15	
17,2			?	Die Säule liegt unten auf den Koks auf.
13,1	12	55	+ 55	Mit Sicherheit getragen beim Anspritzen auf 17,2
				Atm. = 33 200 kg. Zerstört bei 20,5 Atm. =
				39 400 kg.

I 38

## Kalte Proben am Nachmittage des 12. Dezember 1886 ausgeführt.

Stütze 2 der Seite 3 berechneten Stützen.

Gufseisen massiv 9,0  $\infty$  9,2 Durchm.Gewicht 48,25 kg.,  $L = 1,0$ .

Ablesung am Keilschieber 2,5 mm.

Pressung  $e$  vom 10. Dezember 1886.

Atm.	Durchbiegung		Bemerkungen
	Hingang des Kolbens	Rückgang	
13,1	$\pm 0,0$	+ 0,5	Bei dem Kolben-Rückgang wird etwas Wasser aus
20,5	+ 0,0	+ 0,9	der Presse abgelassen.
25,4	+ 0,5	+ 1,0	

Atm.	Durchbiegung		Bemerkungen
	Hingang des Kolbens	Rückgang	
30,4	+ 0,8	+ 1,2	Es wurden die Durchbiegungen zum Theil nun auch unter Zuhülfenahme eines Keiles gemessen, welcher zwischen einer langgestreckten, an den Enden auf den Gelenkstücken aufliegenden Latte und der Säule durchgeschoben wurde. $3,0 \div 2,5 = 0,5$ mm bleibende Durchbiegung.
36,6	+ 1,3	+ 1,4	
41,6	+ 1,5	+ 1,6	
46,6	+ 2,0		

Pressung  $f$  vom 10. Dezember 1886.

16,4	+ 0,5
20,5	+ 0,8
25,4	+ 1,0
30,4	+ 1,3
36,6	+ 1,7
41,6	+ 1,9
46,6	+ 2,2
51,6	+ 2,7
56,6	+ 3,0
61,6	+ 3,8
66,6	+ 5,0
71,6	+ 5,5
76,6	+ 6,5
81,6	+ 7,8
86,6	+ 8,5
91,6	Bruch

91,6 Atmosphären = 176,4 t.

Gleitflächen sind in der gedrückten Faser nicht entstanden, dagegen einige *I 39* kleine Risse *R*, welche auf ein Verschieben des Materiales deuten können. Dieselben gehen von den Zacken aus, welche ein etwas muschelartiges Aussehen haben.

Bis 51,6 Atmosphären steigt die Durchbiegung bei je 5 Atmosphären Drucksteigerung um 0,2 bis 0,3 mm. Diese Last wird also mit voller Sicherheit getragen.

Bei 91,6 Atmosphären = 176 400 kg erfolgte der Bruch.

Die Durchbiegungen bleiben hinter den berechneten Durchbiegungen zurück.

Vergl. Protokoll I S. 3 u. S. 49.

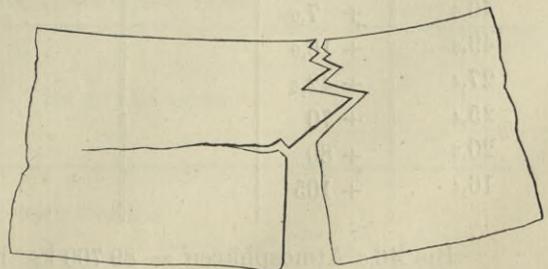


Fig. 10.

Stütze aus Schmiedeeisen, massiv,  
confer. 3 Seite 4 der vorne gegebenen Berechnung.

$$\varnothing = 8,8 \text{ mm} \infty 9,0 \text{ mm}$$

$$\text{Gewicht} = 46 \text{ kg}$$

$$\text{Länge} = 0,985 \text{ m}$$

Messung am Keilschieber 9,2 mm.

I 40

Pressung  $g$  vom 10. Dezember 1886.

Atm.	Durchbiegungen		Bemerkungen
	Hingang des Kolbens mm	Rückgang mm	
		+ 2,0	
13,1	+ 0,2	+ 2,5	
16,4	+ 0,5	+ 2,0	
20,5	+ 1,5	+ 3,6	
25,4	+ 1,8	+ 4,3	
30,4	+ 2,6	+ 4,8	
36,6	+ 3,7	+ 5,1	
41,6	+ 4,5	+ 5,7	
46,6	+ 5,0		
46,6	+ 6,0		

Keilscheiben 10,5. Bleibende Durchbiegung gemessen  $10,5 - 9,2 = 1,3$  mm.

Pressung  $h$  vom 10. Dezember 1886.

13,1	+ 2,0	
16,4	+ 2,5	
20,5	+ 3,0	
25,4	+ 4,0	
30,4	+ 4,4	
36,6	+ 5,5	
41,6	+ 6,0	
46,6	+ 7,0	
49,6	+ 16,0	
27,4	+ 42,5	
25,4	+ 70	
20,5	+ 80	
16,4	+ 105	

Bis 46,6 Atmosphären = 89 700 kg hat die Stütze mit Sicherheit ihre Last getragen. Dabei wuchs die Durchbiegung von 5 zu 5 Atmosphären um fast je 1 mm.

Bei 49,6 Atmosphären = 95 500 kg erfolgte die Zerstörung.

I 41

Die Durchbiegungen sind immer auf die Sehne der Länge  $L = 1,28$  m, hier 1,265 m bezogen.

Die bleibende Deformation an dem Versuchsstück selbst, also für 0,985 m Länge der Sehne, beträgt 54 mm.

Das Versuchsstück ist ohne Beschädigung im Material.

Gufssäule 150/120 stark bestellt, vorne Seite 2 in der Berechnung mit 1 bezeichnet.

Gemessen  $D = 15,0$  cm,

$d = 12,2$  cm,  $L = 1,0$  m.

Die Säule ist an dem einen Ende excentrisch, die dünne Wandung wird nach oben gekehrt.

Messung am Keilschieber = 18,2.

Pressung  $i$  am 10. Dezember 1886.

Atm.	Hingang mm	Rückgang mm	Bemerkungen
13,1	+ 0,2	+ 1,0	
16,4	+ 0,9	+ 2,0	
20,5	+ 1,4	—	
25,4	—	—	
30,4	+ 2,1	+ 2,5	
36,6	+ 2,8	—	
41,6	+ 3,0	+ 4,1	
46,6	+ 3,5	+ 4,5	
51,6	+ 4,0	+ 4,8	Keilmessung bei 13,1 Atmosphären nach dem Versuch = 18,5, bleiben Durchbiegung 18,5 — 18,2 = gemessen = 0,3 mm.
56,6	+ 4,4	+ 5,0	
61,5	+ 5,0	+ 5,4	
66,6	+ 5,7		

Pressung  $k$  vom 10. Dezember 1886.

I 42

Atm.	Hingang des Kolbens mm	Bemerkungen
13,1	+ 1,0	Die Stütze soll zerstört werden.
16,4	+ 1,6	
20,5	+ 2,0	

Atm.	Hingang des Kolbens	Bemerkungen
	mm	
25,4	+ 2,5	
30,4	+ 2,8	
36,6	+ 3,3	
41,6	+ 3,7	
46,6	+ 4,0	
51,6	+ 4,4	
56,6	+ 4,6	
61,6	+ 5,2	
66,6	+ 5,6	
71,6	+ 6,3	
76,6	+ 7,0	
81,6	+ 8,5	
86,6	+ 10,0	
91,6	+ 11,5	
96,6	+ 16,0	
101,6	+ 20,0	
96,6	+ 26,0	Bruch erfolgt.

Der Bruch erfolgte etwa 15 ~ 20 cm vom Säulen-Ende, daselbst war die Säule am stärksten excentrisch, nämlich dieselbe zeigte oben 14, unten 18 mm Wandstärke und kleine Stellen mit kalter Schweiß. Genau der ganze obere Theil des Querschnittes zeigte Scheerflächen derselben Neigung, wie früher (vergl. S. 28) befunden wurde. Einige Scheerflächen wiesen nach innen, andere nach außen, dazwischen zeigten sich I 43 scharfe Schneiden. Die Scheerflächen waren ganz blank gerieben. Unterhalb der neutralen Faser zeigte sich körniges Gefüge, wie normaler Bruch von Gufseisen.

Bis zu 76,6 Atmosphären d. h. 147,5 t trägt die Säule noch mit voller Sicherheit. Bei 101,6 Atmosphären = 195 660 kg verbog sie sich bedeutend und brach alsdann in Folge von Materialfehlern, resp. ungenauer Wandstärke. Das Rohr hielt genau so viel, wie das Seite 26 und 27 benannte Rohr.

Hamburg, den 10. Dezember 1886.

(gez.) M. Möller.

Dem Versuchen wohnten bei am Vormittage:

(gez.) Herr R. Lühmann

„ „ Ekert

„ „ Wolff.

Der Protokollführer M. Möller.

Am Nachmittage ferner:

Herr E. Braun.

(gez.) R. Lühmann.

Berechnung der in vorstehenden Versuchs-Stücken *C* aufgetretenen  
Maximal-Spannungen. I 44

Vergl. S. 33. Gußsäule  $\frac{150}{120}$ . Die Zerstörung erfolgte bei etwa 74 000 kg und bei 2,5 cm Durchbiegung nach oben. Die Einspannung war mit einer 1,0 cm nach unten gerichteten Excentrizität erfolgt, so daß die Excentrizität der Krafrichtung für die Säulenmitte  $2,5 - 1,0 = 1,5$  cm nach oben betrug.

Die Maximalspannungen

$$S = \frac{P}{F} \pm \frac{M}{I/w}$$

$$I = 1466. \quad w = 7,5. \quad I/w = 195$$

$$M = P \cdot 1,5$$

$$S = \frac{74\,000}{63,6} \pm \frac{74\,000 \cdot 1,5}{195}$$

$$= 1163 \pm 570 = \begin{cases} + 1733 \\ + 593 \end{cases}$$

Das Rechnungs-Resultat ergibt an der konvexen Faser + 593 Druck pro qcm. Bei vorhandener Druckspannung kann aber das Material nicht klaffend reißen, wie es hier geschah; daraus geht hervor, daß die ganze Rechnung unausführbar ist. Durch die Erhitzung auf schwache Rothglut leistet das Material auf der erhitzten Seite so wenig Widerstand, daß man dieses Material fast gar nicht zur Bestimmung von *I* (Trägheitsmoment) mitrechnen kann. Denkt man sich das zum Glühen gebrachte Material vollständig fort, dann erklärt sich der Rückgang der Durchbiegung ins Negative und das Reißen des Materiales an der Oberfläche der Säule, welches nur dann eintreten kann, wenn  $I/w$  einen sehr kleinen Werth angenommen hat. I 45

Excentrizität *e* ist groß, weil das stark erhitzte untere Material als gar nicht vorhanden betrachtet werden kann. *I* ist dann sehr klein, weil der Querschnitt, für welchen das Trägheitsmoment zu berechnen ist, bei dieser Anschauungsweise ein Halbkreis wird.

Würde auf diese Weise der Werth von  $I/w$  auf  $\frac{1}{3}$  des ursprünglichen Werthes gesunken und die Excentrizität auf den doppelten Betrag gestiegen sein, dann würden sich die größten und kleinsten Spannungen, wie folgt, ergeben haben:

$$S = 1163 \pm 3420 = \begin{cases} + 4583 \\ - 2257. \end{cases}$$

Die also entstandene Zugspannung in der oberen Faser der Säule konnte das Zerspringen derselben herbeiführen. Die Wärme hat das Bestreben, das Material auszudehnen, weshalb sich zunächst der Stab gegen das Feuer durchbiegt. Die Wärme bedingt aber auch eine Verringerung des Elastizitäts-Modul, so daß auf der stärker erhitzten Seite der Stütze das Material durch die Druckkraft *P*, resp. die Beanspruchung auf Druck mehr zusammen gepreßt wird, als auf der kühleren Seite. Ueberwiegt nun der Einfluß der das Material ausdehnenden Erwärmung, dann verlängert sich die dem Feuer zugewendete Seite der Stütze, und diese wirft sich gegen das Feuer hin durch. I 46

Wenn aber der Einfluß einer Verkleinerung des Elastizitätsmodul überwiegt, dem das stärker erhitze Material unterworfen ist, dann verkürzt sich die wärmere Seite der Stütze so sehr, daß trotz der Ausdehnung durch gesteigerte Temperatur, die erwärmte Faser sich doch verkürzt und eine konkave Krümmung einnimmt, so daß die Stützenmitte sich vom Feuer abbiegt.

Zur Pressung b. Seite 34 und 35.

Die Tragfähigkeit dieses Schmiederohres wurde nach der Rechnung S. 5 zu etwa 40 000 kg geschätzt. Das Rohr verbog sich völlig bei 60 800 kg.

Die in der deutschen Bauzeitung No. 55 d. J. S. 329 ermittelte Formel für die Tragfähigkeit der Stützen bei einseitiger Erwärmung, in welchen als Koeffizient  $K$  im Mittel 0,0004 empfohlen wurde, würde bei

I 47

$S = 1000$  ergeben:

$$P = S \cdot F \cdot \frac{1}{1 + 0,0004} \cdot \frac{l^2 F}{J}$$

$$P = 1000 \cdot 63,6 \cdot \frac{1}{1 + 0,0004} \cdot \frac{128 \cdot 128 \cdot 63,6}{1466}$$

$$P = 63\,600 + \frac{1}{1 + 0,28} = 49\,500.$$

Zur Pressung c.

Maximalspannungen. Gufseisen massiv. 21,5 Atmosphären = 41,4 t. Durchbiegung + 30 mm.

$$S_{max} = \frac{400}{63,6} + \frac{400(3+1)}{321,5/4,5}$$

$$= 650 \pm 2320 = \begin{cases} + 2970 \\ - 1670. \end{cases}$$

Diese Spannungen traten auf, als das Rohr sich zwar noch heil erhielt, aber schon an Widerstandskraft verlor (siehe S. 36).

I 48 Die berechnete Zugspannung 1670 kann in Folge Veränderung des Elastizitätsmodul durch die Wärme-Wirkung sich anders und zwar größer gestellt haben. Vergl. Rechnung Prot. II, S. 30.

Zur Pressung l und f.

Kaltprobe. Seite 38. Gufseisen massiv.

Für die Annahme  $E = 1\,000\,000$  kg und  $P = 71\,000$  kg ist auf Seite 3 der Biegungspfeil  $f$  zu 0,74 cm = 7,4 mm berechnet.

I 49 Im Versuch Pressung l S. 38 hat sich  $f = 1,3$  mm bei 36,6 Atmosphären und 1,5 mm bei 41,6 Atmosphären und 2,0 mm bei 46,6 Atmosphären ergeben.

Bei 44,6 Atmosphären war die gemessene Durchbiegung etwa 1,4 mm oder 0,135 cm. Die auf Grund des Elastizitätsmodul  $E = 1\,000\,000$  berechnete Durchbiegung von 0,74 cm war hiernach lange nicht erreicht.

Annahme. Durch Einfluß von Reibungswiderständen in den Gelenken sei  $a$  nicht 1,0 cm, sondern kleiner.

$$E = 1 \text{ Million.}$$

Berechnung von  $a$  als Unbekannte,

$$a = \frac{2 E J f - \frac{5}{6} f (l/2)^2 P}{(l/2)^2 \cdot P}$$

$$a = \frac{90,0 \cdot 1\,000\,000 - 43\,614\,000}{290\,816\,000}$$

$a = 0,16$ . Alsdann müßte die Steifigkeit der Gelenke in *I 50* diesem Falle die Excentrizität um  $1,0 - 0,16 = 0,84$  cm verringert haben.

Diese Annahme ist sehr wahrscheinlich, um so mehr die steife Gußsäule von 150 mm äußeren  $\emptyset$  vergl. S. 41 und 42 fast doppelt so große Durchbiegungen bei gleicher Atmosphärenzahl gezeigt hat, als diese Vollsäule aus Gußeisen. NB. Diese Säule war aber excentrisch.

Es darf daher in nachfolgender Rechnung als Anfangsexcentrizität nur  $a = 0,16$  cm angenommen werden.

Nach der Annahme  $a = 1,0$  könnte die Stütze durch Zug zerstört sein, und also sieht auch der zerbrochene Gußkörper aus, an welchem keine Spur von Gleitflächen in der gedrückten Faser zu erkennen ist. Um eine Kontrolle zu haben, soll für  $f = 8,5$  mm und  $P = 163\,625$  der Werth  $a$  bestimmt werden.

$$a = \frac{2 E J f - \frac{5}{6} f \cdot (l/2)^2 P}{(l/2)^2 \cdot P} \text{ vgl. S. 49.}$$

*I 51*

hier  $P = 176\,400$ .

$$a = \frac{2 \cdot 1\,000\,000 \cdot 321,5 \cdot 0,85 - \frac{5}{6} \cdot 0,85 \cdot 64 \cdot 64 \cdot 163\,625}{64 \cdot 64 \cdot 163\,625}$$

$$2 \cdot 1\,000\,000 \cdot 321,5 \cdot 0,85 = 546\,500\,000$$

$$64 \cdot 64 \cdot 163\,625 = 670\,208\,000$$

$$\frac{5}{6} \cdot 0,85 \cdot 64 \cdot 64 \cdot 163\,625 = 474\,500\,000$$

$$a = \frac{546\,500\,000 - 474\,500\,000}{670\,208\,000}$$

$$a = 0,19 \text{ cm.}$$

Mit diesem Rechnungsergebnis scheint die Annahme  $a = 1,0$  cm für den Zustand der stärksten Belastung dennoch zu fallen, wenn nicht im Augenblicke des Bruches die Gelenke sich etwa anders eingestellt haben sollten und im Augenblick des Bruches auch eine größere Durchbiegung als  $f = + 8,5$  mm stattgefunden hat. Dies ist möglich, denn nur für den Druck 86,6 Atmosphären ist eine Ablesung  $+ 8,5$  mm notirt, siehe S. 38,

während für die Spannung 91,6 Atmosphären die Ablesung nicht erfolgt und nicht notirt ist. Für  $a = 1$  wird

$$\frac{S_{max}}{S_{min}} = \begin{array}{l} + 6\ 816\ \text{kg}^* \\ - 1\ 676 \end{array}$$

Die Säule scheint in der That durch Zugspannung zerstört zu sein.\*)

Zur Pressung  $g$  und  $h$ .

Kaltprobe. Schmiedeeisen S. 39 u. 40.

$$l = 0,28 + 0,985 = 1,265$$

$$\varnothing = 8,9\ \text{mm} \quad F = 62\ \text{qcm.}$$

für  $P = 81\ 000$  ist Seite 4 berechnet

$$f = 0,323\ \text{cm (etwa 43\ \text{Atm.}) für } 9,0\ \varnothing.$$

I 52 Es sind größere Durchbiegungen ermittelt, als berechnet sind, siehe S. 40. Bis zu 46,6 Atmosphären steigt die Durchbiegung noch regelmäßig, alsdann nimmt dieselbe sehr schnell zu.

Kantenpressung bei 46,6 Atm.

$$l = 1,0 + 0,55\ \text{S. 40 g}$$

$$S = \frac{P}{F} \pm \frac{Pe}{J/w}$$

$$S = \frac{89\ 700}{62} \pm \frac{89\ 700 \cdot 1,55}{69}$$

$$S = 1\ 447 \pm 2\ 014\ \text{kg} = \begin{array}{l} + 3\ 461\ \text{kg} \\ - 567. \end{array}$$

Diese Spannungen wurden noch mit einiger Sicherheit ausgehalten, Belastungen darüber hinausgehend boten sehr große Verbiegungen dar.

Zerstörungs-Beanspruchung.

$$49,6\ \text{Atmosphären} = 95\ 500\ \text{kg}$$

$$f = 16\ \text{mm}, \quad l = 1 + 1,6 = 2,6$$

$$S = \frac{95\ 500}{62} \pm \frac{95\ 500 \cdot 2,6}{69}$$

$$S_{max} = + 1\ 540 \pm 3\ 730 = \begin{array}{l} + 5\ 270 \\ - 2\ 190. \end{array}$$

NB. Die Fasern neben der äußersten Faser müssen bis dahin die Säule noch vor gänzlicher Verbiegung bewahrt haben.

\*) Unentschiedene Resultate.

Zur Pressung *i* und *k* S. 41 und 42.

Gufrohr <sup>150</sup>/<sub>120</sub>.

S. 2 berechnet  $f = 0,2$  cm bei  $P = 127\,500$

$P = 127\,500$  entspricht 66 Atmosphären.

Die bei dem Versuch *k* S. 42 aufgetretene Durchbiegung von  $6,3$  mm =  $0,63$  cm ist über 3mal so groß als die berechnete, und zwar deshalb, weil das Rohr, wie erwähnt, excentrisch gegossen war, und, mit der dünnen Wandung nach oben liegend, dort dem stärksten Druck ausgesetzt worden ist.

Die Berechnung der Maximalspannung ist nicht wohl ausführbar, da der Bruch *I 53*, nicht in der Mitte der Säulenlänge, sondern fast am Ende erfolgte, wo ein Fehler im *54* Material, einige kleine Blasen und dünne Wandstärke sich zeigten. *u. 55*

Vergl. Protokoll II, S. 27 und 28 und 21 bis 26.

Schmiedeeisen, massiv, kalt.

*I 56*

$$\emptyset = 8,9$$

$$F = 62$$

$$J/w = 69$$

$$J = 305$$

$$P = S.F. \frac{1}{1 + \left( a + \frac{(l/2)^2 \cdot P \cdot a}{2 EJ - \frac{5}{6} (l/2)^2 P} \right) \frac{F.D}{2J}}$$

$$S = 3\,000; S.F = 186\,000$$

$$l = 428 \text{ cm}$$

$$(l/2)^2 = (214)^2 = 45\,796$$

$$2 EJ = 2 \cdot 2\,000\,000 \cdot 305 = 1\,220\,000\,000$$

$$\frac{FD}{2J} = \frac{62 \cdot 8,9}{2 \cdot 305} = 0,904. \quad a = 1 \text{ cm}$$

$P$  als Näherungswerth = 25 500

$$(l/2)^2 \cdot P = (214)^2 \cdot 25\,500 = 1\,168\,000\,000$$

$$\frac{5}{6} \text{ davon} = 973\,000\,000$$

$$P = 3\,000 \cdot 62 \frac{1}{1 + \left( 1 + \frac{1\,168 \text{ Mill.}}{1\,220 \text{ M.} - 973 \text{ M.}} \right) \cdot 0,904}$$

$$P = 186\,000 \cdot \frac{1}{6,15} = 30\,300$$

*I 57*

Mittelwerth = 27 900 kg

Rechnung 3 giebt 27 000 „

Gufseisen, kalt, massiv.

$$\emptyset 9,0 \quad F = 63,6 \quad J = 321,5 \quad l 428$$

$$E = 1\,000\,000 \quad S = 1\,500$$

$$SF = 95\,400 \text{ kg}$$

$$(l/2)^2 = 214^2 = 45\,800$$

$$2 EJ = 2 \cdot 1 \text{ Million} \cdot 321,5 = 643 \text{ Millionen}$$

$$\frac{F \cdot D}{2J} = 0,89$$

$$\text{Näherungswerth } 14\,000 = P$$

$$P = 1\,500 \cdot 63,6 \cdot \frac{1}{1 + \left(1 + \frac{45\,800 \cdot 14\,000}{643 \text{ Mill.} - \frac{5}{6} \cdot 45\,800 \cdot 14\,000}\right) \cdot 0,89}$$

$$(L/2)^2 \cdot P = 641 \text{ Millionen}$$

$$\frac{5}{6} = 534; \frac{641}{643 - 534} = 6.$$

$$P = 95\,400 \cdot \frac{1}{1 + (1 + 6,0) \cdot 0,89}$$

$$P = \frac{95\,400}{7,23} = 13\,200$$

$$P = 13\,600 \text{ kg}$$

$$\text{Mittelwerth } P = 13,8 \text{ t}$$

$$\text{Nach Euler } P = 17,3 \text{ t}$$

Für sehr große Längen, resp. schlanke Stützen ist der Einfluss der anfänglich vorhandenen kleinen Excentrizität  $a$  und ebenso der Werth der zulässigen Kanten-  
spannung von sehr geringer Bedeutung.

Hamburg, den 12. Dezember 1886.

gez. M. Möller.

I 59

#### D. Vierter Versuchs-Tag, 13. Dezember 1886.

Vormittags Warmproben.

Gufssäule äuß. Durchm. 152 bis 155 mm,

$\delta = 15 \text{ mm}$ ,

Gewicht = 203 kg,

L = 400 cm.

Um 9 Uhr 31 wurde die Säule in das sehr lebhaft brennende Koksfeuer gelegt; jedoch verbog sich dieselbe schon so schnell, bevor die richtige Lage erreicht war, daß die Säule auf Koks auflag.

9 Uhr 40 wurde die Durchbiegung der Säule zu 38 mm gemessen, als die Säule wieder aus dem Feuerkorbe herausgenommen war und auf dem kalten Erdboden lag.

9 Uhr 47 Durchbiegung  $4\frac{1}{2}$  mm.

9 Uhr 50, die Koks sind inzwischen zur Hälfte aus dem Feuerkorbe entfernt, das Feuer durch Spritzen gedämpft und die Säule eingebracht.

Pressung *a* vom 13. Dezember 1886.

Druck in Pfund.	Zeit		Durch- biegung. mm.	Bemerkungen.
	Stund.	Min.		
0	9	52	÷ 50	
30	9	54	÷ 30	
45	9	56	÷ 20	
50	9	57	÷ 10	Blei schmilzt noch nicht.
	9	58	÷ 0	Blei schmilzt unten. Holz und Spähne werden aufgeworfen.
50	10	0	+ 7	Blei schmilzt oben nicht.
20	10	2	+ 13	Silber schmilzt unten an einer Stelle. <span style="float: right;"><i>I 60</i></span>
50	10	5	+ 20	
50	10	7	—	Blei schmilzt oben.
50	10	10	+ 22	Es wird eine Minute hindurch oben über das ganze
50			+ 25	Rohr gespritzt.
50	10	11	+ 30	
50			+ 35	Holz wird aufgeworfen, die Flammen schlagen etwa
50	10	15	+ 28	60 cm höher als Oberkante der Säule.
50	10	20	+ 28	Silber schmilzt oben langsam.
50	10	30	+ 78	Es wird gespritzt, und zwar immer auf dieselbe Stelle.
90			+ 120	
				Zweites Spritzen.
	10	36	+ 95	Feines Geräusch.
$O \infty 10 \text{ Atm.}$			+ 140	Bruch klaffend unten etwa Mitte der Säule. Glas unten gegen die Säule gehalten, schmilzt sofort. Glas gegen die Seite gedrückt, klebt fest und zieht sich in Fäden aus. Messing schmilzt dagegen unten nicht. Das Rohr wird herausgenommen glüht und leuchtet selbst bei hellem Sonnenlicht auf der ganzen unteren Seite. Gesamt-Durchbiegung: = $50 + 120 = 170$ mm gegen das Feuer hin. Druckkraft bei 6 Atmosphären gleich $P = 11\,900$ kg. Das große Manometer zeigt so ungenau, daß dasselbe bei schwachem Druck nicht verwendbar ist.

I 61

Gufseisen, massiv.

Gewicht = 185,5 kg,  
 Durchm. = 90—92 mm,  
 L = 400 cm.

Pressung *b* vom 13. Dezember 1886.

Druck in Pfund	Zeit		Durch- biegung mm	Bemerkungen
	Stund.	Min.		
0	11	5	— 20	
10	11	6	— 22	Gelenke liegen richtig. Das Koksfeuer ist gesunken, brennt tief im Korbe. Holzfeuerflammen schlagen 60 cm über die Säulen-Oberkante empor.
15	11	13	— 10	Die Wirkung von Holzfeuer ist viel schwächer als die von Koks. Blei schmilzt unten, Silber noch nicht.
20	11	17	— 5	
	11	21		Silber schmilzt unten. Flammen schlagen 1,2 m hoch.
40	11	30	+ 2	Silber schmilzt unten.
	11	30	+ 15	Silber schmilzt an der Seite. Anspritzen oben
			+ 20	} Es wird gespritzt.
			+ 25	
	11	31	+ 50	
40			+ 60	
60			+ 70	
64			+ 80	
65	11	33	+ 150	Krach. Bruch. Bruchflächen rein, aber ganz angelaufen von dem Feuer.

Gesamtdurchbiegungen = 22 + 150 = 172 mm gegen das Feuer hin.

Druckkraft  $4\frac{1}{4}$  wirkliche Atmosphären  $P = 8,5 \text{ t } 4\frac{1}{4} \cdot 1,034$  giebt den Druck in kg pro qcm Kolbenfläche.

I 62

Schmiedeeisen, massiv.

Durchm. = 88 mm,  
 Gewicht = 185,5 kg,  
 L. = 400 cm.

Pressung *c* vom 13. Dezember 1886.

Druck in Pfund	Zeit		Durch- biegung mm	Bemerkungen
	Stund.	Min.		
				Vergl. Blatt 1. Holz wird auf das Versuchsstück gelegt.
20	11	42	— 24	Es wird das Feuer durch Holz aufgefrischt.
				Es wird Wasser von der Presse abgelassen, da die Säule sich stark dehnt.
20	11	51	— 17	Flammen schlagen 1 m höher als Oberkante der Säule. Wasser wird abgelassen.
20	11	56	— 6	Blei schmilzt unten.
				Das Feuer brennt während der ganzen Zeit sehr stark.
20	12	—	+ 4	
20	12	3	+ 9	
40	12	3	+ 16	
40	12	4	+ 20	
40			+ 40	Es wird gespritzt. Zuerst nur ein Punkt oben, dann die ganze Fläche. Spritzen.
45			+ 60	
54			+ 70	
54			+ 90	
			+ 100	
50	12	12	+ 120	Die Säule legt sich unten auf die Koks.

Gesamtdurchbiegung  $24 + 120 = 144$  mm gegen das Feuer hin.

Druckkraft  $3\frac{1}{2}$  wirkliche Atmosphären =  $3\frac{1}{2} \cdot 1,034$  kg pro qcm der Kolbenfläche,  $P = 7000$  kg.

## Kaltproben, ausgeführt am Nachmittage des 13. Dezember 1886.

I 63

Gufsrohr 150 äußern Ø  
innerer Ø 120  
Gewicht 195 kg  $L = 400$  cm.

Ungefähr in der Mitte der Säulenlänge besitzt der Gufs Linien, woselbst sich die Eisenmassen zweier Eingufsstellen vereinigt haben. Diese Stelle wird nach oben gekehrt.

Pressung *d* vom 13. Dezember 1886.

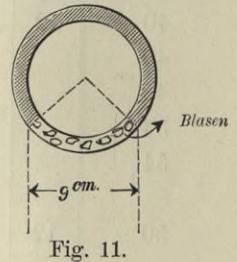
Atm.	Kolben-		2 1/2 Uhr.
	Hingang mm	Rückgang mm	
0	± 0		
13,1	+ 3	+ 5	
16,4	+ 7	+ 9	
20,5	+ 10	+ 12	
25,4	+ 12	+ 14	
30,4	+ 15		

Pressung *l* vom 13. Dezember 1886.

13,1	+ 7		Sprung und gänzlicher Bruch der Säule.
16,4	+ 10		
30,4	+ 15		
35,6	+ 45		

An der Bruchstelle sind auf 9 cm Ringumfang Blasen von je 20 mm resp. 10 mm Länge und 6 mm Breite, so daß dort fast gar kein Eisenmaterial sich befindet.

Durchbiegung 45 mm, Druckkraft 35,6 Atm. = 68 500 kg.



164

Guß Eisen, massiv, 90 mm,  
Gewicht 185,5 kg,  
 $L = 400$  cm.

Pressung *e* vom 13. Dezember 1886.

Gr. Man.	Kolben-		Die 7 mm bleibende Durchbiegung wird auch durch Anlegen einer Schnur konstatiert. Das Manometer, welches bis 200 Atmosphären geht, zeigt in der Nähe des Nullpunktes nicht richtig, es rührt sich noch nicht, obwohl die Stange sich 90 mm verbiegt. Das kleine Manometer wird angeschraubt, welches bis 90 Pfd. = 6 Atmosphären geht. [Beide Manometer sind von C. D. Gäbler in Hamburg.]
	Hingang mm	Rückgang mm	
Pfd.	mm	mm	
0	0	7	
?	90		

Pressung *f* vom 13. Dezember 1886.

Gr. Man.	Kolben-		
	Hingang	Rückgang	
Pfd.	Durchbiegung		
	mm	mm	
30	+ 7		Hernach, als die Bügel zum Tragen der Gelenkschalen angezogen sind.
34	+ 8		
45	+ 10		
50	+ 11	+ 20	
56	+ 12	+ 21	
64	+ 14		
68	+ 15	+ 24	
72	+ 17	+ 25	
80	+ 21	+ 27	
90	+ 28	↗	

Die Stange ist unversehrt und wird herausgenommen, weil man mit den vorhandenen Manometern denjenigen Druck nicht messen kann, welcher im Stande wäre, die Säule zu zertrümmern. Die Säule hat 6 Atmosphären gehalten, hat sich dabei 28 mm verbogen und wird wohl nur wenig mehr zu tragen vermögen.

7 mm bleibende Durchbiegung wird konstatiert.

I 65

6 Atmosphären = 11 900 kg ohne Bruch.

Schmiedeeisenstütze massiv.

Durchmesser 8,8 cm.

Gewicht 186,5, *L* = 400 cm.

Pressung *g* vom 13. Dezember 1886.

Pfund.	Durchbiegung.
15	0
20	0
30	1
40	2
50	2
60	4
70	4 1/2
80	6
90	6 1/2

Pressung *h* mit dem großen Manometer.

?	60
?	120

Das Schmiedeeisenstück ist unversehrt, zeigt 30 mm bleibende Durchbiegung und wird aus der Maschine herausgenommen.

Durchbiegung 120 mm, Pressung 14 bis 18 000 kg.

Es wurde noch konstatiert, daß im Halbdunkel des inneren Fabrikraumes Blei, auf ein an einem Ende glühendes Eisen gehalten, unmittelbar in der Nähe der Dunkelglut am noch dunkeln Eisen schmilzt. Die Silberlegirung schmilzt dort nicht, sondern nur im Bereich des dunkelroth glühenden Eisens.

Hamburg, den 13. Dezember 1886.

(gez.) M. Möller.

Dem Versuche wohnten bei die Herren:

Vormittags: (gez.) R. Lühmann.

I. V.

Nachmittags (gez.) Paul Wolff.

I 67 Berechnung der am 15. Dezember 1886 zu prüfenden Versuchsobjekte.

Ersetzt durch Rechnung Protokoll II. Seite 22.

Gufsstütze kalt.

Hohlsäule 150/120, Länge 2 m.

Länge von Gelenkmitte zu Gelenkmitte = 2,28 m

$$P = 6\,000 \cdot 63,6 \cdot \frac{1}{1 + \left( 1 + \frac{(l/2)^2 \cdot P \cdot a}{2 EJ - \frac{5}{6} \cdot (l/2)^2 \cdot P} \right) \frac{F \cdot D}{2 J}}$$

NB.  $a = 1$  cm Anfangsexcentricität  $l/2 = 114$  cm.

$(l/2)^2 = 12\,996$  rot.  $13\,000$  cm<sup>2</sup> geschrieben.

Näherungswerth $P$	= 180 000,
$(l/2)^2 \cdot P = 13\,000 \cdot 180\,000$	= 2340 Millionen,
$\frac{5}{6}$ davon	= 1950 „
$2 EJ$	= 2932 „
$\frac{F \cdot D}{2 J}$	= 0,325.

$$P = 381\,600 \cdot \frac{1}{1 + 1,1}$$

**$P = 181\,000$  kg.**

**$f = 2,38$  cm.**

Schmiedestütze hohl 150/120, Länge 2 m, freie Länge 2,28 m kalt.

Ersetzt die Rechnung Protokoll II Seite 22.

$$P = 2700 \cdot 63,6 \cdot \frac{1}{1 + \left( 1 + \frac{(l/2)^2 \cdot P \cdot 1}{2 EJ - \frac{5}{6} \cdot (l/2)^2 \cdot P} \right) \frac{F \cdot D}{2 J}}$$

$$\begin{aligned} \text{Näherungswerth } P &= 125\,000, \\ (l/2)^2 \cdot P &= 13\,000 \cdot 125\,000 = 1625 \text{ Millionen}, \\ \frac{5}{6} \text{ davon} &= 1350 \quad \text{,,} \\ 2 EJ &= 5864 \quad \text{,,} \end{aligned}$$

$$P = 171\,720 \cdot \frac{1}{1 + 0,442} = 119\,000.$$

$$\begin{aligned} \text{Mittelwerth } P &= \mathbf{122\,000 \text{ kg.}} \\ f &= \mathbf{0,36 \text{ cm.}} \end{aligned}$$

Gufseisen massiv, kalt  $\emptyset = 9 \text{ cm.}$

I 68

Ersetzt durch Rechnung Protokoll II Seite 24.

$$P = 6000 \cdot 63,6 \cdot \frac{1}{1 + \left(1 + \frac{(l/2)^2 \cdot P \cdot 1}{2 EJ - \frac{5}{6} (l/2)^2 \cdot P}\right) \frac{F \cdot D}{2 J}}$$

$$\begin{aligned} \text{Näherungswerth } P &= 50\,000, \\ (l/2)^2 &= 13\,000, \\ (l/2)^2 \cdot P &= 650\,000\,000, \\ \frac{5}{6} \text{ davon} &= 542 \text{ Millionen}, \\ 2 EJ = 2 \cdot 1\,000\,000 \cdot 321,5 &= 643 \quad \text{,,} \\ \frac{F \cdot D}{2 J} &= 0,89. \end{aligned}$$

$$P = 381\,600 \cdot \frac{1}{1 + 6,67} = \mathbf{49\,700 \text{ kg.}}$$

$$f = \mathbf{6,5 \text{ cm.}}$$

Schmiedeeisen massiv, kalt,  $F = 62$ ,  $J = 305$ ,  $8,9 \emptyset$ .

Ersetzt durch Rechnung Protokoll II S. 25.

$$P = 2700 \cdot 62 \cdot \frac{1}{1 + \left(1 + \frac{(l/2)^2 \cdot P}{2 EJ - \frac{5}{6} \cdot (l/2)^2 \cdot P}\right) \frac{F \cdot D}{2 J}}$$

$$\begin{aligned} (l/2)^2 \cdot P &= 13\,000 \cdot 55\,000 = 715 \text{ Millionen}, \\ \frac{5}{6} \text{ davon} &= 596 \quad \text{,,} \\ 2 EJ = 2,2 \text{ Millionen} \cdot 305 &= 1220 \quad \text{,,} \\ \frac{F \cdot D}{2 J} &= 0,89. \end{aligned}$$

$$P = 167\,400 \cdot \frac{1}{1 + 1,91} = 57\,500 \text{ kg.}$$

$$\begin{aligned} \text{Mittelwerth } P &= \mathbf{56\,000 \text{ kg.}} \\ f &= \mathbf{1,15 \text{ cm.}} \end{aligned}$$

Schmiedeeisen-Nietstütze, massiv, kalt, Gitterstäbe oben und unten.  
 $J = 1130$ ,  $F = 63,6$ .

Ersetzt durch Rechnung Protokoll II S. 25.

$$P = 2700 \cdot 63,6 \cdot \frac{1}{1 + \left(1 + \frac{(l/2)^2 \cdot P}{2 EJ - \frac{5}{6} \cdot (l/2)^2 \cdot P}\right) \frac{F \cdot D}{2J}}$$

$$\text{Näherungswerth } P = 110\ 000,$$

$$\frac{F \cdot D}{2J} = 0,42,$$

$$P = 108\ 000,$$

$$\text{Mittelwerth } P = 109\ 000,$$

$$f = 0,43 \text{ cm.}$$

I 69

Ersetzt durch Rechnung Protokoll II S. 27–28.

### Warmproben.

$$\text{Gufs. } P = 1\ 100 \cdot F \cdot \frac{1}{1 + 0,0004 \cdot \frac{l^2 \cdot F}{J}}$$

Bei den nachfolgenden Versuchsstücken ist  $l^2 = 228^2 = 51\ 984$   
 rot =  $52\ 000 \text{ cm}^2$

$$F = 63,6$$

$$0,0004 \cdot l^2 \cdot F = 1323 \quad 1100 \cdot 63,6 = 70\ 000.$$

$$\text{Hohlsäule. } \frac{150}{120} \text{ warm } J = 1466$$

$$P = 70\ 000 \cdot \frac{1}{1 + \frac{1323}{1466}} = \frac{70\ 000}{1,9} = 36\ 800$$

$$\text{Gufs, massiv } 9 \text{ cm } J = 321,5$$

$$P = 70\ 000 \cdot \frac{1}{1 + \frac{1323}{321,5}} = \frac{70\ 000}{5,1} = 13\ 700$$

Schmiedematerial. Hohlsäule wie oben  $\frac{9}{11}$

$$P = \frac{9}{11} \cdot 36\ 800 = 30\ 100$$

Massiv  $8,9 \text{ cm } \emptyset$

$$P = 900 \cdot 62 \cdot \frac{1}{1 + 0,0004 \cdot \frac{l^2 \cdot 62,0}{305}}$$

$$P = 55\ 800 \cdot \frac{1}{5,2} = 10\ 730$$

Nieteisen-Stütze.  $J = 1130$ 

$$P = 900 \cdot 63,6 \cdot \frac{1}{1 + \frac{1323}{1130}}$$

$$P = 57240 \cdot \frac{1}{2,17} = 26400.$$

Die obigen Stützen sollen bei dreifacher Sicherheit im kalten Zustande belastet werden mit:  $\frac{1}{3}$  des Werthes von S. 67 und 68.

Gufshohlsäule  $P/n = 60000$  kgGufs massiv  $P/n = 16600$  „Schmiedeeisen Hohls.  $P/n = 41000$  „„ massiv  $P/n = 18700$  „Nietstütze  $P/n = 36000$  „**E. Fünfter Versuchstag den 15. Dezember 1886.**

I 70

Versuchsstücke 2,0 m lang.

Es wurde angeordnet, daß die Proben im Feuer am 15. ausfallen sollten, weil das große Manometer in der Nähe von 5 Atmosphären zu kleine Ausschläge macht und weniger Druck angiebt, als in Wahrheit vorhanden ist. Es wird inzwischen ein Manometer besorgt, welches zwischen 5 und 25 resp. 30 Atmosphären genau justirt ist und mit einem Kniestück versehen wird, so daß beide Manometer zugleich aufgeschraubt werden können, und also das große Manometer zu revidiren ist. Diese Vorrichtung wird erst zum 17. fertig.

Kaltproben:

Pressung  $a$  vom 15.Gufrohr  $\frac{150}{120}$ , Gewicht 97 kg, Länge = 2,0 m.

Atm.*)	Kolben-		
	Hingang	Rückgang	
	Durchbiegung		
	mm	mm	
0	± 0		Die Ablesungen erfolgen am großen Manometer.
20,5	+ 4 $\frac{1}{4}$	+ 8,4	
25,4	+ 5,0	+ 8,6	Bei diesen Ablesungen der Durchbiegung muß eine Störung stattgefunden haben, es können z. B. die Gelenke sich nachgerichtet haben, denn es war zuletzt an der Säule selbst keine bleibende Durchbiegung zu konstatiren.
30,4	+ 5,8	+ 9,0	
36,6	+ 6,5	+ 9,2	
41,6	+ 7,0	+ 9,6	
46,6	+ 7,6	+ 10,0	
51,6	+ 8,1	+ 10,2	
56,6	+ 8,9	+ 10,5	
61,6	+ 10,0	+ 10,7	
66,6	+ 10,8		

\*) Die Zahlenangaben für den Druck beziehen sich auf berichtigte Werthe, die Ablesungen I 71 lauteten anders.

Pressung *b*.

Atm.	Durchb.	Bemerkungen.
0	$\pm 0$	
16,4	+ 1	
20,5	+ 1,2	
25,4	+ 1,4	
30,4	+ 1,9	
36,6	+ 2,4	
41,6	+ 2,6	
46,6	+ 2,8	
51,6	+ 3,2	
56,6	+ 3,6	
61,6	+ 4,2	
66,6	+ 4,6	
71,6	+ 5,4	
84,6	+ 6,8	
86,6	+ 10,0	Sprung des Zeigers, Erschütterung.
81,6	+ 18,0	
81,6	+ 32,0	
	+ 45	Krach — Die Säule ist gebrochen und fällt hinunter.

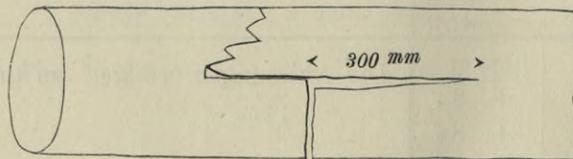


Fig. 12.

Rifs auf beiden Seiten, etwa in der neutralen Faser.

Gleitflächen sind oben in der gedrückten Faser nicht vorhanden, es scheint, als ob die Säule unten in Folge von Zugspannungen zerrissen ist. Auf der unteren Hälfte *I 72* der Säule geht der Bruch glatt durch und erstreckt sich bis zur neutralen Faser hin auf, wo auf der einen Seite zwei Langrisse auftreten.

Schmiedeeisenrohr  $150/120$ .

$$G = 102,5 \quad L = 2,0.$$

Pressung  $c$  vom 15. Dezember 1886.

Atm.	Hingang	Rückgang	Bemerkungen.
	des Kolbens Durchbiegung		
	mm	mm	
0	0		Das Rohr wird vor dem Versuch revidirt; es ist gerade.
13,1	+ 1	+ 5,5	
16,4	—	+ 5,7	Nach dem Versuch lassen sich am Rohr selbst etwa 4,5 mm bleibende Durchbiegung durch Anhalten eines Richtscheites erkennen.
25,4	+ 1,8	+ 5,9	
30,4	+ 2,0	+ 6,0	
36,6	+ 2,5	+ 6,4	
41,6	+ 2,7		
46,6	+ 3,2		
51,6	+ 5,0	+ 6,5	
51,6	+ 6,5		

Pressung  $d$  vom 15. Dezember 1886.

13,1	+ 5,5
20,5	+ 6
25,4	+ 6,3
30,4	+ 6,5
36,6	+ 7,0
41,6	+ 7,2
46,6	+ 7,5
51,6	+ 13
53,6	+ 15
53,6	+ 20
46,6	+ 30
41,6	+ 50
36,6	+ 70
31,4	+ 100
23,4	+ 110
23,4	+ 120
21,5	+ 140
20,5	+ 160
19,6	+ 170
17,9	+ 180
16,4	+ 200
15,2	+ 220
13,6	+ 230

Um 11 Uhr 15 Min. wollen die Gelenke sich festsetzen.

I 73 Eine bleibende Durchbiegung von 228 mm wird am Rohrstück selbst gemessen, nachdem dasselbe aus der Presse genommen ist.

Der früher kreisrunde Querschnitt hat die Form einer Ellipse angenommen, jedoch ist die vertikale nur um 4 mm größer als die horizontale Dimension. Kein Riß, kein Falten etc. ist zu erkennen, der Bogen ist völlig gleichmäßig.

Mit Wasser gefüllt, ergibt sich das Rohr als dicht.

Gufseisen massiv.

Gewicht 95 kg 9 cm Ø.

Pressung e.

Atm.	Durchbiegung		Bemerkungen
	Hingang mm	Rückgang mm	
		+ 2	Am Stab selbst wurde 5 mm bleibende Durchbiegung gemessen, als noch etwas Druck darauf war.
0	0	+ 5	
13,1	+ 5	+ 12,5	
16,4	+ 10	+ 15	
20,5	+ 12	+ 17,2	
25,4	+ 16		
26,4	+ 18		

Pressung f.

13,1	+ 8
16,4	+ 12
20,5	+ 14
25,4	+ 25

Es lösen sich Staubtheile und Oxyde ab, welches aussieht, als ob der Stab rauche. Unten ist die

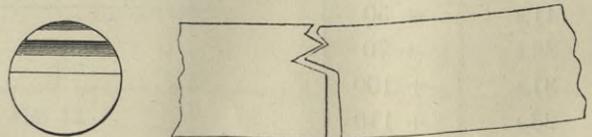


Fig. 13.

gezogene Faser glatt abgerissen; oben sind Zacken, die horizontal ganz durchgehen. Keine Gleitflächen.

24,5	+ 52
------	------

Bruch.

Schmiedeeisen, massiv. 8,9 cm Ø. Gewicht 93 kg.

I 74

Pressung *f*.

Atm.	Durchbiegung		Bemerkungen
	Hingang mm	Rückgang mm	
0	0		
13,1	+ 2	+ 1,9	
16,4	+ 2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	+ 2,2	
20,5	+ 3	+ 2,6	
25,4	+ 3,6		
Pressung <i>g</i> vom 15. Dezember 1886.			
13,1			
16,4	+ 3		
20,5	+ 2,8		
25,4	+ 2,5		
30,4	+ 4,5		Ruck
25,4	+ 40		
20,5	+ 50		
16,4	+ 80		
13,1	+ 120		

Nach dem Versuch, als der Stab am Erdboden einige Zeit gelegen, zeigte der Stab 63 mm bleibende Durchbiegung.

Die Zahl 63 ist als Pfeil gemessen, welcher zur Sehne von 2,0 m Länge gehört, während der am Zeiger abgelesene Durchbiegungspfeil der Sehne von 228 cm Länge entspricht, welche von Gelenkmitte zu Gelenkmitte reicht.

Nachmittags, den 15. Dezember 1886, 1 Uhr 30.

I 75

Föhrenholz. <sup>15</sup>/<sub>15</sub> cm.

Wie alle übrigen Stücke mit 1 cm Excentrizität zwischen Gelenke gespannt.

Pressung *h* vom 15. Dezember 1886.

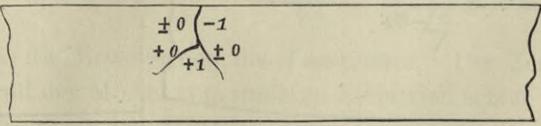
Atm.	Durchbiegung	Bemerkungen
0		
13,1	+ 6,5	
16,4	+ 7,0	
20,5	+ 9,0	
22,5	+ 35,0	
fast 0		zerdrückt ohne Geräusch. Die gezogene Seite ist unversehrt, die gedrückte obere Seite faltet etwas.

Fig. 14. Aufsicht.

Die Flächen + 1 sind 1 mm gehoben, die Flächen - 1 um 1 mm gesenkt.

Atm.	Durchbiegung	Bemerkungen
13,1	+ 35	leises Krachen.
? 0	+ 100	lautes Krachen.
? 0	+ 110	Rifs entsteht unten, ein Spahn Holz trennt sich ab.

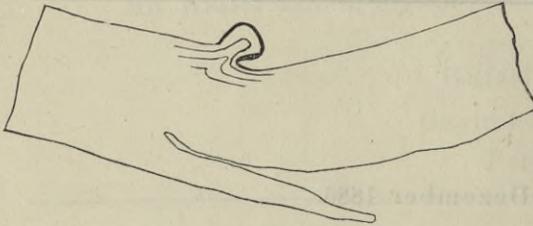


Fig. 15.

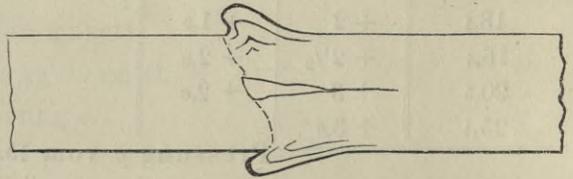


Fig. 16. Aufsicht.

Eichenholz <sup>15</sup>/<sub>15</sub> cm, 2,0 m lang.

I 76

Gewicht 35,5 kg. Etwas langrissig in der neutralen Faser.

Pressung *i* vom 15. Dezember 1886.

Atm.	Durchbiegung		Bemerkung
	Hingang mm	Rückgang mm	
0	0		
13,1	+ 6	+ 6,5	
16,4	+ 6,9	+ 7,0	
20,5	+ 8,0		

Pressung *k* vom 15. Dezember 1886.

13,1			
16,4	+ 8		
20,5	+ 8,5		
25,4	+ 11,0		Bruch bei 45 mm Durchbiegung und 27,4 Atmosphären erfolgt.
27,4	+ 45,0		

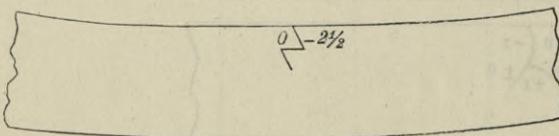


Fig. 17.. Seitenansicht.



Fig. 18. Aufsicht.

16,4	+ 48	Krachen und Knacken.
13,1	+ 80	Andauerndes Knacken und Knistern.
? 0		

Klinkerpfiler, 16 Tage alt,  $\frac{22\frac{1}{2}}{22\frac{1}{2}}$  cm, 2,0 m lang.

I 77

Bei dem Einspannen in einem Holztroge liegend.

Bei dem Einspannen wurde mit einem Hammer etwas gegen den Holztroge ge-

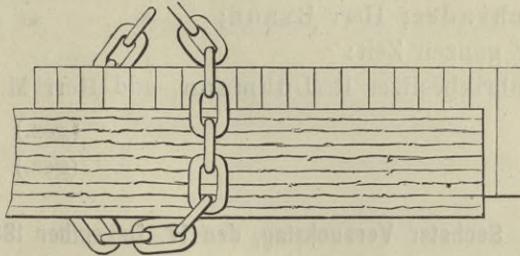


Fig. 19.

schlagen, in Folge dessen der Pfeiler von unten nach oben in der Mitte ganz durchbrach. Der Riß schloß sich sobald Druck auf den Kolben kam.

Pressung *l* vom 15. Dezember 1886.

Atm.	Durchbiegen.	Bemerkungen.
0	$\pm 0$	Die Einspannung war wieder eine um 1 cm excentrische. Bei dem Einspannen lösten sich Steinsplitter an den Enden in $\frac{1}{2}$ cm Dicke und 5 cm Größe ab.
13,1	2	
16,4		
20,5	4,5	Langriß oben, von einem Auflager ausgehend fast bis zum entgegengesetzten Auflager reichend. Der Langriß erfolgt nicht in der neutralen Achse, sondern in der Ebene senkrecht dazu, also in der Aufsicht. Breite des Risses 2 mm. Krach. Der Pfeiler fliegt auseinander und fällt als ein Haufen Quartierstücke nieder. Alle Klinken sind durchgebrochen, nur an den Enden blieben größere Steinklötze bestehen.
36,6	+ 4,5	
41,6	+ 5,0	
43,6		

Der Bruch erfolgte durch die Erweiterung des Langrisses. Der Zementmörtel I 78 saß immer an einem Stein, während der Mörtel vom anderen Stein sich schier abgetrennt hatte. Die Trennungsfuge lief nie durch den Mörtel.

Es wurde nicht beobachtet, daß etwa ein Theil des Mörtels an einem, der andere Theil am anderen Stein gehaftet hätte.

Hamburg, den 15. Dezember 1886.

(gez.) M. Möller.

Den Versuchen wohnten am 15. Dezember 1886 bei:

Vormittags bei den beiden ersten Versuchen:

Herr Hagen, Ingenieur; Herr Otte, Architekt; Herr Schrader,  
Ingenieur, Herr E. Braun, Architekt und Herr Direktor Dr. Voller.

Am Nachmittage:

Herr Schrader; Herr Braun;

Während der ganzen Zeit:

Herr Fabrikbesitzer R. Lühmann, und Herr M. Möller.

(gez.) R. Lühmann.

(gez.) M. Möller.

I 79

### F. Sechster Versuchstag, den 17. Dezember 1886.

Gufssäule 96 kg, 2,0 m, 150/120. Das Feuer war nicht vor Einlegen des Rohres angesteckt, dasselbe brannte hernach nur langsam an, jedoch bescpülten die Flammen das Gufsrohr beständig.

Es wurde eine Prüfung des alten Manometers in der Nähe des Nullpunktes mit Hilfe eines zwischen 5 und 30 Atmosphären genau berichtigten, neuen Manometers vorgenommen.

#### Pressung a.

Kleines Mano- meter, neu.	Hingang   Rückgang		Bemerkungen.
	der		
	Kolbendurchbiegung.		
	mm	mm	
0		+ 2	
1,2	+ 0,5	+ 2,7	
2,2	+ 1,1	+ 2,2	
3,2	+ 1,8	+ 3,8	
4,2	+ 2,3	+ 4,6	NB. Bei der am 1. Juni 1887 ausgeführten Vergleichung der Manometer mit dem Kontrolmanometer ergab sich bei 34 Atmosphären am großen Manometer 43 am Kontrolmanometer und 42 am kleinen Manometer.
5,2	+ 2,3		
6,2	+ 2,8	+ 6,0	
7,2	+ 3,1		
8,2	+ 3,4		
9,2	+ 3,9		
10,2	+ 4,1	+ 6,9	
11,2	+ 4,7		
12,3	+ 4,8	+ 7,6	
15,4	+ 5,6	+ 8,5	
20,5	+ 7,3	+ 9,5	
25,4		+ 10,0	
30,4	+ 9,4	+ 10,1	
35,6	+ 10,1	+ 10,5	
40,8	+ 10,6		

Pressung *b* vom 17. Dezember 1887.

I 80

Atm. kl. Man.	Zeit		Durch- biegung.	Bemerkungen.
	Stund.	Minut.		
0			+ 2	Obige Gufssäule 150/120 noch kalt.
15,4			+ 6,5	
	9	25		Feuer angesteckt.
15,4	9	30	+ 7,5	Großes Manometer zeigt 9. Die Flammen umspielen das Rohr, dasselbe wird naß.
15,4	9	35	+ 11,0	Wassertopf gewogen 2,001 kg, mit Wasser gewogen
	9	40	+ 13,0	3,001 kg, Wassertopf eingehängt, das Rohr wird trocken, also etwa 100° Celsius, Holz und Spähne bis Oberkante Säule gedeckt.
	9	45	+ 18,0	Blei schmilzt unten. Flammen 30 cm höher als das Rohr schlagend.
	9	47	+ 20,0	Das Wasser kocht im Topf.
15,4	9	50	+ 21,5	
15,4			+ 23	Großes Manometer zeigt 10,0.
15,4	9	55	+ 23	Blei schmilzt oben, Silber unten. Der Wassertopf wird entfernt.
			+ 30	1 Minute gespritzt an der Oberfläche von 9 <sup>57</sup> bis 9 <sup>58</sup> . Säule unten ganz glühend. Blei schmilzt an der Seite und unten.
	9	59		
	10	0		
15,4	10	2	+ 26	Zweites Spritzen.
21,5			+ 28	1 Minute.
25,4			+ 28	
28,4			+ 29	
35,6	10	5	+ 30	Das Feuer wird neu angeschürt.
20,5	10	7	+ 25	Druck etwas abgelassen, da die Arbeiter am Feuer beschäftigt sind.
35,6			+ 29	Am Wassertopf gemessen
37,7			+ 29,5	1/2 kg Wasser ist verdampft.
46,6			+ 30,0	NB. Das kleine Manometer ist ausgeschaltet.
51,6			+ 32,0	
54,6			+ 45,0	
51,6			+ 65	Bruch.

I 81

Blasen von 8 mm im Maximum Länge und 3—5 mm Breite. Die aus dem Feuer gehobene Säule ist innen roth.

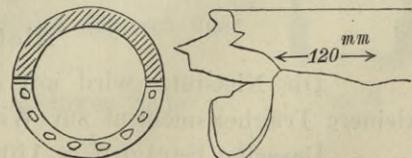


Fig. 20.

Schmiedesäule  $150/120$ .

Gewicht 103,5. Wie überall Excentricität = 1 cm.

Pressung vom 17. Dezember 1886.

Atmosphären- Druck	Zeitangabe		Durch- biegung  mm	Bemerkungen
	Stund.	Min.		
0	10	20	0	
0	10	25	+ 4	Der Wassertopf wird mit 1 kg Wasser eingehängt.
5,2			+ 9	
10,2			+ 10,7	Feuer brennt sehr gut.
15,4	10	28	+ 12,8	Unten Koks.
15,4	10	30	+ 17,0	Wasser kocht im Topf.
15,4	10	33	+ 21,0	Blei schmilzt unten.
				Die Flammen schlagen 60 cm höher als das Rohr, Feuer sehr intensiv.
15,4	10	35	+ 23,0	Silber schmilzt unten.
				Blei oben nicht.
15,4			+ 24	Blei schmilzt oben.
15,4			+ 25	1. Spritzung: 1 Minute.
			+ 30	" "
			+ 37	" "
			+ 35	" "
				Die Säule wird neu erwärmt, oben mit Holz, welches brennt, zugedeckt, wie Querschnitt, Blatt 1, zeigt.
15,4	10	50	+ 26	Blei schmilzt oben, Silber unten.
				2. Anspritzen.
25,4			+ 50	1 Minute und sofort auch Steigerung des Druckes durch Pumpen.
20,5			+ 70	Die Säule biegt sich seitlich durch, dieselbe ist seit- lich nicht mehr genau centrirt.
18,0	"	54		An Wasser ist im Wassertopf verdampft 0,7 kg. Bleibende Durchbiegung an der Stütze ge- messen = 80 mm.

I 82

Nietstütze. Vergl. Fig. 21.

Die Nietstütze wird mit den Gitterstäben nach oben eingespannt, so daß das kleinere Trägheitsmoment zur Wirkung gelangt.

Dasselbe beträgt  $J = 1402$ .

Bei den Hohlensäulen dagegen  $J = 1466$ , Gewicht = 133 kg.

Die Stütze soll mit 1 cm Excentricität eingespannt werden. Leider bewährt sich die Auflagerung nicht, woselbst die Säule mit den Nietten auf Klötzen liegt, diese rutschen weg, und die Stütze erhält von vornherein einen um 2 cm excentrischen Druck.

Pressung  $d$  vom 17. Dezember 1886.

I 83

2 cm excentrische Einspannung.

Atmosphären- Druck kl. Manom.	Zeitangabe		Durch- biegung mm	Bemerkungen
	Stund.	Min.		
0	11	15	÷ 5	Das Koksfeuer brennt gut.
0	11	16	0	Wärme-Durchbiegung.
15,4			+ 4	Flammen-Feuer wird durch Holz bereitet.
	11	20		Holz dachartig darüber gelegt. Flammen 40 cm höher als die Säule.
15,4	11	22	+ 5	Blei schmilzt unten. Das Wasser kocht im Topf.
	11	25	+ 4 $\frac{1}{2}$	Blei schmilzt oben.
			+ 3,5	Silber schmilzt unten nicht.
	11	30	+ 5,0	An Wasser ist 0,6 kg ausgekocht. Das Feuer ist sehr stark.
15,4	11	30	+ 15,0	Silber schmilzt unten, die Säule ist unten glühend.
7,2	11	31	+ 110,0	
	11	37		Die Säule wird herausgenommen. Die unteren Eisentheile sind hellroth glühend, die Glut reicht bis über die Mitte der Stützenflacheisen nach oben.

Es wurde nicht gespritzt, weil bei 15,4 Atmosphären die Stütze wegging.

Die Flacheisen sind nicht windschief, obwohl die bleibende Durchbiegung 162 mm an der Stütze beträgt.

Auf der gedrückten Seite ist die Verbiegung der  $\angle 60 \cdot 60 \cdot 8$  an einer Stelle und zwar stark, in der gezogenen Gurtung dagegen über eine größere Strecke vertheilt.

11 Uhr 50 Min. brennt Papier noch auf der kälteren Seite an. Taschenuhr ins Feuer gefallen, zerstört.



Fig. 21.

f. 50.8

I 84

Gufs massiv.  $L = 2,0$ .  
 Pressung  $e$ .

Atm. am kl. Manom.	Zeitangabe		Durch- biegung mm	Bemerkungen
	Stund.	Min.		
0	11	50	$\pm 0$	Kräftiges Koksfeuer.
6,2			+ 2	Wassertopf eingehängt.
6,2	12	—	+ 3	Blei schmilzt unten.
6,2	12	5	+ 4	
6,2	12	8	+ 6	
6,2	12	10	+ $6\frac{1}{2}$	
	12	12	+ 8	
6,2	12	15	+ $7\frac{1}{2}$	Silber schmilzt unten.
	12	16		Blei schmilzt oben.
				Es wird eine Minute gespritzt.
	12	17	+ 8	
			+ 10	
	12	18	+ 15	0,85 kg Wasser ist im Topf ausgekocht.
6,7			+ 20	
10,2			+ 26	
12,8			+ 33	
14,4			+ 39	
15,4			+ 49	
14,4			95	Bruch wie gewöhnlich oben zackig, unterhalb der Mitte senkrecht und glatt gerissen.

I 85

Nachmittags den 17. Dezember 1886.

Schmiedeeisen, massiv. Durchm. = 8,9 cm, L. = 2,0.

Pressung  $f$ .

Atm. am kl. Man.	Zeit		Durch- biegung mm	Bemerkungen
	Stund.	Min.		
0	2	15	+ 0,5	
5,2			+ 5,0	
	2	21	+ 5,5	Die Koks glühen gut, Holz ist schräge über die Säule gedeckt und fängt Flammen. Blei schmilzt unten.
8,2			+ 8,3	
	2	30	+ 10,0	

Atm. am kl. Man.	Zeit		Durch- biegung mm	Bemerkungen
	Stund.	Min.		
	2	31		Blei schmilzt oben.
	2	32	+ 12,5	Silber schmilzt unten.
			+ 15,0	1 Minute wird gespritzt.
10,2			+ 20,0	
11,2			+ 50	
9,2			+ 70	
8,2			+ 100	
7,2	2	37	+ 120	Die Stütze legt sich unten auf.
				<b>Excentrische Gufssäule</b> <sup>150/120</sup> . Dicke Seite nach oben. Stärke oben 17 1/2, unten 15 mm.

Pressung *g* vom 17. Dezember 1886.

0	2	40	0	
5,2			+ 4,5	
10,2			+ 6,5	
15,4			8,0	
20,5	2	53	+ 10,2	
			+ 12,2	Blei schmilzt nicht.
	3	2	+ 25,0	Blei schmilzt unten.
	3	5	+ 27,0	
20,5	3	8	+ 28,0	} Es wird gespritzt 1 Minute.
24,4			+ 40	
30,4			+ 43	
35,6			+ 45	
38,7			+ 50	
31,5			80	An Wasser 0,65 kg verkocht.

I 86

Blasen in einem Ringtheil von 5 cm Länge vertheilt, Größe derselben 3 mm.

Schmiederohr mit Cementmörtel ummantelt. 1 C. u. 3 Sand. Mantel 6 cm dick <sup>150/120</sup>, 60 + 60 + 150 = 270 cm äußerer Durchmesser, 1 cm Excentricität. Der Mantel ist am 2. Dezember umgebracht.

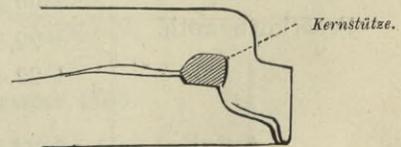


Fig. 22.

Vergl. Tafel IX.

0	3	30	0	Das Feuer brennt sehr gut.
0	3	35	0	Die Koks unten sind hellroth.

Pressung *h* am 17. Dezember 1886.

Atm. am kl. Man.	Zeit		Durch- biegung mm	Bemerkungen
	Stund.	Min.		
0	3	36	÷ 30	eingestellt.
5,2			÷ 29	
10,2			÷ 28,0	
15,4			÷ 27,0	Die Gelenkschalen drücken den Zementkörper und
20,5			÷ 25	bröckeln an den Enden Stücke von 30 cm Länge
20,5			÷ 24	und 3 ∞ 5 cm Tiefe ab.
<i>I 87</i> 25,4			÷ 23,5	
30,4			÷ 23,0	
	3	45	÷ 22,5	Die Flammen schlagen 30 cm über die Oberkante
				des Mantels.
	3	50	÷ 22,3	Feuer sehr stark. Feuer 50 cm über Oberkante des
				Mantels.
30,4			÷ 22,1	Blei schmilzt unten schnell. Silber schmilzt unten
				sehr schnell. Die Koks sind hellroth, fast weiß.
30,4	4		÷ 22,4	Blei schmilzt an der Seite. Glas schmilzt unter dem
				Mantel.
	4	5	÷ 22,4	Unten fast Weißglut.
	4	7		
	4	10	÷ 22,3	Es wird gespritzt oben und Seite 1 Minute.
35,6	4	15	÷ 22,2	
35,6	4	20	÷ 22,2	Seitenriß im Mantel am Ende desselben, wo das
				Eisen des Gelenkes drückt. Es dunkelt. Die
				Flammen schlagen hoch, die Säule ist auf gan-
				zer Länge mit brennendem Holz bedeckt.
35,6	4	30	÷ 22,2	Funken fliegen 8 m hoch. Das Feuer ist viel inten-
				siver als bei den früheren Proben.
			÷ 22,5	Unten sind Stücke abgefallen 50 ∞ 70 cm lang und
			÷ 22,6	3 ∞ 5 cm tief.
			÷ 22,8	NB. Es ist Nacht. Am dunkelroth glühenden
				Feuerkorbe schmilzt die Silberlegirung nicht.
			÷ 22,5	Das Blei schmilzt am Feuerkorb außen schnell.
	4	36	÷ 23	Die abgefallenen Mörtel-Stücke sind fast weißglühend.
	4	40	÷ 23	Das Holz wird dreifach aufeinander über die Säule
				gebaut, und steht das Genze in Flammen.
30,4	4	50	÷ 22,5	
30,4	4	50	÷ 22,5	Silber schmilzt oben.

Atm. am kl. Man.	Zeit		Durch- biegung mm	Bemerkungen
	Stund.	Min.		
30,4	5	—	÷ 22,2 ÷ 22	Am Ende bricht ein durch die Schalen gedrücktes Stück Mörtel-Mantel von 50 cm Länge bis auf das Rohr weg.
30,4	5	5	÷ 21,5 ÷ 22 ÷ 22,5 ÷ 22	Anspritzen zweites Mal oben 1/2 Minute, ohne Folgen für den Mantel.
30,4	5	10		
41,6			÷ 20,5	Die Ablesungen erfolgen nun am großen Manometer, weil das Rohr zerdrückt werden soll, dies geschieht, weil die Arbeiter die Fabrik verlassen müssen.
46,6			÷ 20	
51,6			÷ 15	
41,6	5	15	÷ 0	Unten gehen große Stücke ab, oben Lang- und Querrisse im Mantel.
46,6			+ 10	
41,6			+ 30	
36,6			+ 35	
33			+ 50	
			+ 62	Das Rohr liegt unten auf.

Bei dem Aufnehmen erweist sich der ganze Mantel als glühend. Das Rohr I 89 liegt nur an den Enden ein kleines Stückchen frei. Im Innern des Rohres herrscht etwa eine Temperatur von 150 resp. 120°. Man kann die Hand drinnen halten, und zischt das Rohr kaum bei Berührung mit Wasser.

Das Rohr hätte demnach noch lange der Hitze widerstanden.

Am Vormittage waren bei dem Versuch zugegen:

Die Architekten Herren Hanssen und Meerwein,  
die Ingenieure Herren Schrader, Himmelheber und Wolff.  
der Fabrikbesitzer Herr Lühmann und  
der Protokollführer Herr M. Möller.

Hamburg, den 17. Dezember 1886.

(gez.) R. Lühmann.

(gez.) M. Möller.

### G. Siebenter Versuchstag vom 18. Dezember 1886.

I 90

Schmiedeeisenstütze vollgossen, 1 Zement und 1 Sand.

Diese und die beiden später folgenden vollgossenen Stützen sind während der Nacht auf dem Feuer ausgetrocknet, wobei Wasser und Dampf an den Seiten resp. Enden der Hohlensäulen austraten. Während die beiden anderen Stücke am 1. und 2. Dezember mit Cement gefüllt waren, ist dieses Stück erst am 8. Dezember ausgegossen worden.

Pressung *a* vom 18. Dezember 1886.

Atm. vom kl. Manom.	Zeit		Durch- biegung mm	Bemerkungen
	Stund.	Min.		
	9	38		Vormittags Feuer angesteckt.
0	9	45	0	
5,2			+ 0,2	Das Feuer entwickelt sehr viel Qualm, aber noch nicht Hitze.
10,2			+ 2,0	
15,4			+ 3,0	
20,5			+ 4,3	
25,4	9	47	+ 4,7	
15,4	9	50	+ 5,0	
25,4			+ 6,0	Die Säule ist noch naß beschlagen.
25,4			+ 7,0	
25,4	10	—	+ 8,0	Die Säule wird trocken.
	10	13	+ 22,0	Die Säule giebt an den Seiten Wasser ab; Blei schmilzt unten, Silber schmilzt unten nicht.
	10	15	+ 25,0	
25,4	10	17	+ 28,0	
25,4	10	20	+ 32,0	
			+ 35,0	Silber schmilzt unten.
			+ 40,0	Dampf bläst an den Enden ab.
<i>I 91</i>	10	25	+ 42	Silber schmilzt an der Seite unten. Dampf bläst stark ab.
				NB. Ueberall, wo von Silber die Rede, ist Silberlegirung zu verstehen.
			+ 44	Feuer unten stark.
			+ 45	
25,4	10	30	+ 50	Holz oben aufgelegt.
			+ 60	Wasser läuft am Ende heraus.
			+ 70	
20,5			+ 80	
18,5			+ 110	
16,4	10	30	+ 120	Silber schmilzt oben nicht. Blei schmilzt oben.
				Nachdem die Säule 5 Minuten den Koks berührt hat und herausgenommen wird, ist sie unten hellroth.
				NB. Zum Anspritzen ist man nicht gekommen, da 25,4 Atmosphären ohne Anspritzung schon die Zerstörung herbeiführten.

## Gufrohr ummantelt am 1. Dezember 1886.

Atm. am kl. Manom.	Zeit		Durch- biegung mm	Bemerkungen
	Stund.	Min.		
	10	50		Rohr eingelegt.
Pressung <i>b</i> vom 18. Dezember 1886.				
5,2			÷ 60	Im Moment des Einlegens und vereinzelt nachher erfolgt ein Puffen, wobei kleine Scheiben des Mantels abfallen ( $\frac{1}{2} \approx 1$ cm Dicke).
10,2			÷ 59,1	
15,4			÷ 58,0	
20,5			÷ 57,0	
25,4			÷ 56,5	
30,4	10	57	÷ 56,4	Das Feuer brennt sehr stark, Holz wird auf das <i>I 92</i> Rohr resp. den Mantel gelegt.
30,4	11	—	÷ 55,8	Vergl. Querschnitt Blatt 1.
30,4	11	08	÷ 55,7	Blei schmilzt unten.
30,4	11	12	÷ 55,7	Blei schmilzt an der Seite.
30,4	11	15	÷ 55,7	Mantel der Säule glüht unten lebhaft.
30,4	11	30	÷ 56,0	
30,4	11	35	÷ 56,0	Blei schmilzt oben.
30,4	11	40	÷ 56,2	Es wird gespritzt.
30,4	11	42	÷ 56,0	Einige Risse oben und seitlich. Der Feuerkorb ist roth. Oben und seitlich ist viel Mörtel abgefallen.
großes Man.				
36,6	12	15	÷ 55,5	Die Arbeiter müssen Pause machen, auch kann der Versuch nicht weiter in Folge drängender Zeit ausgedehnt werden, daher wird die Säule jetzt zerstört.
41,6			÷ 54,0	
46,6			÷ 53,0	
56,6			÷ 51,0	
61,6			÷ 50,0	
63,6			÷ 45,0	
66,6			÷ 40,0	
66,6	12	20	÷ 30,0	Die Säule bricht. Der Bruch bietet nichts Besonderes, der Mantel zerbricht dabei in viele Theile. Der Mörtel ist noch ziemlich fest, löscht aber und löst sich in Wasser.

Nachmittag den 18. Dezember 1886.

*I 93*

Säule aus Gufseisen mit eingelegtem Schmiederohr.

Die Gufssäule wie gewöhnlich  $\frac{150}{120}$  mm, das eingegossene Schmiederohr, ein Gasrohr von 60 mm äußerer Durchmesser und 3 mm Wandstärke. Zum Vergießen Mörtel 1 Cement und 3 Sand verwendet. Das Schmiederohr soll die Säule vor Verschiebung der Flächen schützen, wenn auch ein Temperaturrifs entstanden sei.

Pressung *c* vom 18. Dezember 1886.

Atm. am kl. Manom.	Zeitangabe		Durch- biegung mm	Bemerkungen
	Stund.	Min.		
0	1	55	0	
5,2			+ 2,7	
10,2			+ 3,5	
15,4			+ 5,5	
20,5			+ 7,5	
20,5	2	—	+ 8,0	Koksfeuer nur schwach. Flammenfeuer durch Holz aufgefrischt, 50 cm schlagen die Flammen höher als die Oberkante des Rohres.
20,5	2	4	+ 10,0	Das Rohr wird trocken. Die Flammen schlagen 80 cm höher als die Oberkante des Rohres.
20,5	2	6	+ 13,0	Die Koks zeigen Rothglut.
20,5	2	8	+ 14,5	Blei schmilzt unten nicht.
	2	11	+ 19,0	Koks roth.
	2	13	+ 20,0	Blei schmilzt unten.
	2	14	+ 21,0	Das Wasser fließt an beiden Enden in ununterbrochenem Strahl heraus.
	2	15	+ 24,0	Silber schmilzt unten.
			+ 25,0	
	2	20	+ 27,0	
	2	23	+ 28,0	Silber schmilzt unten. Das Wasser kocht seitlich an den Enden heraus.
	2	25		Blei schmilzt an der Seite. Helles Koksfeuer.
	2	27	+ 28,0	Von unten 1 Minute gespritzt, also direkt gegen das rothglühende Eisen an 4 Stellen, resp. der ganzen Säulen-Länge.
			+ 22	
	2	30	+ 22	Dampf pfeift an den Enden laut heraus.
	2	33	+ 23,0	Dampf pfeift laut am Ende. Silber schmilzt unten, Blei an der Seite, Koks fast hellroth.
	2	39	+ 24,0	Silber schmilzt an der Seite.
			+ 25	2. Spritzen gegen die Seite.
20,5	2	44	+ 24	
40,8			+ 27,5	
gr. Manom.				
51,6			+ 44	
46,6	2	47	+ 60	Bruch.

Die Querschnitte passen ganz genau aufeinander. Das Schmiederohr hält sie *I 95* genau zusammen. Der Krahn nimmt das eine Rohrende hoch, daran das andere Ende festsitzt und in der verbogenen Lage genau verharret, so daß bei Lagerung des Rohres die Pafsstücke an der gedrückten Seite sich genau berühren.

Mörtel ist unmittelbar an der Bruchstelle abgebröckelt, aber eben dahinter umschließt derselbe das Rohr fest. Der Mörtel war porös und ließ daher Wasser und Dampf an den Enden austreten.

Vergl. Tafel IX.

Es ist durch den Versuch erwiesen, daß eine Gufssäule, in deren Mitte ein leichtes Schmiederohr eingegossen ist, standhaft bleibt, wenn auch etwa durch Temperatur-Differenzen Sprünge im Gufseisen entstehen sollten. Vorausgesetzt wird dabei daß die Säule so standfest konstruiert ist und so mäßig belastet sei, daß keine Zugspannungen im Rohr auftreten.

Im vorliegenden Fall, wo die mittlere Beanspruchung fast 1500 kg erreichte, mußte die Säule natürlich brechen.

Fortsetzung im 2. Theil.

*I 99*

Die Presse.

Kolben-Durchmesser 508 mm.

Wirkung der Presse.

Als Kolbenreibungswiderstand ist hier 5 pCt. in Anrechnung gebracht.

Atmo- sphären	Ohne Reibung  kg	mit Reibungs-		Atmo- sphären	Ohne Reibung  kg	mit Reibungs-	
		Abzug.	Zuschlag.			Abzug.	Zuschlag.
		Hingang des Kolbens	Rückgang des Kolbens			Hingang des Kolbens	Rückgang des Kolbens
1	2 027	1 926	2 128	45	91 215	86 657	95 773
2	4 054	3 852	4 256	50	101 350	96 290	106 410
3	6 081	5 778	6 384	55	111 485	105 914	117 056
4	8 108	7 704	8 512	60	121 620	115 542	127 698
5	10 135	9 629	10 641	65	131 755	125 171	138 339
10	20 270	19 257	21 283	70	141 890	134 800	148 980
15	30 405	28 986	31 924	75	152 025	144 440	159 610
20	40 540	38 514	42 566	80	162 160	154 080	170 240
25	50 675	48 143	53 207	85	172 295	163 697	180 893
30	60 810	57 771	63 849	90	182 430	173 314	191 546
35	70 945	67 400	74 490	95	192 565	182 947	202 183
40	81 080	77 040	85 120	100	202 700	192 580	212 820

Anlage 3.

Protokoll II.

Inhalt.

Seite		
1— 5.	18. Dezember 1886.	Siebenter Versuchstag. Gufssäule mit Zement gefüllt, Holzstempel im Feuer.
6—19.	20. " "	Achter Versuchstag. Ummantelte Stütze aus Nieteisen, Pfeiler aus Klinker-Mauerwerk und Werksteinen, an Versuchsstücken, zwischen parallele Flächen gespannt. Nietstütze, verzierte Säule aus Gufseisen, Gufsrohr ungleicher Wandstärke, Klinkerpfeiler.
20—26.	20. " "	Rechnungs-Resultate, Prüfung der abgeleiteten und empfohlenen Koeffizienten a) für den kalten Zustand.
27—31.	20. " "	b) für den warmen Zustand.
33—65	Januar 1887	Prüfung der Presse und der Manometer.

II 1 Gufssäule hohl.  $\frac{150}{120}$  Ø, gefüllt mit 1 Theil Zement und 1 Theil Sand.  
 Pressung  $d$  vom 18. Dezember 1886 Nachmittags.

Atm. Kl. Man.	Zeit		Durch- biegung mm	Bemerkungen
	Stund.	Min.		
0	2	55	+ 2,0	
5,2			+ 4,0	
10,2			+ 5,5	
15,4			+ 6,5	
20,5	2	56	+ 8,0	
20,5	3	5	+ 15,0	Die Koks sind roth.
20,5	3	7	+ 18,5	
	3	8		Blei schmilzt noch nicht.
	3	10	+ 22,5	Blei schmilzt an der Seite, Wasser tropft an den Enden heraus.
20,5	3	12	+ 25,0	
	3	13	+ 27,0	Rufs brennt ab.
			+ 28,5	Silber schmilzt unten.
20,5	3	17	+ 30,9	Die Säule wird mit der glühenden Seite nach oben gedreht, bezw. etwas nach vorne gewendet, um sie mit Wasser kräftig begießen zu können, weil es nicht erkannt worden ist, weshalb die Säulen bei dem früheren Anspritzen nicht Sprünge bekommen haben.

Atm. Kl. Man.	Zeit		Durch- biegung mm	Bemerkungen
	Stund.	Min.		
20,5				Auf das glühende Rohr werden in unmittelbarer Reihenfolge 6 Eimer Wasser in scharfem, genau gezielten Strahle geschleudert. Das Rohr zeigt keine Veränderung, kühlt zwar ab, aber ist unmittelbar nach jedem Begießen wieder trocken. Das Rohr soll nun zersprengt werden, dasselbe liegt mit der Ausbiegung, da es gedreht ist, schräge nach oben gerichtet. Die Anwesenden ziehen sich weiter zurück, weil der Bruch nach oben erfolgt. <span style="float: right;">II 2</span>
Gr. Man.	3	22		Benutzung des großen Manometers. Die Durchbiegungen werden nicht gemessen, weil das Rohr gedreht ist und der Zeiger entfernt wurde.
25,4				
36,6				
46,6				
56,6				
61,6				Krach und Explosion.

Die bei dem Bruch frei werdenden Dämpfe schleudern einige Stücke 17 Meter weit, so daß dieser Versuch mit Gefahr verknüpft war. Da man annahm, daß der Mörtel porös genug sei, um Wasser und Dampf aus dem Rohr auszulassen, hatte man die Dampfspannung im Rohre als nicht sehr erheblich erachtet. Jedoch erwiesen sich die Rohrenden als dicht abgeschlossen, und flog der größere Theil des Inhaltes an der Bruchstelle heraus, in die Luft empor. Der Mörtel 1 : 3 vom vorausgehenden Versuch, Pressung *c*, hatte sich als porös erwiesen, während der Mörtel 1 : 1, Pressung *a*, noch frisch, und aus dem Grunde auch porös war und den Dampf abließ. Der aus dieser Säule, Pressung *d*, fliegende Mörtel hatte Sandform und zeigte keine größeren Stücke. Das Rohr war verbogen, aber schon ziemlich gekühlt, als es durch Druck zerstört wurde. Das Wasser kann sich vielleicht dadurch aus dem Mörtel ausgeschieden haben, daß das chemisch gebundene Wasser wieder frei wurde. Der Mörtel zerfiel ja auch, in Wasser gelegt, in Sand resp. feine Theile. II 3

II 4

Atm. Kl. Manom.	Zeit		Durch- biegung mm	Bemerkungen
	Stund.	Min.		
				Föhrenholz <sup>150</sup> / <sub>150</sub> .
0	3	40	0	Das Feuer besteht nur aus Koks, welche vom vorhergehenden Spritzen her nur mäßig brannten, da das Feuer zuvor fast aus war; dennoch erfafst dasselbe sofort nach dem Einlegen das Holz, so daß dieses in hellen Flammen brennt. Dadurch werden die Koks neu belebt und hellroth. Nur fünf kleine Holzstücke sind noch an das Versuchsstück gelegt, wie das bei den Eisenstützen in erhöhter Weise stets geschah. Im Uebrigen wurde das Feuer weder geschürt noch gespeist, dasselbe fachte sich durch die Hitze der brennenden Versuchsstücke von selbst an.  Die Durchbiegung geschieht nach der Seite, da das Holz oben wenig gebrannt hat, dagegen zu beiden Seiten an Querschnitt verloren. Die seitliche Durchbiegung wurde nicht gemessen.
0	3	43		
5,2			+ 1	
7,2	3	47	+ 2,0	
	3	50		
9,2	3	55	+ 4,5	
9,2	3	57	+ 5,0	
9,2	3	58	+ 9,0	
7,2			+ 15,0	
6,2			+ 18,0	
5,2			+ 20,0	
4,2	3	59	+ 30,0	
3,2				

II 5

Eichenholz <sup>150</sup>/<sub>150</sub>.

Das Feuer wurde durch Spritzen gedämpft, um das Föhrenholz überhaupt herausnehmen zu können.

0	4	6		Aus Versehen wurde bis 15,4 gedrückt. Koks werden hellroth, ohne daß nachgefeuert wird.  Es entstehen in der Nähe des Stützen-Endes bedeutende Risse, welche den schräge laufenden Adern folgen.
5,2			+ 3	
10,2			+ 5,5	
15,4			+ 22,0	
10,2	4	12	+ 22,0	
	4	14	+ 30,0	
9,2			+ 40,0	
8,2			+ 60,0	
7,2			+ 70,0	
4,2			+ 80,0	
3,2	4	15	+ 90,0	

Am Vormittage war zugegen: Herr Ingenieur Nollau.

Am Vormittage und Nachmittage: die Herren Lühmann, Wolff und der Protokollführer.

Hamburg, den 18. Dezember 1886.

(gez.) M. Möller.

### 8. Versuchstag den 20. Dezember 1886.

II 6

Warmproben und eine Kaltprobe.

Ummantelte Nieteisen-Stütze.

Der Mantel besteht aus 3 cm dickem Holz, umkleidet mit 1 mm Blech.

Länge 2,0 m. Wie immer 1 cm Excentrizität zwischen den Gelenken, 2,28 m lang.

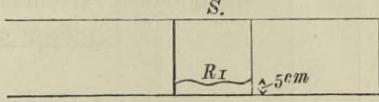
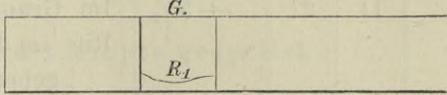
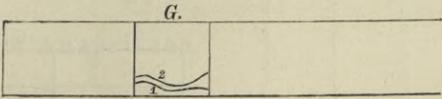
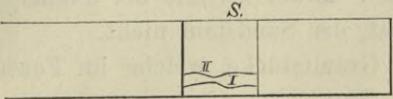
#### Pressung *a*.

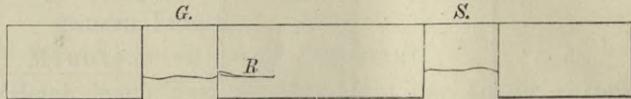
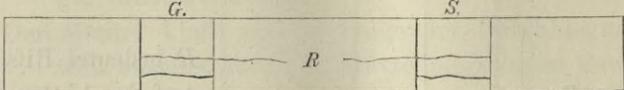
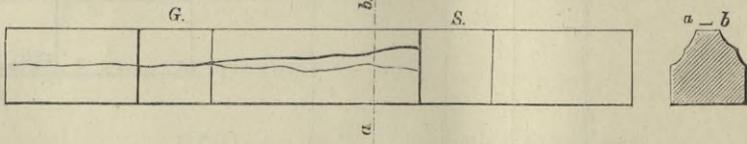
Atm. Kl. Manom.	Zeit		Durch- biegung mm	Bemerkungen
	Stund.	Min.		
	9	17	— 70	Das Feuer wird angesteckt.
	9	25	— 67	Durchbiegung des Mantels, nicht der Stütze gemessen.
			— 65	Rauch dringt aus den Fugen des Eisen-Mantels.
	9	30	— 64	
5,2			— 64	
10,2			— 65	
15,4			— 65	Gase brennen, welche dem Mantel entweichen.
20,5			— 66 $\frac{1}{2}$	
25,4			— 67	
30,4			— 67	
33,6			— 67,5	Holztheer setzt sich außen an den Mantelfugen ab.
33,6			— 68	
33,6	9	40	— 69	Das Feuer brennt sehr stark.
			70	
20,5	9	45	70	Die Gase strömen stark heraus und brennen hell. II 7 Die Ermäßigung des Druckes auf 20,5 Atmosphären geschah absichtlich. Die Flammen schlagen einen Meter hoch. Koks sind hell-roth. Blei schmilzt an der Seite.
20,5	9	50	— 70	Silber schmilzt unten. Der Eisen-Mantel klafft in den Fugen 1 cm, doch überdecken sich die Eisen noch etwas. Der Mantel ist auch verbogen, er hat Falter durch den Druck erhalten, da er reichlich lang ist. Die Gase brennen.
20,5	9	55		

Atm. kl. Man.	Zeit		Durch- biegung mm	Bemerkungen
	Stund.	Min.		
	10	—	— 69	Der Blechmantel ist unten fast weiß. Die der Mantelfuge ent quellenden Flammen sind kleiner.
	10	05	— 68	Koks sind hellroth.
	10	10		Kleine Flammen schlagen aus dem Mantel auf der ganzen Länge.
	10	15	— 65	
	10	17	— 64	1 Minute wird oben gespritzt.
	10	18	— 58	Gleich nach dem Spritzen geht der Zeiger zurück.
gr. Manom.				Das große Manometer wird jetzt benutzt.
30,4			— 60	
41,6			— 60	Die Stütze soll nun zerstört werden.
46,6			— 60	
51,6			— 61	
56,6			— 62	
61,6	10	20	— 62	
66,6			— 61,5	Der Mantel platzt in der Naht (schlecht gearbeitete Stelle, die Schrauben haben daselbst das Blech gar nicht getroffen).
66,6			— 62,5	
71,6			— 60	
II 8 66,6	10	21		Der Mantel klafft nun in Folge der Durchbiegung weit auseinander. Die Stütze zeigt innen kaum Kochhitze.
61,6				
56,6				
36,6	10	25		Die Verbiegung erfolgt nach der Seite. Die Stütze wird entfernt. Die Hitze wird durch vorgenommes Anspritzen ermäßigt. Unten ist das Holz des Mantels ganz verkohlt, oben zur Hälfte.
33,0				

Pressung *b* vom 20. Dezember 1886.

				Pfeiler aus Klinker mit Quadern.
				Der Pfeiler hat schon beim Transport in der Fuge zwischen Granitwürfel und Klinker einen Riß erhalten, der ganz durchgeht. Zwischen den Gelenken $L = 2,28 \cdot 22\frac{1}{2} \cdot 22\frac{1}{2}$ cm Querschnitt.
	10	37		Der Pfeiler wird in das Feuer gelegt mit 1 cm Excentricität nach unten.
5,2	10	45	+ 0	
10,2			+ 1	
11,2			+ 2	Knacken, es entsteht ein von oben ausgehender Vertikalriß in der Nähe des Pfeiler-Endes.
10,2	10	47	+ 3	Das Feuer brennt schlecht.

Atm. kl. Man.	Zeit		Durch- biegung mm	Bemerkungen
	Stund.	Min.		
	10	55		
	11	—	+ 3 1/2	Das Feuer brennt besser.
	11	3		Vom Sandstein platzt unten die bezeichnete Kante II 9 „a“ weg.
				  <p>Fig. 23. <span style="margin-left: 150px;">Fig. 23 a.</span></p>
				Gleich darauf auch Kante <i>b</i> .
	11	5		 <p>Fig. 24.</p>
7,7				<i>R</i> bedeutet Rifs im Granit. Auf der hinteren Seite der Stütze entsteht auch ein Rifs im Granit.
7,7	11	8	+ 5	Blei schmilzt an der Seite. Die Stütze glüht unten.
				 <p>Fig. 25.</p>
				Rifs 2 im Granit, 1 bröckelt ab.
				 <p>Fig. 26.</p>
7,7	11	12	+ 5	Im Sandstein entsteht Rifs II, Stück I bricht unten ganz weg und fällt hinab. (Kein Knacken.) Stück II fällt vom Sandstein ab.

Atm. kl. Man.	Zeit		Durch- biegung mm	Bemerkungen	
	Stund.	Min.			
	11	15		<p>Desgleichen auf der Hinterseite des Pfeilers. Das Feuer unter dem Sandstein brennt stark, unter dem Granit schwächer.</p>  <p>Fig. 27.</p>	
II 10	7,7	11	22	+ 5 1/2	<p><i>R</i> bedeutet kleiner Rifs im Klinker-Mauerwerk. Klinker unten glühend. Das Feuer ist sehr hell unter den Klinkern, unter den Quadern aber durch hinabgefallene Steinstücke gedämpft. Im Granit ein Parallelrifs. Es wird gespritzt. Rifs im Klinker <i>R</i> vom Rifs in den Quadern ausgehend.</p>  <p>Fig. 28.</p>
	10,2			+ 4 1/2	<p>Krachen und Knistern.</p>  <p>Fig. 29. Aufsicht.</p>
	15,4			+ 2	
	20,5			+ 1	

Gleich darauf zerfällt der Pfeiler völlig. Der Granitquader ist vertikal ganz durchgeplatzt, der Sandstein nicht.

Die Granitstücke, welche im Feuer gelegen haben, zerreiben sich in der Hand zu Sand.

II 11

Nachmittags am 20. Dezember 1886.

Nieteisenstütze.

Die Stütze wird centrisch zwischen parallelen Flächen ohne Gelenke eingespannt. Flacheisen nach oben gekehrt.

Pressung c.

Atm. kl. Man.	Zeit		Durch- biegung mm	Bemerkungen
	Stund.	Min.		
	2	35		In das Feuer gelegt.
0	2	45	0	Feuer schwach.
5,2			0	
10,2			0,5	
15,4			+ 2,0	
	2	50	+ 3,5	
			+ 5,0	Blei schmilzt unten nicht.
	2	55	+ 6,0	Feuer mäßig.
			+ 7,0	
	3		+ 8,0	Blei schmilzt unten.
	3	10	+ 9,0	Flacheisen ist unten roth. Silber schmilzt daran.
	3	13		Oben an der Seite schmilzt Blei. Am Flach- eisen schmilzt das Blei oben nicht.
	3	14	+ 7,8	Flacheisen und Winkel unten glühend.
	3	15	+ 7,0	
			+ 6,5	Es wird 1 Minute gespritzt.
15,4			+ 6,7	
			+ 8,0	
			+ 9,0	Nach dem Spritzen ist oben nur noch Kochhitze.
			+ 7,0	
15,4	3	17	+ 5,0	
20,5			+ 5,2	Die Flammen schlagen 50 cm höher als Oberkante- Stütze. Die Stütze ist unten wieder roth. Oben schmilzt Blei, unten Silber.
	3	22	+ 3,0	
	3	23	+ 0,0	
20,5			+ 1,0	Zweites Anspritzen.
23,4			+ 0,0	
32,5			- 7,0	
35,6			- 10,0	
37,7			- 15,0	
40,8			- 20,0	
40,8			- 30,0	
28,4			- 29,0	
25,4			- 120,0	
20,5	3	25	- 140,0	

II 12

Form der verbogenen Stütze.

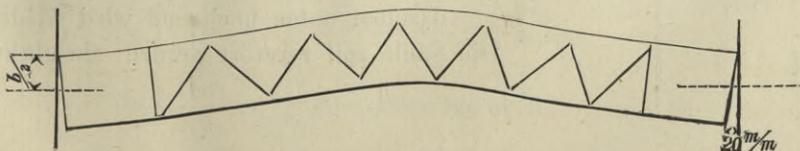


Fig. 30.

## Pressung d.

## Gufssäule mit Kapitäl, Sockel und Kannelirungen.

Zwischen festen parallelen Flächen centriscb eingespannt.

II 13 Die Stütze soll erweisen, ob die Verzierungen die Tragfähigkeit verringern und ob dieselben das Reißen des Materiales bei dem Anspritzen begünstigen.

8 bis 10 mm Wandstärke in den Rillen der Kannelirung (am Bruch gemessen)

Gewicht = 127 kg.

Atm. kl. Man.	Zeit		Durch- biegung mm	Bemerkungen.
	Stund.	Min.		
4,2	3	42	± 0	In schwaches Feuer gelegt.
10,2			+ 2,0	
15,4			+ 3,0	
20,5			+ 4,5	Lebhaftes Feuer.
25,4	3	47	+ 5,0	Flammen schlagen 50 cm über Oberkante-Säule,
25,4	3	50	+ 7,5	Wasser wird abgelassen, da sich die Säule
			+ 9,0	schnell dehnt.
	3	53		Blei schmilzt nicht. Das Feuer ist sehr stark.
			+ 10,0	Koks sind hellroth.
	3	55	+ 10,5	Starkes Flammenfeuer. Blei schmilzt unten.
	3	57		Silber schmilzt unten.
25,4	4	—	+ 10,0	Blei schmilzt oben überall.
			+ 11,0	1½ Minuten lang wird oben gespritzt.
			+ 13,0	
	4	2	+ 10,0	
			+ 9,0	
	4	5	+ 8,0	Flammen umhüllen die ganze Säule und schlagen
				überall 1 m hoch über Oberkante-Säule empor.
II 14	4	7	+ 5,5	Blei schmilzt oben und an der Seite.
	4	8	+ 2,0	Silber schmilzt unten.
	4	10	— 1,0	} Die Säule wird von unten angespritzt, wo sie am
			— 7,0	
	4	13	— 7,5	1 Eimer Wasser wird über den Sockel gestürzt.
				1 Eimer Wasser wird über den Kapitälhals und
				das Kapitäl gestürzt. Kein Rifs ist zu finden.
				Die Säule glüht unten auf 1 m Länge.
				Dasselbst wird gegen die Säule wieder 1 Eimer
				Wasser mit Gewalt gestürzt. Die Säule glüht
				dasselbst unten noch und wird wieder heißer.
				Die Säule soll zerstört werden; sie glüht unten.

Atm. gr. Man.	Zeit		Durch- biegung mm	Bemerkungen	
	Stund.	Min.			
30,4			— 9,0	Die fernere Beobachtung geschieht von gedecktem Stande aus.	
36,6			— 10,0		
41,6			— 11,0		
46,6			— 11,5		
56,6			— 13,0		
61,6			— 14,0		
66,6			— 15,0		
71,6			— 17,0		
76,6			— 21,0		Knacken.
81,6			— 25,0		
86,6			— 30,0		
86,6	4	40	— 35,0	Bruch mit lautem Knall. Die großen Stücke flogen 5 m weit, kleinere Stücke auf das benachbarte Dach, 10 m weit und 6 m hoch. Der Versuch war gefährlich, und soll bei stattfindender Durchbiegung nach oben Gufseisen nicht wieder bis zur Zerstörung gedrückt werden.	
			— 40,0		

II 15

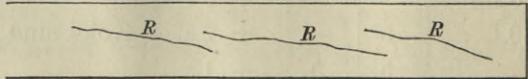
## Rohr aus Gufseisen.

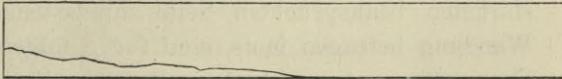
Gewicht 98,5 kg.

Das Rohr ist zwischen festen, parallelen Flächen gedrückt und wird 1,7 cm unter Mittellinie Kolben eingespannt, um thunlichst Durchbiegung nach unten zu erzielen. Länge = 2,00 m.  $\frac{150}{120}$  cm Ø. Der Versuch wird bei Lampenlicht ausgeführt.

Pressung *l*.

kl. Man.	4	45		Säule eingebracht.	
4,2	4	50	± 0	Feuer mäßig. Koks brennen gut.	
10,2			+ 1,7	Kein Flammenfeuer.	
15,4			+ 1,5		
20,5			+ 1,5		
30,4			+ 1,9	Kein Flammenfeuer.	II 16
30,4			+ 2,0		
30,4	5	—	+ 2,0	Koks sind hellbrennend.	
	5	5	+ 1,2		
30,4	5	5	+ 1,0	Silber schmilzt unten.	
			+ 0,0		
	5	10	— 2,0	Blei schmilzt oben.	

Atm. kl. Man.	Zeit		Durch- biegung mm	Bemerkungen
	Stund.	Min.		
			— 3,0	
			— 5,0	
30,4	5	12	— 6,0	1½ Minute hindurch wird oben gespritzt.
	5	15	— 8,0	
30,4			— 6,0	Nach dem Spritzen schmilzt unten das Silber, während die Säule oben naß ist.
			— 5,5	
			— 5,0	
			— 13	
20,5	5	20	— 15	
30,4			— 16	
56,6			— 19	
66,6			— 21	
71,6			— 30	
73,6			— 40	
II 17	5	23	— 40	Die Säule ist so stark nach oben im Bogen gespannt, daß es gefahrvoll erscheint, dieselbe zu zerstören. Die glühenden Stücke möchten Unheil anrichten. Die Stütze wird heil entfernt und durch den Krahn auf den Erdboden gelegt. Sie glüht unten roth und verliert sich die Dunkel-Rothglut erst oben im Scheitel des Querschnittes.
				Pfeiler aus Klinkern, 1 : 1 Mörtel.
				Am 29. November hergestellt, 2 m lang. Zwischen fast parallelen Flächen, Bleiplatten an den Enden.
				In das Feuer gelegt.
	5	50	+ 0,0	Das Feuer brennt gut.
5,2			+ 0,5	
10,2	5	55	+ 1,0	
10,2			+ 2,0	
10,2	6	8	+ 2,0	Flammen schlagen 50 cm höher als Oberkante Pfeiler.
				
Fig. 31.				
Die Risse <i>R</i> sind wohl schon früher entstanden.				

Atm. kl. Man.	Zeit		Durch- biegung mm	Bemerkungen
	Stund.	Min.		
	6	12	+ 2,5	Silber schmilzt unten.
	6	13	+ 3,0	Die Kanten glühen.
	6	17	+ 2,5	Die Seitenrisse werden nicht größer.
	6	20		Blei schmilzt oben und an der Seite.
	6	25	+ 2,7	Es wird gespritzt. Oben und an der Seite. <span style="float: right;">II 18</span>
	6	30	+ 2,9	
				Der Pfeiler glüht unten noch an einigen Stellen.
15,4			+ 3,0	Bislang sind keine Splitter herabgefallen.
20,5			+ 4,0	
22,5				Knacken und Knistern.
25,4				Bruch; der Pfeiler zerfällt in Quartierstücke; ganze Steine sind kaum aufzufinden. Im letzten Augenblick bestand der Pfeiler aus 4 Einzelsäulen je à 1/2 Stein im Quadrat.
				Klinkerpfeiler kalt
				centrisch eingebracht zwischen parallelen Flächen
				22 1/2 . 22 1/2 cm 2,0 m lang. Die Bleiplatten fehlen.
4,2			0	
10,2				Knacken und Prasseln.
13,3				Riß <i>R</i> entstanden.
				
				
				Fig. 32a. <span style="margin-left: 150px;">Fig. 32. Aufsicht.</span>
10,2				Längsrisse.
12,3				
13,3				Klaffende Risse von 1—2 cm Weite.
15,4				
17,5				Bruch.
18,5				
12,3			- 15	

Die Zerstörung erfolgte wieder dadurch, daß der Pfeiler in vier Einzelsäulen à 1/2 Stein im Quadrat zerfiel. Nur einzelne Theile zeigten ganze Steine, meistens waren die Klinker in der Mitte durchgebrochen. II 19

Hamburg, den 20. Dezember 1886.

(gez.) M. Möller.

Den Versuchen wohnten heute am ganzen Tage bei:

M. Möller,  
Herr Wolff,  
meistens auch „ Lühmann,  
Vormittags einige Zeit: Herr Ingenieur Nollau.  
(gez.) R. Lühmann.

II 20

Kontrolle für die gefundenen Erfahrungs-Koeffizienten.

Nachdem erkannt worden, daß die für Schmiedeeisen Seite 4 angenommenen Festigkeits-Koeffizienten den Versuchs-Resultaten annähernd entsprechen, während für Gufseisen höhere Koeffizienten sich ergeben, wurde zuerst S. 56 und 57 im Protokoll I mit den Werthen  $S = 2700$  für Schmiedeeisen, und  $S = 6000$  für Gufseisen als Grenzwerte der Festigkeit gerechnet. Eine Umrechnung für alle übrigen Versuchsstücke soll hier zur Kontrolle der nachfolgend benannten Festigkeits-Koeffizienten erfolgen:

Die Versuche haben ergeben:

1) Gufseisen wird zerstört, wenn die Druckbeanspruchung in der am meisten beanspruchten Faser pro qcm 7500 kg überschreitet, alsdann trennen sich die Körper in einzelne Stücke, indem sich blanke Gleitflächen bilden.

II 21

2) Schmiedeeisen ließ sich durch Druck nicht in dieser Weise zerstören, jedoch verbog sich das Schmiedeeisen schon bei einer Maximalfaserspannung von 2200 bis 3000 kg so sehr, daß der Konstruktionstheil unbrauchbar wurde.

3) Gufseisen in Stützen verwendet, erleidet meistens eine von der theoretischen Voraussetzung abweichende Beanspruchung des Materials, indem der Guß nicht vollkommen ist.

Aus diesen Gründen wird eine Stütze zerstört, wenn die Maximalanten-Spannung  $S$  folgende Werthe überschreitet:

Gufseisen.

Bei liegend gegossenen Hohlsäulen, bei welchen die Wandstärke auf der am stärksten beanspruchten Seite mindestens noch  $\frac{2}{3}$  der Stärke der anderen Seite der Wandung betragen muß, sind für  $S$  folgende Werthe zu wählen, je nachdem die Stütze eine steifere oder schlankere Form besitzt:

Bei $L/D \leq 15$	$> 15$	$> 20$
	$< 20$	$< 25$

ist zu wählen:  $S = 4300$  kg    4150 kg    4000 kg.

Mit wachsendem  $L/D$  nähert sich  $S$  dem Werthe 1500, da schlanke Stützen zumal auf Zug beansprucht werden.

Bei sehr gutem Guß, stehend geformten und stehend gegossenen Säulen sind obige Werthe  $S$  um etwa 700 kg zu erhöhen.

Vollkörper:

bei $L/D \leq 15$	$> 15$	$> 25$	$> 35$	$> 40$
	$< 20$	$< 30$	$< 40$	$< 45$
ist zu wählen: 7500 kg	6000 kg	4000 kg	2000 kg	1500 kg.

## Schmiedeeisen.

Bei weichem Eisen, z. B. geschweißten Rohren . . . . .	$S = 2200$ kg,
„ weniger weichem Eisen, massiven Stäben . . . . .	$S = 3000$ „
„ Nietkonstruktionen, von welchen im kalten Zustande nur ein Stück untersucht ist, wird empfohlen . . . . .	$S = 2700$ „

## Rechnungs-Werthe

II 22

$$P = S \cdot F \frac{1}{1 + \left( a + \frac{(l/2)^2 \cdot P \cdot a}{2 E J - \frac{5}{6} (l/2)^2 \cdot P} \right) \cdot \frac{F \cdot D}{2 J}}$$

Rohre vergl. Protokoll I S. 2.

## Gufseisen.

$$l = 1,28 \text{ m} = 128 \text{ cm}, \quad (l/2)^2 = 4096,$$

$$F = 63,6,$$

$$S = 4300, \quad \frac{F \cdot D}{2 J} = 0,325,$$

$$a = 1,0,$$

$$P = 190\,000 \text{ als Näherungswerth},$$

$$S \cdot F = \mathbf{273\,480},$$

$$J = 1466,$$

$$2 E J = 2932 \text{ Millionen},$$

$$(l/2)^2 \cdot P \cdot a = 4096 \cdot 190\,000 = 778,2 \text{ Millionen},$$

$$\frac{5}{6} \text{ davon} = 648,5 \quad ,,$$

$$\frac{778,2 \text{ Millionen}}{2 E J - \frac{5}{6}}$$

$$= \frac{778,2 \text{ m}}{2284 \text{ m}} = 0,3407,$$

$$(1 + 0,3407) \cdot 0,325 = 0,436,$$

$$1,436/273\,480 = 190\,500 \text{ kg},$$

$$\text{Mittelwerth} \frac{190 + 190,5}{2} = 190,2 \text{ t}.$$

Desgleichen Gufsrohr  $S = 4300$ ,  $l = 2,28 \text{ m} = 228 \text{ cm}$ ,

$$(l/2)^2 = 12\,996 \text{ rot. } (l/2)^2 = 13\,000 \quad a = 1.$$

$$F \cdot S \cdot a \text{ und } \frac{F D}{2 J} \text{ wie oben.}$$

$$P \text{ Näherungswerth} = 160\,000 \text{ kg},$$

$$(l/2)^2 \cdot P = 13\,000 \cdot 160\,000 = 2080 \text{ Millionen},$$

$$\frac{5}{6} \text{ davon} = 1733 \quad ,,$$

$$2 E J - \frac{5}{6} (l/2)^2 \cdot P = 2932 - 1733 = 1199 \text{ Millionen},$$

$$\frac{2082 \text{ Mill.}}{1199 \text{ Mill.}} = 1,736 + 1 = 2,736 \cdot 0,325 = 0,889,$$

$$0,889 + 1,0 = \text{rot. } 1,889,$$

$$S F = 273\,480 \cdot \frac{273\,480}{1,889} = 145\,000.$$

Mittelwerth:

$$\frac{160 + 145}{2} = 152,5 \text{ t.}$$

Rechnung 3 giebt 151,3 t.

II 23

do. Gufsrohr  $S = 4000$ ,  $l = 4,28 \text{ m} = 428 \text{ cm}$ , $(l/2)^2 = 45\,800$ , Näherungswerth  $P = 65\,000$ , $(l/2)^2 \cdot P = 45\,800 \cdot 65\,000 = 3\,023 \text{ Millionen}$ , $\frac{5}{6}$  davon = 2519 „

$$\frac{(l/2)^2 \cdot P}{2 EJ - \frac{5}{6} \cdot (l/2)^2 \cdot P} = \frac{3\,023}{2932 - 2519} = 7,32.$$

$$7,32 + 1 = 8,32,$$

$$8,32 \cdot 0,325 = 2,704,$$

$$2,704 + 1 = 3,704,$$

$$\frac{254\,400}{3,704} = 68\,700 \text{ kg.}$$

$$\text{Mittelwerth } \frac{66 + 68,7}{2} = 67,3 \text{ t.}$$

Rechnung 3 giebt 66,7 t.

Schmiedeisenrohr.

$$l = 2,28 \text{ m} = 228 \text{ cm},$$

$$(l/2)^2 = 13\,000, \quad J = 1466,$$

$$2 EJ = 5864 \text{ Millionen},$$

$$a = 1, \quad F = 63,6,$$

$$S = 2200 \text{ kg.}$$

 $P$  Näherungswerth = 100 000 kg,

$$(l/2)^2 \cdot P = 13\,000 \cdot 100\,000 = 1\,300 \text{ Millionen},$$

$$\frac{5}{6} \text{ davon} = 1080 \text{ „}$$

$$1300 \text{ M.}$$

$$\frac{1300 \text{ M.}}{5864 \text{ M.} - 1080 \text{ M.}} = 0,27, \quad 0,27 + 1 = 1,27,$$

$$1,27 \cdot 0,325 = 0,4127.$$

$$0,41 + 1 = 1,41,$$

$$\frac{139\,900}{1,41} = 99\,200 \text{ kg.}$$

$$\text{Mittelwerth } \frac{100 \text{ t} + 99,2 \text{ t}}{2} = 99,6 \text{ t.}$$

Stäbe.

$$\text{Gufseisen } l = 1,28 \text{ m} = 128 \text{ cm},$$

$$S = 7500, \quad F = 63,6, \quad SF = 477\,000 \text{ kg.}$$

$$J = 321,5, \quad 2 EJ = 643 \text{ Millionen},$$

$$P = 120\,000 \text{ Näherungswerth},$$

$$(l/2)^2 \cdot P = 4096 \cdot 120\,000 = 491,5 \text{ Millionen},$$

$$\frac{5}{6} \text{ davon} = 401 \text{ „}$$

II 24

$$\frac{491,5}{643 - 401} = 2,6, \quad 2,6 + 1 = 3,6, \quad 3,6 \cdot 0,89 = 3,2,$$

$$\text{Mittelwerth } \frac{120 + 113 \text{ t}}{2} = 116 \text{ t } \frac{477 \text{ 000}}{4,2} = 113 \text{ 000.}$$

$$\text{Gufsstab } l = 2,28 \text{ m} = 228 \text{ cm,}$$

$$(l/2)^2 = 13 \text{ 000, } \text{Näherungswerth } 50 \text{ 000 kg,}$$

$$S F \text{ wie oben } 5000 \cdot 63,6 = 318 \text{ 000 kg,}$$

$$2 EJ = 643 \text{ Millionen,}$$

$$(l/2)^2 \cdot P = 13 \text{ 000} \cdot 48 \text{ 000} = 624 \text{ Millionen,}$$

$$\frac{5}{6} \text{ davon} = 520 \quad \text{„}$$

$$\frac{624}{643 - 520} = \frac{624}{123} = 5,07,$$

$$5,07 + 1 = 6,07,$$

$$6,07 \cdot 0,89 = 5,40,$$

$$5,40 + 1 = 6,40,$$

$$\frac{318 \text{ 000}}{6,4} = 49 \text{ 700,}$$

$$\text{Mittelwerth } \frac{48 + 49,7}{2} = 48,8 \text{ t.}$$

Rechnung 3 gibt 48,5 t.

$$\text{Gufsstab } l = 4,28 \text{ m,}$$

ausgerechnet Protokoll I, Seite 57.

$$\text{Resultat } P = 13,8 \text{ t.}$$

$$\text{Schmiedestab } l = 1,28 \text{ m} = 128 \text{ cm,}$$

$$J = 305, \quad \emptyset = 8,9, \quad F = 62 \text{ qcm, } E = 2 \text{ Millionen,}$$

$$(l/2)^2 = 4096, \quad \text{Näherungswerth } P = 90 \text{ 000,}$$

$$S F = 3000 \cdot 62,0 = 186 \text{ 000 kg,}$$

$$(l/2)^2 \cdot P = 4096 \cdot 90 \text{ 000} = 368,6 \text{ Millionen,}$$

$$\frac{5}{6} \text{ davon} = 307 \quad \text{„}$$

$$2 EJ = 1220 \quad \text{„}$$

$$\frac{368,6}{1220 - 307} = 0,404,$$

$$0,404 + 1 = 1,404,$$

$$1,404 \cdot 0,904 = 1,27,$$

$$\frac{F \cdot D}{2 J} = 0,904,$$

$$1,27 + 1 = 2,27,$$

$$\frac{186 \text{ 000}}{2,27} = 82,$$

II 25

$$\text{Mittelwerth } \frac{82 + 90,0}{2} = 86 \text{ t.}$$

Rechnung 3 giebt 87 t.

Schmiedestab  $l = 2,28 \text{ m} = 228 \text{ cm}$ ,Näherungswerth  $P = 60\,000$ , $SF = 3000 \cdot 63,6 = 190\,800 \text{ kg}$ , $2 EJ = 1200 \text{ Millionen}$ , $(l_2)^2 \cdot P = 13\,000 \cdot 60\,000 = 780 \text{ Millionen}$ , $\frac{5}{6}$  davon = 650 „

$$\frac{780}{1220 - 650} = 1,37,$$

$$1,37 + 1 = 2,37,$$

$$2,37 \cdot 0,904 = 2,14,$$

$$2,14 + 1 = 3,14,$$

$$\frac{186\,000}{3,14} = 59,2,$$

$$\text{Mittelwerth } \frac{59,2 + 60,0}{2} = 59,5 \text{ t.}$$

Schmiedestab  $l = 4,28 \text{ m}$ .

Ausgerechnet im Protokoll I, S. 56.

 $P = 27\,000 \text{ kg}$ .Nieteisenstütze kalt, mit 2 cm Excentrizität eingespannt, Gitterstäbe nach oben,  
vergl. Warmprobe S. 82.

$$J = 1402, \quad F = 63,6,$$

$$SF = 2700 \cdot 63,6 = 171\,700 \text{ kg}, \quad a = 2,$$

Näherungswerth 85 000 „

$$P = 2700 \cdot 63,6 \cdot \frac{1}{1 + \left( 2 + \frac{13\,000 \cdot 85\,000 \cdot 2}{2 \cdot 2 \cdot 1407 \text{ Mill.} - \frac{5}{6} \cdot 13\,000 \cdot 85\,000} \right) \cdot \frac{F \cdot D}{2J}}$$

$$\frac{F \cdot D}{2J} = 0,317,$$

$$P = 171\,700 \cdot \frac{1}{1 + (2 + 0,5) \cdot 0,317} = \frac{171\,700}{1,89}$$

 $P = 90\,000$ .

$$\text{Mittelwerth } P = \frac{85 + 90}{2} = 87,5.$$

II 26 Nieteisenstütze kalt, mit 1 cm Excentrizität und mit dem Flacheisen nach  
oben resp. unten.

$$J = 3463.$$

 $SF = 171\,700 \text{ kg}$ , $2 EJ = 4 \cdot 3464 \text{ Mill.} = 13852 \text{ Millionen}$ .

$$P \text{ Näherungswerth} = 120\,000.$$

$$a = 1 \text{ cm.}$$

$$(l/2)^2 \cdot P = 13\,000 \cdot 120\,000 = 1560 \text{ Millionen,}$$

$$\frac{5}{6} \text{ davon} = 1300 \quad "$$

$$\frac{1560 \text{ Mill.}}{13\,852 - 1300 \text{ Mill.}} = 0,12,$$

$$\frac{F \cdot D}{2 J} = \frac{63,6 \cdot 18}{6926} = 0,17.$$

$$(1 + 0,12) \cdot 0,17 = 0,19,$$

$$P = \frac{171\,700}{1,19} = 144\,000 \text{ kg.}$$

$$\text{Mittelwerth} \frac{120 + 144}{2} = 132 \text{ t,}$$

Hamburg, den 21. Dezember 1886.

(gez.) M. Möller.

### Berechnung der Warmproben.

II 27

Einspannung zwischen Gelenken, 1 cm Excentrizität gegen das Feuer.

Vergl. Fig. 7, Prot. I, S. 24.

Durch die Vergleichs-Rechnungen Seite 53, 54 u. 55, Prot. I hat sich ergeben, daß der Koeffizient  $K = 0,0004$  (vergl. Centralblatt der Bauverwaltung, Deutsche Bauzeitung und Wochenblatt) in der Formel

$$P = S \cdot F \cdot \frac{1}{1 + 0,0004 \cdot \frac{l^2 \cdot F}{J}}$$

richtig gewählt ist. Dagegen ist für Berechnung der Bruchgrenze wie folgt zu wählen:

$$\begin{array}{l} \text{für Gußeisen in Röhrenform } S = \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} 1500 \\ \text{„ „ in Stabform } J = \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \\ \text{„ Schmiedeeisen in Hohlformen } J = 1200 \\ \text{„ „ in massiven Stäben } J = 1400 \end{array}$$

### Röhren.

$$\text{Gußrohr } 1,28 \text{ m lang} = 128 \text{ cm.}$$

$$P = 1200 \cdot 63,6 \cdot \frac{1}{1 + 0,0004 \cdot \frac{128^2 \cdot 63,6}{1466}}$$

$$1500 \cdot 63,6 = 95\,400,$$

$$\frac{128^2 \cdot 63,6}{1466} = 711,$$

$$711 \cdot 0,0004 = 0,2844,$$

$$\frac{95\,400}{1,284} = 74\,300 \text{ kg.}$$

## II 28

Gufsrohr 2,28 m = 228 cm.

$$\frac{l^2 \cdot F}{J} = 2255,$$

$$2255 \cdot 0,0004 = 0,902,$$

$$0,902 + 1 = 1,9,$$

$$P = \frac{95\,400}{1,9} = 50\,200 \text{ kg.}$$

Gufsrohr 4,28 m = 428 cm.

$$\frac{l^2 \cdot F}{J} = 7947,$$

$$7947 \cdot 0,0004 = 3,18,$$

$$1 + 3,18 = 4,18,$$

$$\frac{95\,400}{4,18} = 22\,800 \text{ kg.}$$

Schmiederohr 1,28 m.

$$S \cdot F = 1200 \cdot 63,6 = 76\,320,$$

$$P = \frac{76\,320}{1,284} = 59\,400 \text{ kg.}$$

Vergl. S. 27.

Desgleichen 2,28 m lang.

$$P = \frac{76\,320}{1,9} = 40\,200.$$

Vergl. S. 28 oben.

Desgleichen 4,28 m lang.

$$P = \frac{76\,320}{4,18} = 18\,200 \text{ kg.}$$

NB. Ein Schmiederohr von 4,28 m Länge stand bei den Versuchen nicht zur Verfügung.

**Nietstütze.**

## II 29

Ueber das kleine Trägheits-Moment eingespannt  $l = 2,28$ .

$$P = S \cdot F \cdot \frac{1}{1 + 0,0004 \frac{l^2 \cdot F}{J}}$$

$$l^2 \cdot F = 3\,306\,000 \quad S \cdot F = 1200 \cdot 63,6 = 76\,320,$$

$$J = 1402, \text{ conf. Prot. I, S. 82,}$$

$$\frac{l^2 \cdot F}{J} = 2358,$$

$$2358 \cdot 0,0004 = 0,94,$$

$$P = \frac{76\,320}{1,94} = 39\,300 \text{ kg.}$$

Desgleichen Nietstütze.

Ueber das große Trägheitsmoment eingespannt, so daß das Feuer unter dem Flacheisen brannte:

$$J = 3463, \text{ conf. Prot. II, S. 26,}$$

$$P = 763\,200 \cdot \frac{1}{1 + 0,0004 \cdot \frac{3\,306\,000}{3463}},$$

$$\frac{3\,306\,000}{3463} = 954,$$

$$P = \frac{763\,200}{1,382} = 55\,300.$$

### Stäbe.

Gufseisen 9 cm Durchm. 1,28 m.

$$J = 321,5, \quad S = 1500, \quad SF = 95\,400,$$

$$l^2 \cdot F = 1\,041\,768,$$

$$\frac{l^2 \cdot F}{J} = \frac{1\,041\,768}{321,5} = 3240,$$

$$3240 \cdot 0,0004 = 1,296,$$

$$\frac{S \cdot F}{1 + 1,3} = \frac{95\,400}{2,3} = 41\,500 \text{ kg.}$$

Gufseisen-Stab. L. = 2,28 m.

II 30

$$l^2 = 51\,984,$$

$$l^2 \cdot F = 3\,306\,000,$$

$$\frac{l^2 \cdot F}{J} = \frac{3\,306\,000}{321,5} = 10\,280,$$

$$10\,280 \cdot 0,0004 = 4,1,$$

$$P = \frac{95\,400}{1 + 4,1} = 18\,700 \text{ kg.}$$

Gufs-Stab. L. = 4,28.

$$l^2 = 183\,184,$$

$$l^2 \cdot F = 11\,650\,000,$$

$$\frac{l^2 \cdot F}{J} = \frac{11\,650\,000}{321,5} = 36\,200.$$

$$36\,200 \cdot 0,0004 = 14,5,$$

$$P = \frac{95\,400}{1 + 14,5} = 6100 \text{ kg.}$$

Schmiedeseisen-Stab. Durchm. 8,9.

$$l = 128, S = 1400,$$

$$SF = 62 \cdot 1400 = 86800,$$

$$l^2 = 16380, J = 305,$$

$$Fl^2 = 62 \cdot 16380 = 1\,015\,560,$$

$$\frac{Fl^2}{J} = \frac{1\,015\,560}{305} = 3330,$$

$$3330 \cdot 0,0004 = 1,33,$$

$$P = \frac{86\,800}{1 + 1,33} = 37\,300.$$

Desgleichen Schmiedestab. L. = 228.

$$l^2 = 51\,984 \text{ rot. } 52\,000,$$

$$Fl^2 = 62 \cdot 52\,000 = 3\,224\,000,$$

$$\frac{Fl^2}{J} = \frac{3\,224\,000}{305} = 10\,570,$$

$$10\,570 \cdot 0,0004 = 4,23,$$

$$P = \frac{86\,800}{1 + 4,23} = 16\,600.$$

II 31

Desgleichen Schmiedeseisenstab. L. = 428.

$$l^2 = 183\,184,$$

$$Fl^2 = 62 \cdot 183\,184 = 11\,358\,400,$$

$$\frac{Fl^2}{J} = \frac{11\,358\,400}{305} = 37\,240,$$

$$37\,240 \cdot 0,0004 = 14,9,$$

$$P = \frac{86\,800}{1 + 14,9} = 5460 \text{ kg.}$$

**Nachtrag vom Juni und Juli 1887.**II 32  
u. 33

## Revision der benutzten Manometer.

Am 1. Juni wurden von M. Möller in der Manometer-Fabrik des Herrn C. D. Gäbler, Spaldingstr., Hamburg, die beiden seitens der Fabrik (das große im Februar 1886, das kleine im Herbst 1886) gelieferten und für die Versuche verwendeten Manometer mit 2 Kontrolmanometern verglichen. Die Kontrolmanometer sind von dem Geschäftsleiter in der Fabrik für Druck bis zu 15 Atmosphären durch eine entsprechend lange Quecksilbersäule geprüft worden. Für höheren Druck ist die Pressung einer Flüssigkeit zur Anfertigung einer Skala benutzt, wobei der Druck in der Flüssigkeit durch die Belastung von Ventilen ermittelt wurde. Diese Kontrolmanometer, deren die Fabrik 5 Stück besitzt, werden sehr häufig untereinander verglichen, und ist ebenfalls festgestellt, daß die Angaben dieser Manometer mit den Angaben von Manometern der größten Manometerfabriken Deutschlands übereinstimmen. Obiges ist die Aussage des Geschäftsführers der Fabrik.

Es wurde nun von mir folgender Vergleich veranstaltet:

II 34

An 4 untereinander verbundenen Röhren waren 2 Kontrolmanometer und unsere beiden zu prüfenden Manometer befestigt. Der Druck wurde durch einen, in einen Cylinder eindringenden Kolben hervorgerufen. Eine Schraube drückte den Kolben in die Flüssigkeit hinein.

Die beiden Kontrolmanometer zeigten nicht Theilung nach Atmosphären, sondern nach Kilogramm pro qcm. Die Skala derselben trug nur diese Bezeichnung und nicht das Wort „Atmosphäre“.

Die Kontrolmanometer stimmten in ihren Angaben untereinander überein. Im Uebrigen wurden folgende Werthe abgelesen:

A b l e s u n g v o m 1. J u n i 1887.						A b l e s u n g v o m 17. D e z e m b e r 1886.		
Kontr.-Man.	gr. Man.	Differenz	kl. Man.	Differenz	Differenz	gr. Man.	kl. Man.	Differenz
<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a-b</i>	<i>c</i>	<i>a-c</i>	<i>c-b</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>c-b</i>
kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
5	0		4,8	+ 0,2				
10	0	+ 10,0	9,8	+ 0,2	+ 9,8	2,5	12,0	+ 9,5
15	7	+ 8,0	14,6	+ 0,4	+ 7,6	9	15,0	+ 6,0
20	12	+ 8,0	19,5	+ 0,5	+ 7,5	15	20,0	+ 5,0
25	17,5	+ 7,5	24,6	+ 0,4	+ 7,1	20	25,0	+ 5,0
30	22,0	+ 8,0	29,6	+ 0,4	+ 7,6	—	—	—
35	26,5	+ 8,5	34,4	+ 0,6	+ 7,9	25	30,0	+ 5,0
40	30,0	+ 10,0	39,4	+ 0,6	+ 9,4	29	35,0	+ 6,0
45	36,0	+ 9,0	44,0	+ 1,0	+ 8,0	34	40,0	+ 6,0
50	42,0	+ 8,0	49,0	+ 1,0	+ 7,0			
55	47,0	+ 8,0						
60	50,5	+ 9,5						
65	55,2	+ 9,8						
70	60,1	+ 9,9						
80	70,2	+ 9,8						
90	80,0	+ 10,0						
100	90,1	+ 9,9						
110	100,0	+ 10,0						
120	110,2	+ 9,8						

II 35

Die Ablesungen vom 17. Dezember 1886 sind dem urschriftlichen Protokoll I Seite 79 entnommen.

Es müßten eigentlich die Abweichungen der beiden benutzten Manometer *b* und *c* von einander, also die Differenzen *c-b* bei der Ablesung vom 1. Juni 1887 und der Ablesung vom 17. Dezember 1886 mit einander übereingestimmt haben. Es findet sich aber ein Unterschied, welcher fast 3 Atmosphären erreicht. Es muß also entweder das große oder das kleine Manometer sich in der Zwischenzeit verändert haben. Da nun das kleine Manometer jetzt noch verhältnißmäßig genau geht und auch nur wenig

II 36 benutzt ist, das große Manometer dagegen häufig benutzt wurde, so muß angenommen werden, daß die Aenderung sich am großen Manometer vollzogen habe. Die Vergleiche vom 1. Juni 1887 sind also nur für das kleine Manometer zu benutzen, während für das große Manometer die Ablesungen vom 17. Dezember 1886 maßgebend sind.

#### Das kleine Manometer.

Die in den urschriftlichen Protokollen I und II notirten Ablesungen am kleinen Manometer bedurften daher einer Berichtigung, wie folgt:

Statt Atmosphären ist stets Kilogramm pro qcm zu lesen und ferner sind noch folgende Zuschläge zu machen.

Statt 4,8	ist zu setzen	5,0,	also zu addiren	0,2
„ 9,8	„ „ „	10,0,	„ „ „	0,2
„ 14,6	„ „ „	15,0,	„ „ „	0,4
„ 19,5	„ „ „	20,0,	„ „ „	0,5
„ 24,6	„ „ „	25,0,	„ „ „	0,4
„ 29,6	„ „ „	30,0,	„ „ „	0,4
„ 34,4	„ „ „	35,0,	„ „ „	0,6
„ 39,4	„ „ „	40,0,	„ „ „	0,6
„ 44,0	„ „ „	45,0,	„ „ „	1,0
„ 49,0	„ „ „	50,0,	„ „ „	1,0.

#### Das große Manometer.

Die in den Protokollen enthaltenen Ablesungen am großen Manometer sollen Kilogramm pro qcm bedeuten. Dieselben erforderten in den urschriftlichen Protokollen nachstehende Berichtigungen:

II 37 Nach den Ablesungen vom 17. Dezember 1886 ist eine Differenz  $c - b$  hinzuzufügen, wenn man die Ablesungen am großen Manometer mit Ablesungen am kleinen Manometer vergleichen will. Nach den Ablesungen vom 1. Juni 1887 sind ferner zu diesen noch die vorstehenden Differenzen hinzuzufügen, um aus der Ablesung am großen Manometer den wirklichen Druck in kg pro qcm abzuleiten.

Bei der Ablesung	2,5	am großen Manometer	war zu addiren	$9,5 + 0,3 = + 9,8$
„ „ „	9,0	„ „ „	„ „ „	$6,0 + 0,4 = + 6,4$
„ „ „	15,0	„ „ „	„ „ „	$5,0 + 0,5 = + 5,5$
„ „ „	20,0	„ „ „	„ „ „	$5,0 + 0,4 = + 5,4$
„ „ „	25,0	„ „ „	„ „ „	$5,0 + 0,4 = + 5,4$
„ „ „	29,0	„ „ „	„ „ „	$6,0 + 0,6 = + 6,6$
„ „ „	34,0	„ „ „	„ „ „	$6,0 + 0,6 = + 6,6.$

NB. Beispiel: Wenn das große Manometer im Herbst 1886 2,5 gezeigt hat, dann gab das kleine Manometer nach den Ablesungen vom 17. Dezember 1886 — 9,5 mehr an, und das Kontrolmanometer würde noch 0,3, also im Ganzen  $9,5 + 0,3 = 9,8$  kg pro qcm mehr angezeigt haben. Die Zahl 0,3 ist durch Interpolation aus 0,2 und 0,4, vergl. S. 36, abgeleitet, da den Ablesungen des kleinen Manometers in Nähe von 10 kg

pro qcm 0,2 und in Nähe von 15,0 kg pro qcm 0,4 hinzuzufügen ist. Hier bei 12 kg pro qcm Ableseung am kleinen Manometer ist der zu wählende Zuschlag, zwischen 0,2 resp. 0,4 liegend, zu 0,3 gewählt.

Unter Benutzung vorstehender Differenzen und der entsprechenden Interpolationen sind folgende Tabellen abgeleitet, nach welchen die Angaben über den Druck in den Veröffentlichungen gegenüber den Angaben der urschriftlichen Protokolle abgeändert sind. II 38

Tabelle I.

Ableseung am großen Manometer Dezember 1886	Differenz +	Entsprechender Druck in kg pro qcm
0,0	9,8	0—9,8
2,5	8,9	11,4
5,0	8,1	13,1
7,5	7,2	14,7
10,0	6,4	16,4
12,5	5,9	18,4
15,0	5,5	20,5
18,0	5,4	23,4
20,0	5,4	25,4
22,5	5,4	27,9
25,0	5,4	30,4
27,5	6,0	33,5
30,0	6,6	36,6
32,5	6,6	39,1
35,0	6,6	41,6
40,0	6,6	46,6
45,0	6,6	51,6
50,0	6,6	56,6

Tabelle II.

Ableseung am kleinen Manometer	Differenz +	Entsprechender Druck in kg pro qcm
0	0,2	0,2
2,5	0,2	2,7
5,0	0,2	5,2
7,5	0,2	7,7
10,0	0,2	10,2
12,5	0,3	12,8
15,0	0,4	15,4
18,0	0,5	18,5
20,0	0,5	20,5
23,0	0,4	23,4
25,0	0,4	25,4
27,5	0,4	27,9
30,0	0,4	30,4
32,5	0,5	33,0
35,0	0,6	35,6
37,5	0,7	38,2
40,0	0,8	40,8
42,5	0,9	43,4
45,0	1,0	46,0
50,0	1,0	51,0

II 39

Nach obigen beiden Tabellen sind die bei den Versuchen gemachten Ableseungen berichtigt.

### Untersuchungen über die Reibungs-Widerstände in der Presse.

#### Berechnungen. 1. Centraler Druck.

Nach Angabe des Meisters „Freitag“ der Gießerei hat die alte, halb verbrannte II 40 und deshalb entfernte Ledermanschette auf einem Streifen von  $1\frac{1}{4}$  cm bis  $1\frac{3}{4}$  cm angelegen. Auf dieser Seite war die Manschette verschlissen und blank. Es soll der Manschetten-Widerstand bei Annahme von centrischem Druck auf den Kolben und bei

Annahme von 15 % Reibung zwischen Leder und eingefettetem blank, abgedrehtem Kolben ermittelt werden. Der auf die Manschette gelangende Wasserdruck sei zu  $2r\pi \cdot 2$  cm angenommen, entsprechend dem schmalen Ringe von etwa  $1\frac{1}{2}$  cm, in welchem die Manschette am Kolben angelegen hat.

$K$  (Kraft auf den Kolben) =  $r^2\pi \cdot p$  (in kg pro qcm).

$R$  Reibungs-Widerstand =  $2r\pi \cdot 2 \cdot p \cdot \frac{15}{100}$ .

Es entspricht der Kraft  $K$  die Reibung  $R$ ; gesucht ist wie viel Reibung die Kraft 100 liefert.

$\frac{K}{R} = \frac{100}{x}$ ,  $x$  Reibungs-Widerstand in Prozenten

$$x = \frac{100 \cdot R}{K} = \frac{100 \cdot 2r\pi \cdot 2p \cdot \frac{15}{100}}{r^2\pi \cdot p}$$

$$x = \frac{4 \cdot 15}{r} = \frac{4 \cdot 15}{25,4} = 2,36.$$

II 41

Resultat: Da an der Presse beobachtet wurde, daß der Kolben sich frei ohne Klemmen von Eisen an Eisen, sondern nur unter der Einwirkung der Manschetten-Reibung bei centrischem Druck bewegt, so kann letztere nicht wohl größer als  $2\frac{1}{2}$  % erwartet werden, da der Reibungs-Koeffizient zwischen dem eingefetteten glatten Kolben und dem Leder 15 % kaum erreichen wird.

$R$ , in den Manschetten = 2,36.

## 2. Excentrischer Druck.

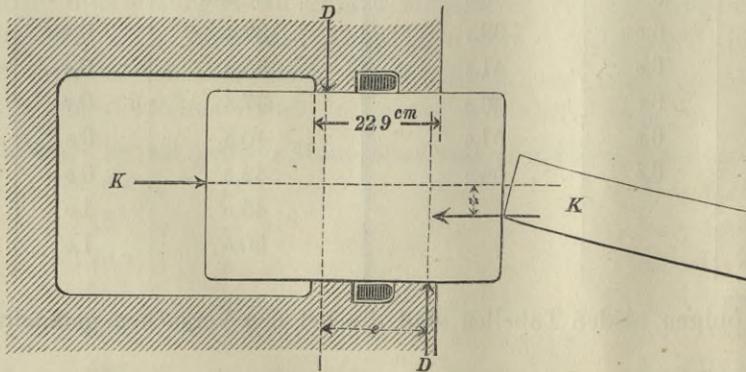


Fig. 33.

Reibung zwischen Kolben und Cylinderhals =  $f \cdot D + f \cdot D = 2fD = 2f \frac{K \cdot Z}{e}$ .

$f$  nach der Beilage des deutschen Baukalenders 1884, S. 17 = 0,08.

$$R_{,,} = 2 \cdot 0,08 \cdot \frac{K \cdot Z}{e}$$

Hier ist  $Z$  höchstens bis 6 cm vorgekommen.

$e = 22\frac{1}{2}$  cm, nämlich etwas kleiner als 229 mm.

$$R_{,,} = 2 \cdot 0,08 \cdot \frac{K \cdot 6}{22,5} = 0,043 K = R_{,,} = 4,3 \% \text{ von } K. \quad II \ 42$$

$$R = R_{,,} + R_{,,} = 2,36 + 4,3 = 6,66 \%$$

Rechnet man als Druck auf die Manschetten nur  $2 r \pi \cdot 1,5$  cm  $\cdot p$  und als Reibungs-Koeffizient von Leder auf dem geschmierten Kolben 12% und ferner als Reibungs-Koeffizient von geschmiertem Gufseisen an Gufseisen (glatt bearbeitet) 0,07, dann findet sich  $R$  wie folgt:

$$R = \frac{2 r \pi \cdot 1,5 p \cdot \frac{12}{100}}{r^2 \pi \cdot p} \cdot K + 2 \cdot 0,07 \cdot \frac{K \cdot 6}{22,5}$$

$$r = 25,4.$$

$$R = 1,42 \cdot \frac{K}{100} + 3,74 \cdot \frac{K}{100} = 5,16 \cdot \frac{K}{100}$$

$$R = 5,16 \% \text{ von } K.$$

Berechnet am 11. August 1887.

(gez.) M. Möller.

Versuche ausgeführt am 18. Juli 1887.

1 cm Excentrizität.

Um die Kolben-Reibung zu prüfen, war ein 4 m langes starkes Rohr gegossen worden, dessen äußere Dimensionen denen der Versuchsstücke entsprachen, dessen Wandungen aber doppelt so stark waren. Hierdurch ist erreicht, daß ziemlich hoher Druck gegeben werden konnte, ohne im Material Spannungen zu erzeugen, welche die Elastizitätsgrenze überschritten haben. Die Länge von 4 m war erwünscht, um große Durchbiegungen zu erzeugen. Aus der Aenderung der Durchbiegung sollte geschlossen werden, bei welcher Druck-Aenderung der Kolben vor- oder rückwärts sich bewege oder etwa stehen bleibe. II 43

#### Protokoll der Versuche.

Zugegen: Herr Regierungs-Baumeister Dieckmann,

„ Ingenieur Zaleski,

„ R. Lühmann,

„ Techniker Wolff,

und der Unterzeichnete.

7 Uhr 40 Min. Morgens, Beginn des ersten Versuches auf dem Fabrikhof des Herrn Lühmann. Die Säule hatte während der Nacht im Freien gelegen; die Nacht war ziemlich kühl gewesen; der Morgen war sonnig, die Lufttemperatur stieg recht schnell; der Fabrikhof und die Presse waren von der Sonne hell beschienen, desgleichen zunächst auch die eingespannte Säule.

Kl. Mano- meter	Durch- biegung	Längen- änderung	Bemerkungen.
	mm	mm	
	0 auf 0 eingestellt		I.
	2,2		Die Durchbiegung wird an demselben Zeiger gemessen, der im Herbst 1886 benutzt worden war und die Längenänderung direkt an einem Längen-Maaßstabe, welcher an die Säule festgebunden ist.
	3,0	0	
	4,1	÷ 0,25	
	5,0		
	6,0	÷ 0,4	
II 44	7,0	3,9	
	8,0	4,8	
	9,0	÷ 0,5	
	10,0	÷ 0,65	
	10	6,8	
	9	6,3	
	8	5,9	
	7	5,0	
	6	4,3	
	5	3,6	
	4,1	2,9	
	3,0	1,8	
	2,2	÷ 0,3	
			2 R ≤ 10—9 Atmosphären ≤ 1 Atmosphäre.
			$R \leq \frac{1}{10} K = 5 \% \text{ von } K.$
			Vergl. Erklärung der Formel S. 53 u. 56.
			NB. Für die Längenänderung wird eine neue Marke als Nullpunkt angenommen.
			II.
	2,2	0,7	Die leiseste Bewegung der Pumpe ist am Durchbiegungs-Zeiger zu spüren.
	3,0	1,1	
	4,2	2,0	
	5,0	2,8	
	6,0	3,4	
	7,0	4,2	
	8,0	5,0	
	9,0	5,8	
	10,0	6,7	
	11,0	6,9	
II 45	10,5	6,9	
	10,0	6,9	
	9,5	6,6	
	9,0	6,3	
	8,4	6,0	

Kl. Mano- meter	Durch- biegung	Längen- änderung	Bemerkungen.
	mm	mm	
			III a.
9,0	6,2		Die Säule ist oben von der Sonne beschienen. Bei 0,5 Atmosphären Hin- und Rückgang bewegt sich schon der Zeiger, also: $R \leq 0,25 \text{ Atm.} \cdot F$ . $R = \frac{0,25}{11} K \cdot R = 2,2\% \text{ von } K.$ $R \leq \frac{0,25}{10} K \leq 2,5\% \text{ von } K.$
9,5	6,4		
10,0	6,8		
10,5	7,0		
11	7,4		
10,5	7,2		
10,0	7,0		
9,5	6,9		
9,0	6,5		
8,5	6,3		
8,0	6,0		
7,5	5,5		
7,0	5,1		8 Uhr 10 Min. Die Säule wird durch eine über die Maschine gelegte Holzbohle gegen die Sonnenstrahlen geschützt, weil die Säule während des Versuches 1 mm an Länge durch Erwärmung zugenommen hat.
6,0	4,4		
5,0	3,8		
4,0	2,4		
3,0	2,0		
2,2	1,0	+ 1	
			IV.
2,2	0,9	+ 1	Manometer-Schwankung bei einem Kolbenhub der Pumpe 0,8 Atmosphären. <span style="float: right;">II 46</span>
3,0	1,4		
4,0	2,2		
5,0	2,9	+ 0,9	
6,0	3,7		
7,0	4,4		
8,0	5,0	+ 0,8	
9,0	6,0		
10,0	6,8		
11,0	7,4	+ 0,8	
12,0	8,4		
13,0	9,0		
14,0	9,9	+ 0,2	

Kl. Mano- meter	Durch- biegung	Längen- änderung	Bemerkungen	
	mm	mm		
15	10,9	$\pm 0$	Knacken in der Maschine.	
16				
17				
17	13,5		Die Maschine leckte im Anfang stark, dieselbe hält jetzt dichter.	
18	14,7	$\div 0,2$		
19	15,3			
20	15,9			
21	16,7			
22	17,5	$\div 0,3$		
22	17,5	$\div 0,5$		
21,5	17,5			
21	17,5			
20,5	17,4			
20,0	17,3	$\div 0,4$		
19,5	17,2			
19	17,0			
18,5	17,0			
18,0	16,8			
18,5	16,9			
19,0	17,0			
				V.
19,5	17,0			$R \leq \frac{20 - 19}{2 \cdot 20} \cdot K$
20,0	17,1			
20,5	17,2		$R \leq 2,25\%$ von $K$ . Vergl. Seite 53 und 56.	
21	17,3	$\div 0,5$		
21,5	17,5			
22	17,7			
20	17,5	$\div 0,5$		
15	15,7	$\div 0,4$		
10	12,6	$\div 0,2$		
5	7,2	$\pm 0$		
2,2	3,7	$+ 0,1$		
			VI.	
II 47	2,2	3,4	$+ 0,1$	
	5	5,0		
	10,1	9,0	$- 0,2$	
	15	12,2	$- 0,4$	

Kl. Manometer	Durchbiegung	Längenänderung	Bemerkungen	
	mm	mm		
20	14,5			
22	15,4	— 0,6		
25,3	16,1	— 0,9		
30	17,6	— 1,2		
32,5	18,2			
33	18,5		Schwankungen 0,5 Atmosphären beim Anheben des Pumpen-Kolbens.	
33,5	18,7	— 1,8		
34	19,0	— 1,8		
33,5	19,0	}		$R \leq \frac{1,5}{2} K \leq 0,23 \% \text{ von } K$ Vergl. S. 53 und 56.
33	19,0			
32,5	19,0			
32,0	18,9			
31,5	18,9			
29,5	18,6			
25,1	17,8			
22,0	17,3			
20,0	16,9			
15,0	15,4			
10,0	12,0			
5,0	7,1			
2,2	3,5	+ 0,8		
			VII.	
2,2	3,0	+ 0,8		
5,2	4,9	+ 0,6		
10,0	8,7	+ 0,4		
15,0	11,9	+ 0,0		
20	13,8	— 0,4		
25	14,9	— 0,8		
30	16,0	— 1,2		
35	17,1	— 1,8	Ruck.	
40	18,5	— 2,0		
40,5	18,6			
41,0	18,8			
41,5	18,9			
42,5	19,0	— 2,2		
42	19,0			
41,5	19,0			

Kl. Mano- meter	Durch- biegung	Längen- änderung	Bemerkungen
	mm	mm	
41,0	19,0		
40,5	18,9		
40	18,9		
39	18,8		
38	18,7		
37	18,6		
35	18,5		
30	18,0	— 1,6	
25	17,0	— 1,2	
20	16,0	— 1,0	
15	14,8	— 0,6	
10	11,5	— 0,1	
5	6,8		
			VIII.
2,2	3,6	+ 0,6	
40	18,2	— 1,8	
45	19,0	— 2,4	
40	18,8		
30	17,4		
2,2	3,6		

## Centrische Einspannung der Stütze.

II 49

15,0			
2,0	0,0		
10,0	+ 4,4		Die Säule biegt sich nach unten durch.
15,0	+ 6,1		
20,0	+ 7,3		
25,5	+ 7,7		
30,0	+ 7,9		
35,0	+ 7,9		
35,5	+ 7,9		
36,5	+ 7,9		
37,0	+ 7,9		
37,5	+ 7,9		
38,0	+ 7,9		
38,5	+ 7,9		

Kl. Manometer	Durchbiegung mm	Bemerkungen
38,0	+ 7,9	
37,0	+ 7,9	
36,5	+ 7,8	
36,0	+ 7,7	
35,0	+ 7,7	
34,0	+ 7,6	
30,0	+ 7,5	
20,0	+ 7,2	
15,0	+ 6,5	
10,0	+ 5,2	
5,0	+ 2,3	
2,2	+ 0,4	
2,5	+ 0,4	
30,0	+ 7,4	
38,0	+ 7,6	
40,0	+ 7,6	
45,0	+ 7,2	
50,0	+ 6,0	

II 50

Einspannung mit 2 cm Excentricität nach oben.

2,0	0,0	
5,0	+ 0,8	
10,0	+ 1,8	
15,0	+ 1,6	
20,0	+ 1,1	
25,0	+ 0,5	
30,0	÷ 0,9	
34,0	÷ 6,0	
34,0	÷ 6,2	
33,0	÷ 6,1	
30,0	÷ 6,0	
15,0	÷ 2,2	Die Säule lagert nur mit $\frac{1}{3}$ ihres Umfanges auf und ecken daher die Gelenke. Die Säule ist sehr stark nach oben durchgebogen, die Gelenke aber nach unten.
5,0		Die wahre Durchbiegung mißt jetzt bei 15 Atm. 14 mm nach oben. Mit einer gespannten Schnur an der Säule festgestellt.
2,0		

## Versuche am 28. Juli 1887 ausgeführt.

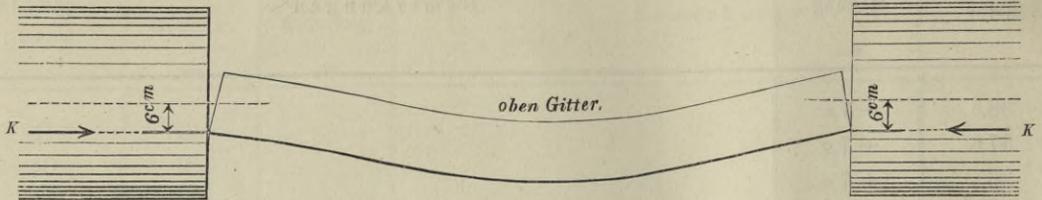


Fig. 33.

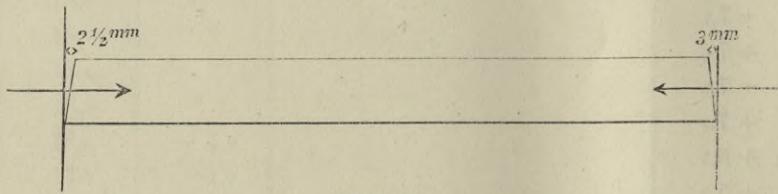


Fig. 33a.

II 51 Die Excentrizität  $Z$  betrug erst  $7\frac{1}{2}$  cm und hernach 6 cm, nachdem mehr Material zum Anliegen gelangt war.

Mit dem Versuch wurde  $9\frac{1}{2}$  Uhr begonnen.

Kl. Manom. kg pro qcm	Durch- biegung mm	Bemerkungen.
$2\frac{1}{2}$	0	
3	0	
4	÷ 0,1	Versuche ergaben, daß bei 9 Atmosphären Spannung und bei $\pm \frac{1}{4}$ Atm. Spannungs-Aenderung in der Presse, durch leises Lüften und Wiederandrücken des Pumpenhebels hervorgerufen, Bewegungen am Kolben der hydraulischen Presse veranlaßt wurden, welche mit bloßem Auge noch als Hin- und Rückgang erkennbar waren.
5	÷ 0,2	
6	÷ 0,2	
7	0,0	
8	0,0	
9	0,0	
II 52 10	+ 0,3	Bei $\pm \frac{1}{5}$ Atmosphären Spannungs-Aenderung ist sogar noch eine Schwankung am Durchbiegungs-Zeiger zu erkennen.
11 $\frac{1}{2}$	+ 0,6	
12	+ 0,6	
13	+ 0,8	Um $1\frac{1}{2}$ Atmosphären variirt der Druck beim Kolbenhub der Pumpe, $\frac{3}{4}$ Atm. Rückgang erfolgt am Manometer nach jedem Pumpenspiel. Wenn der Pumpen-Schwengel gehoben wird, sinkt die Spannung am Manometer $1\frac{1}{2}$ Atm., es ändert sich dabei jedoch auch die Durchbiegung. Auch war jede Bewegung am Pumpen-Schwengel am Kolben der hydraulischen Presse selbst mit bloßem Auge als Kolben-Hin- und Rückgang erkennbar.

9 Uhr 45 Min.		Bemerkungen.
Kl. Manom. kg pro qcm	Durch- biegung mm	
9	+ 0,2	
10	+ 0,3	
11	+ 0,4	
12	+ 0,5	
14	+ 0,9	
15	+ 1,0	
18	+ 1,6	
20	+ 1,8	Der Ausschlag am Manometer beträgt $\pm 2\frac{1}{2}$ Atmosphären, wenn der Pumpenhebel gehoben und wieder niedergedrückt wird. Dabei geht der Zeiger der Durchbiegung stark hin und her.
16,3	+ 1,6	
15	+ 1,4	
19	+ 1,8	
20	+ 2,0	
21	+ 2,2	

Bei 20 Atmosphären ergibt eine Schwankung des Druckes im Presscyylinder von  $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$  Atm. am Durchbiegungs-Zeiger schon mit bloßem Auge sichtbare Ausschläge und zwar hin und zurück. II 53

Bei  $\frac{1}{2}$ —1,0 Atm. Spannungsänderung sind Hin- und Zurückbewegungen am Kolben der hydraulischen Presse mit bloßem Auge erkennbar.

Bei  $\frac{1}{2}$  Atm. Spannungsänderung sind diese Bewegungen am Kolben mit einem Vergrößerungsglase noch bemerkbar.

10 Uhr	
Atm.	Durch- biegung
18	+ 2,1
20	+ 2,5
25	+ 4,0
22	+ 4,0
25	+ 4,6

#### Bei 25 Atm. Pressung.

Bei 25 Atm.  $\pm \frac{3}{4}$ —1 Atm. Spannungsänderung ist am Kolben nichts zu sehen.

Bei 25 Atm.  $\pm 1\frac{1}{4}$ — $1\frac{1}{2}$  Atm. Spannungsänderung ist Hin- und Rückgang am Kolben mit dem Glase erkennbar.

Obige Angabe ist so zu verstehen: Durch Andrücken des Pumpenhebels steigt der Druck von 25 Atm. auf  $25 + 1\frac{1}{4}$  Atm. an, der Kolben der Presse geht sichtbar vorwärts; nun wird der Pumpenhebel gehoben, so daß der Druck um  $1\frac{1}{4}$  Atm. nachläßt und sich wieder auf 25 Atm. einstellt. Der Presskolben geht sichtbar rückwärts. Die Druck-Schwankung spielt also zwischen 25 und  $25 + 1\frac{1}{4}$  und nicht etwa zwischen  $25 + 1\frac{1}{4}$  und  $25 - 1\frac{1}{4}$ .

Resultat: Wenn die Pressung im Cylinder von 25 auf 26 Atm. ansteigt, folgt der Kolben noch nicht, weil die Reibung ihn festhält; diese ist also:  $\bar{>} \frac{1}{25}, \bar{>} 4\%$ .

II 54 Wenn die Pressung  $1\frac{1}{4}$  Atm., also von 25 auf  $26\frac{1}{4}$  zunimmt, folgt der Kolben sowohl vorwärts, als auch rückwärts, wenn die Pressung wieder auf 25 zurückgeht.

Daraus folgt, daß die Reibung kleiner ist, als die dem Druck von  $1\frac{1}{4}$  Atm. entsprechende Kraft.

$$R \leq \frac{1\frac{1}{4}}{25} \leq 5\%.$$

$$R \geq 4 \text{ und } \leq 5\% \text{ also } R = 4,5\%.$$

NB. Obige Beobachtungen sind von Herrn R. Lühmann, dem Techniker Herrn Wolff und dem Unterzeichneten festgestellt.

II 55

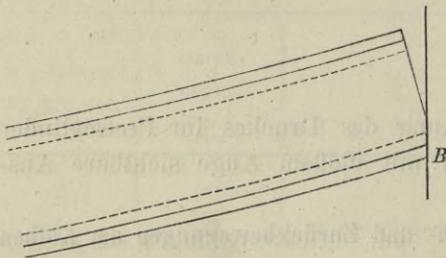


Fig. 35.

Anliegende Fläche am Auflager B, welche gedrückt worden ist = 15,2 qcm. Druck = 25 kg pro qcm = 48 143 kg pro Kolbenfläche.

$$\frac{48\ 143}{15,2} = 3170 \text{ kg pro qcm}$$

der anliegenden also gepressten Fläche des Schmiedeisen-Materiales.

### Besprechung der Versuche vom 18. Juli 1887.

Es ist untersucht worden, ob die Versuchsreihen genaue Schlüsse über das Verhalten der Gelenke und über die Ermittlung der Reibungsgröße etc. zulassen. Es konnte jedoch nur Folgendes festgestellt werden.

Bei der Einspannung der Stütze mit 1 cm Excentrizität nach unten erfolgte schon bei geringen Druckschwankungen eine Bewegung des Presskolbens, sichtbar gemacht durch die Säulen-Durchbiegung.

Kolben-Hingang.

Druck auf den Kolben  $K$

Druck auf den Stab  $K - R = D$ .

Kolben-Rückgang.

Druck des Stabes nach wie zuvor =  $D$ , wenn der Stab noch dieselbe Durchbiegung wie zuvor zeigt.

Druck auf den Kolben nach resp. bei erfolgreichem Rückgang

$$D \div R = K - R - R = K - 2R.$$

Der Druck  $K - 2R$  entspricht einer kleineren Manometer-Ablesung als der Druck  $K$ .

Bei Reihe I S. 43 und 44 entspricht 10 Atm. (kg pro qcm) Pressung einer II 56 Durchbiegung am Stabe von 6,8 mm. Beim Ablassen von Wasser sinkt der Druck auf 9 Atmosphären und schon geht der Zeiger zurück. Es ist also Kolben-Rückgang erfolgt, und genügte nun mithin schon der Stabdruck  $D$  zur Ueberwindung der Reibung  $R$ . Der Stabdruck  $D$  war aber nach Vorigem  $= K - R$ .

$K$  entsprach 10 Atmosphären Manometer-Ablesung.

$D - R = K - 2R$  entspricht 9 Atmosphären Manometer-Ablesungen. Mithin entspricht  $2R$  etwa einer Atmosphäre Manometer-Ablesung und  $R$  etwa  $\frac{1}{2}$  Atmosphäre.

$R$  ist mithin etwa  $\frac{1/2}{10} = K = 5\%$  von  $K$ .

Dieses Resultat ist aber insofern zu berichtigen, als der Stabdruck  $D$  nicht konstant blieb, sondern abnahm, als die Durchbiegung sich verringerte. Mithin genügte schon ein kleiner Druck  $D \div \Delta D$  zur Ueberwindung von  $K - 2R + R$ . Es folgt somit auch, daß  $R < \frac{5}{100} K$  kleiner als 5% von  $K$  gewesen sein muß.

Auf Seite 57 bis 63 des urschriftlichen Protokolles wurde des Ferneren versucht, II 57 noch eingehender die scheinbaren Unregelmäßigkeiten in den Reihen der gemessenen bis 63 Durchbiegungswerthe zu verfolgen und zu ergründen.

Es wird daselbst nachgewiesen, daß bei Hin- und Rückgang des Kolbens wie der Durchbiegung die Steifigkeit der Gelenke eine Rolle spielt, indem beim Hingang die Reibung der Gelenke die Stabdurchbiegung verkleinert, beim Rückgang dieselbe vergrößert. Aus dieser Differenz wurde der Reibungs-Koeffizient in den Gelenken als zwischen 0,05 und 0,14 liegend erkannt. Diese wie auch alle diejenigen Ableitungen, welche sich auf genauere Werthe der Durchbiegung stützen mußten, sind hier nur von geringer Schärfe, weil gezeigt werden konnte, daß auch ein Ecken, eine schiefe Einstellung des Kolbens, und zuweilen auch ein Vorrücken des ganzen Apparates eingetreten ist, so daß die Angaben über die Größe der Durchbiegungen Fehler bis 4 mm Größe enthalten können.

Diese Umstände trüben zwar das Bild der Vorgänge, soweit feinere Schlußfolgerungen in Frage kommen. Aber das Hauptresultat bleibt bestehen: Es wandert der Kolben des Presscyinders hin und her und überwindet die Reibungs-Widerstände bei kleinen Schwankungen des Druckes. II 64

Hieraus ist mit Sicherheit zu schlußfolgern, daß bei 1 cm Excentrizität der Einspannung die Reibung in der Manschette kleiner bleibt als  $2 \approx 3\%$ , siehe S. 44 ff., und bei 6 cm Excentrizität kleiner bleibt als 5%.

Mithin ist bei überall durchgeführtem Abzug von 5 % nicht zu wenig für Reibungs-Widerstände berechnet und soll daher die im Protokoll I hinten, S. 96 u. 97 *II 65* ausgerechnete Tabelle, welche überall 5 % Reibung in Abzug bringt, auch ferner benutzt werden.

Hamburg, den 12. August 1887.

M. Möller.

Da es vielleicht von Interesse sein mag, die Kosten der Versuche zu erfahren, so sei noch angegeben, daß einschließlich einer kleinen Honorirung der Hülfeleistenden und der Kosten von im Sommer 1887 nachträglich angestellten Versuchen sich die Geldausgaben auf eintausendneunhundert und fünfzig Mark belaufen haben. Herr R. Lüthmann hatte zuvor angeboten, die Kosten der praktischen Versuche zu tragen, falls ein Preis dieser Arbeit nicht zuerkannt worden wäre. Die gemauerten Pfeiler und Holzstützen sind von den Herren Gebrüder Braun zur Verfügung gestellt.

Hamburg, den 1. Oktober 1887.

M. Möller.

Anlage 4.**Tabellen und Zeichnungen.**

Anlage zur Arbeit über die Widerstandsfähigkeit auf Druck beanspruchter Baukonstruktionstheile bei erhöhter Temperatur.

**I n h a l t.**

Tabelle 1. In je 2 übereinander stehenden Horizontalreihen sind durch einen einfachen Strich getrennt die Versuchs-Resultate von Schmiede- und Guß-Stützen für 12 Paare Versuchs-Objekte zusammengestellt. Je 1 Paar Stützen ist von congruenter Form.

Abweichungen: Die Arbeits-Vorsprünge der Gußrohre fehlen bei den Schmiederohren.  
– Die Schmiede-Stäbe weisen statt 90 nur 89 mm Durchm. auf.

Tabelle 2. Ueber die Tragfähigkeit von 18 meist gleich schlanken Stützen im Feuer.

Tabelle 3. Mittlere maximale Material-Beanspruchung  $Sm = \frac{P}{F}$ , bei welcher die Stütze der Zerstörung entgegenging, ermittelt für 36 Versuchs-Objekte.

## An Zeichnungen:

Tafel I. Darstellung des Versuchs-Apparates.

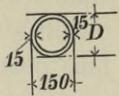
Tafel II. Darstellung der Versuchs-Objekte.

Tafel III u. IV. Schaulinien.

Tafel V. Bleibende Durchbiegungen.

In den Zeichnungen der Versuchs-Objekte ist jedesmal diejenige Belastung in Tonnen eingetragen, welche die Zerstörung der Stütze herbeiführte. Ferner ist die Nummer und Seite des Protokolles hinzugefügt, woselbst der bezügliche Versuch beschrieben worden ist. Soweit diese Angaben sich auf Kaltproben beziehen, sind dieselben in Antiqua-Schrift, soweit sie sich auf Feuerproben beziehen, aber in Cursiv-Schrift gedruckt.

## zur Erkenntnis des verschiedenen Verhaltens der Materialien in Bezug auf das Tragvermögen.

Versuchsprojekt		Druck mit Sicherheit getragen nach erster Spritzung	Hierbei Durchbiegung	Maximaldruck getragen	Hierbei Durchbiegung	Zeit bis zur Rothgluth	Zeit bis zur Zerstörung	Tragfähigkeit nach Formel			Seite des Protokolls	Bemerkungen	
								Schwarz	Euler	neue Formel von M. M.			
L ist Länge zwischen den Gelenken		tons	mm	tons	mm	Min.	Min.	Bruchbelastungen	tons	tons	tons		
<b>Rohr</b>  Länge = 1,28 m $\frac{L}{D} = 8$	warm	Gufseisen	48,9	+ 8,0	74,0	- 25	40 79			74,3	32	Feuer angezündet als das Rohr darin lag	
		Schmied- eisen	39,4	- 14	60,8	- 50	17 25			59,4	34	In stark glühendes Feuer gelegt	
	kalt	Gufseisen	147,5	+ 7,0	195,7	+ 26,0			383,0	≤ 893,0	190,2	27 u. 41	Excentrisch oben 14 mm unt. 18 mm Wandstärke dünne Wand oben
		Schmiedeis.	vacat						239,0	≤ 1786,0	vacat		
<b>Rohr</b> dto. Länge = 2,28 m $\frac{L}{D} = 15$	warm	Gufs.	80,0	+ 30	105,1	+ 45	30 42			50,2	79	Feuer wurde neu angezündet Bruch unten Blasen	
		Schmied.	29,7	+ 26	48,8	+ 50	15 34			40,2	81	Feuer sehr hell	
	kalt	Gufs.	162,9	+ 6,8	166,8	+ 10,0			293,0	≤ 280,0	151,3	71	Größte Durchbiegung 45 mm
		Schmied.	89,7	+ 7,5	103,2	+ 20,0			212,0	≤ 560,0	99,6	72	
<b>Rohr</b> dto. Länge = 4,28 m $\frac{L}{D} = 28$	warm	Gufs.	6,6	+ 35	<sup>etwas über</sup> 11,9	+ 120	19 44			22,8	59	Feuer brennt mäßig	
		Schmied.	vacat							vacat			
	kalt	Gufs.	58,5	+ 15	68,5	+ 45			157,0	≤ 79,0	66,7	63	Im Bruch unt. viel. Blas.
		Schmied.	vacat						149,0	≤ 158,0	vacat		
<b>Stab</b>  Länge = 1,28 m $\frac{L}{D} = 14$	warm	Gufs.	33,2	+ 12	41,4	+ 30	23 39			41,5	36	Feuer brennt hell	
		Schmied.	33,2	+ 4,5	39,4	+ 7,0	23 30			37,3	37	Feuer brannte An- fangs hell	
	kalt	Gufs.	109,0	+ 3,0	176,4	+ 8,5			256,0	≤ 193,5	116,0	38	
		Schmied.	89,7	+ 7,0	95,5	+ 16,0			195,0	≤ 387,0	87,0	39	
<b>Stab</b> dto. Länge = 2,28 m $\frac{L}{D} = 25$	warm	Gufs.	19,6	+ 26	29,8	+ 49	27 29			18,7	84	Kräftiges Feuer	
		Schmied.	15,8	+ 15	21,6	+ 50	17 22			16,6	85	Starkes Feuer	
	kalt	Gufs.	39,5	+ 14	48,9	+ 25			132,5	≤ 61,0	48,5	73	Größte Durchbieg. + 52
		Schmied.	48,9	+ 2,5	58,5	+ 4,5			130,5	≤ 122,0	59,5	74	Auf Durchbiegung 4,5 folgt sofort + 40
<b>Stab</b> dto. Länge = 4,28 m $\frac{L}{D} = 47$	warm	Gufs.	5,3	+ 80,0	8,5	+ 170	26 28			6,1	61	Feuer mäßig	
		Schmied.	5,9	+ 84,0	7,0	+ 114	22 30			5,5	62	Feuer lebhaft	
	kalt	Gufs.	?	+ 90	vacat				47,7	≤ 17,3	13,8	64	Bei 11,5 ts. war die Durchbiegung + 28
		Schmied.	?	+ 120	vacat				58,5	≤ 34,6	27,00	65	Bei 11,5 ts. war die Durchbiegung + 6,5 mm

Cursiv-Zahlen: „Feuerproben.“

Gerade Zahlen: „Kaltproben.“

Ueberall: Einspannung zwischen Gelenken.

Material-Querschnitt: Der Gusseisen-Stützen = 63,6 qcm.

" " Der Schmiederohre = 63,6 qcm.

" " Der Schmiedstäbe = 62,0 qcm.

## Zusammenstellung der im Feuer geprüften Versuchs-Objecte von 2,0 m Länge und Stäbe von 1,0 m Länge.

Material	Konstruktions- Form	Material- Quer- schnitt qem	Ver- hält- niss L/D	Bruchlast bei Einspannung		Protokoll №	Seite	Bemerkungen
				zwischen Gelenke Tonnen	zwischen feste Auflager Tonnen			
Gusseisen	Rohr L = 2,0 150/120 mm Durchm.	63,6	15	105,1		I	79	
"	dto.	"	13		> 147,5	II	15 u. 16	Das Rohr blieb heil
"	Ornamentirte Säule	"	13		166,8	II	12 u. 14	Kapital, Cannelirun- gen und Sockel.
"	Rohr excentrisch	"	15	74,5		I	85	
"	Säule mit Cement ausgegossen	"	15	118,6		II	1 u. 3	
"	dto. mit Cement aus- gegossen in der Mitte ein Schmiede- rohr von 60 mm Durchm.	"	15	99,4		I	93 u. 95	
"	dto. mit Cement- mörtel 6 cm dick ummantelt	"	15	128,3		I	91 u. 92	Die Stütze wurde nur mäßig warm 1 1/2 Stunden im Feuer
"	Stab L = 1,0 90 mm Durchm.	"	14	41,4		I	36	L = 1,0 m
Schmiede- eisen	Rohr L = 2,0 m 150/120 mm Durchm.	63,6	15	48,8		I	81	
"	dto. ausgegossen mit Cement frei im Feuer	"	15	48,9		I	90	
"	dto. ummantelt mit Cement 6 m dick	"	15	99,4		I	86	
"	Stab L = 1,0 m 89 mm Durchm.	62,0	14	39,4		I	37	
"	Nietstütze L = 2,0 m	63,6	12		78,5	II	11 u. 12	50 Minuten im Feuer
"	dto. ummantelt mit 3 cm Holz und 1 mm Eisen	63,6	13	137,9		II	6	63 Minuten im Feuer Temperatur 120° nach Entfernung des Mantels
Klinker L = 2,0 m	22/23 cm also in beiden Rich- tungen 1 Stein stark	506	10	48,9		II	17 u. 18	Je eine Bleiplatte an beiden Auflagern 40 Minuten im Feuer
do. m. Wür- fela. Granit u. Sandst.	dto. 22/23 cm	506	10	39,5		II	8 bis 11	Bleiplatten an den Seiten gut 1/3 der Quader nach 45 Minuten zerstört
Holz L = 2,0 m	15/15 cm stark	225	15	17,7		II	4	18 Minuten im Feuer
Föhre	15/15 cm stark	225	15	19,6		II	5	8 Minuten im Feuer
Eiche	15/15 cm stark	225	15	19,6		II	5	8 Minuten im Feuer

Nur Feuerproben!

ummantelte Stütze.

Nur Feuerproben!



## Berichtigungen.

---

- Seite 4 ad 9 lies statt „normaler Temperatur“ — „normaler und bei erhöhter Temperatur“.
- „ 8 lies in Formel 1 u. 2 statt „ $J/a$ “ überall „ $J/w$ “ Widerstandsmoment.
- „ 9 lies in Formel 2 statt „ $l$ “ daselbst „ $e$ “.
- „ 10 lies unten, letzte Reihe, statt „Spitze“ daselbst „Stütze“.
- „ 11 lies unten statt „ $S_{max} = P/F =$ “ daselbst „ $S_{max} = P/F \pm \frac{P \cdot e}{J/w}$ “
- „ 12 lies oben statt  $\frac{Pn \cdot l}{J/w}$  daselbst  $\frac{P \cdot e}{J/w}$
- „ 17 lies oben, Reihe 2, statt  $\frac{l}{n} S F$  daselbst  $\frac{1}{n} S \cdot F$
- „ 23 Zeile 3, lies statt „von“ daselbst „vor“.
- „ 33 Mitte, lies in der Formel statt  $(l/2) \cdot P \cdot a$  daselbst  $\frac{3}{10} (l/2)^2 P \cdot a$

Desgl. statt „ $e$  freie Länge“ daselbst „ $l$  freie Länge“.

Tafel II lies bei Schmiederohr 2,0 m lang statt 98,2 daselbst 103,2.

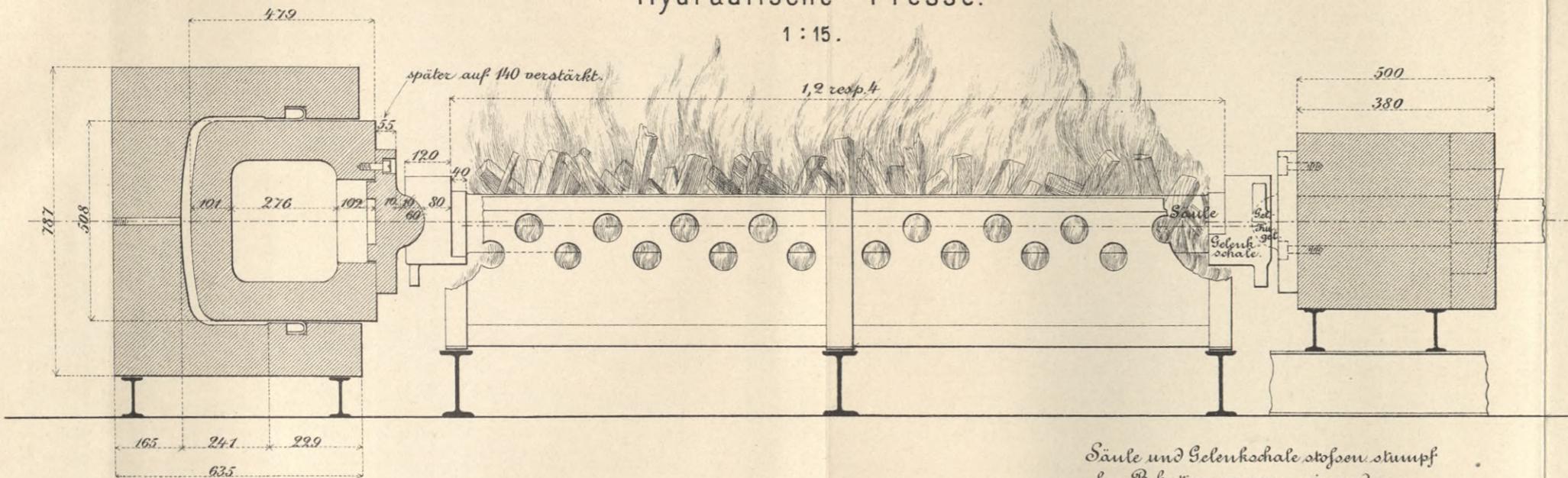
Tafel II lies bei Klinkerstützen m. Gel. statt 38,5 daselbst 39,5.

---

Druck von Leonhard Simion, Berlin SW.

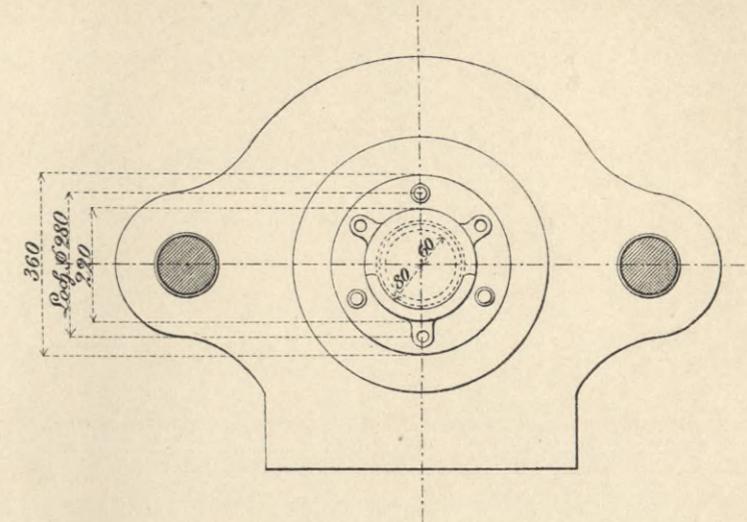
### Hydraulische Presse.

1 : 15.

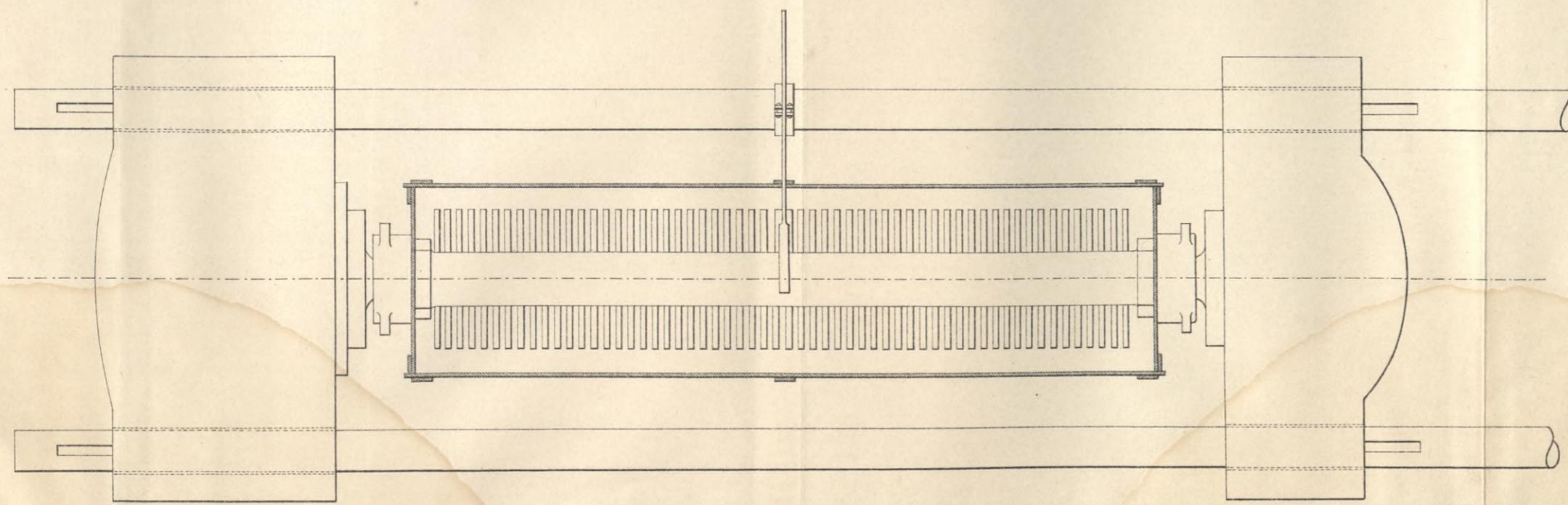


Säule und Selenkchale stoßen stumpf ohne Befestigung gegen einander. Die Säule lagert auf einem Vorsprung der Selenkchale.

### Ansicht des Kolbens.

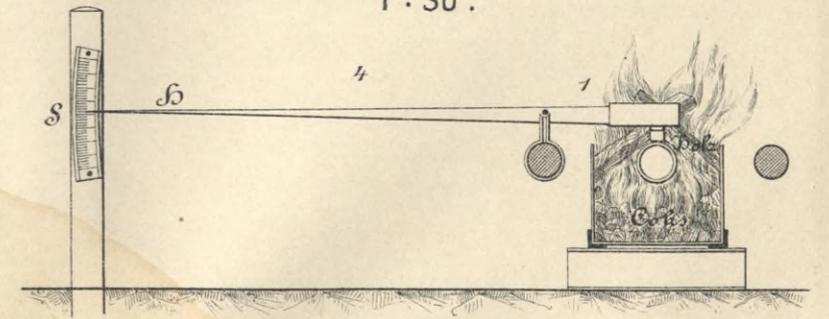


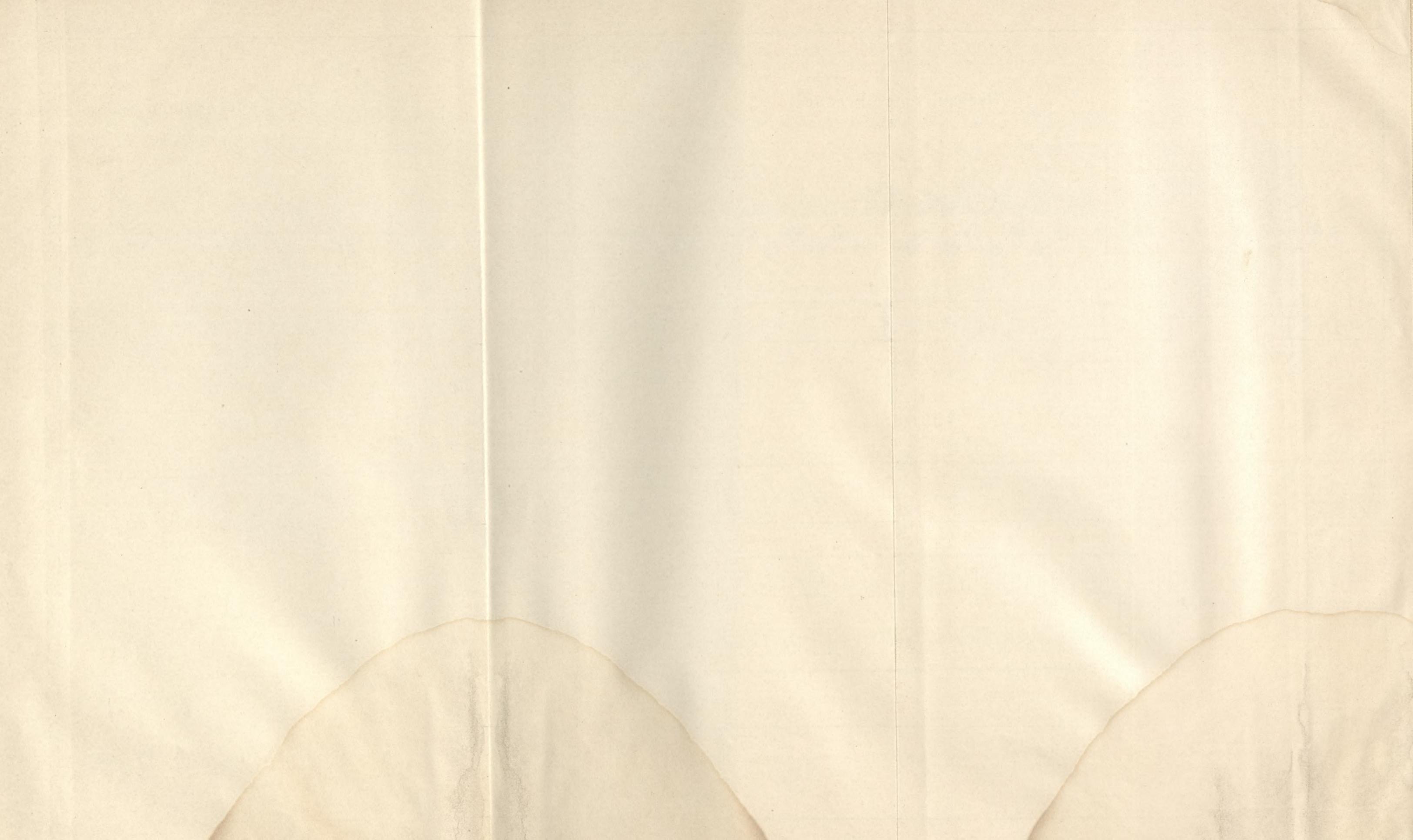
### Grundriss.



### Zeiger zur Messung der Durchbiegung.

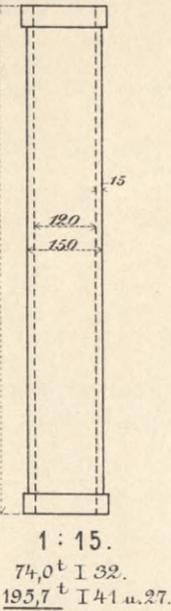
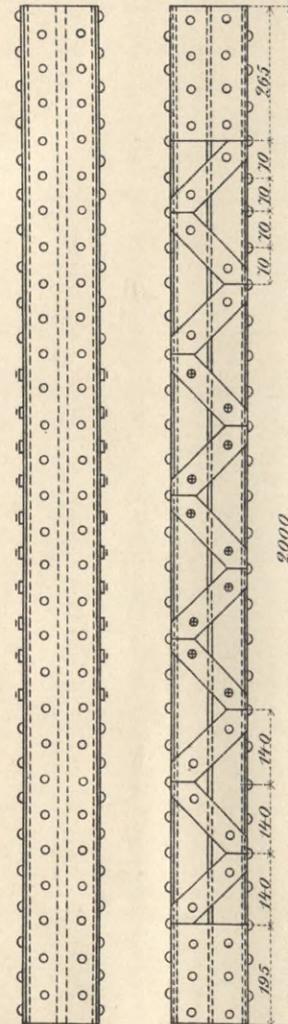
1 : 30.





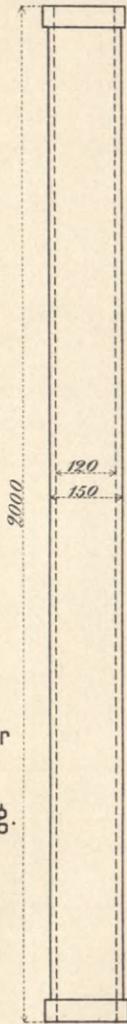
### 43 Versuchsobjecte.

Nieteisen-Stütze.  
3 Stück.

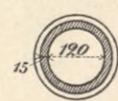


Schmiedeeisen-Rohr  
wie Gußrohre aber  
ohne Arbeits-Vorsprung.  
1 Stück à 10 Länge.  
60,8<sup>t</sup> I 34.  
4 Stück à 20 Länge.  
48,8<sup>t</sup> I 81.  
m.Z. 48,9 I 90.  
Mantel 99,4 I 86.  
98,2 I 72.

Gußsäulen.  
6 Stück.



105,1<sup>t</sup> I 79. >11,9<sup>t</sup> I 59.  
exc. 74,5<sup>t</sup> I 85. 68,5<sup>t</sup> I 63.  
z em. 118,6<sup>t</sup> II 1 u. 3.

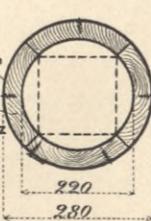


1:15.



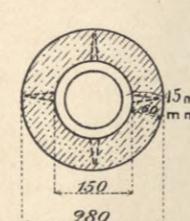
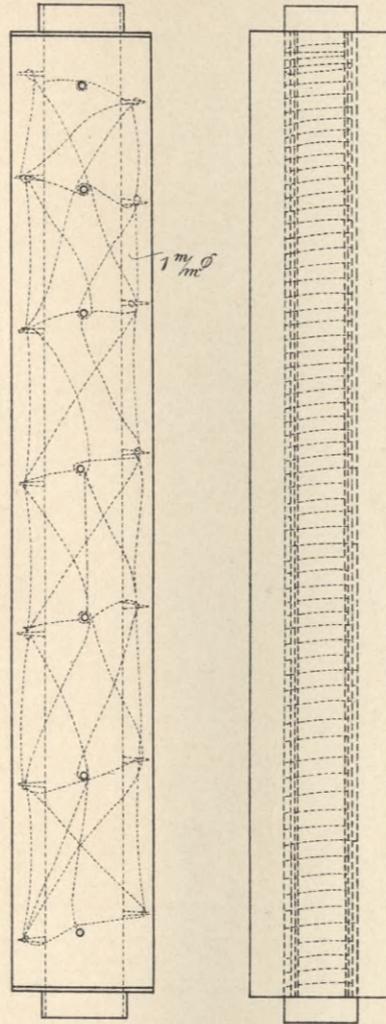
1:30.

Holzmantel Nietst.  
1 Stück.

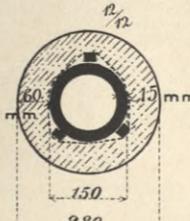


1:15.

Mörtel-Mantel 1 Z. 3 S.  
Gusseisen 1 St. Schmied. 1 St. 4 Stück.

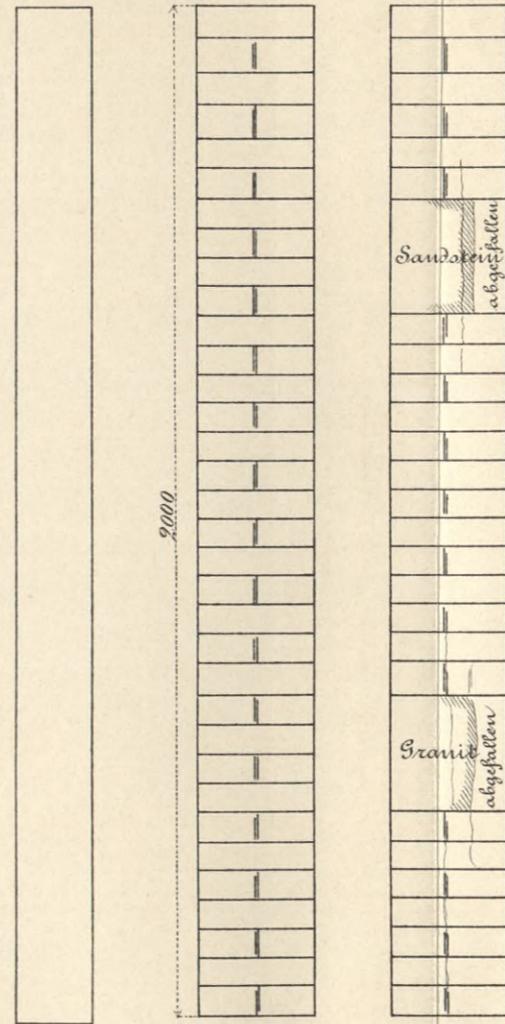


1:15.

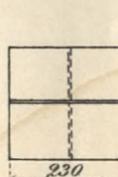


1:15.

Holzstempel. Klinker-Pfeiler. d<sup>o</sup> mit Quader.  
4 Stück. 3 Stück. 1 Stück.



1:15.

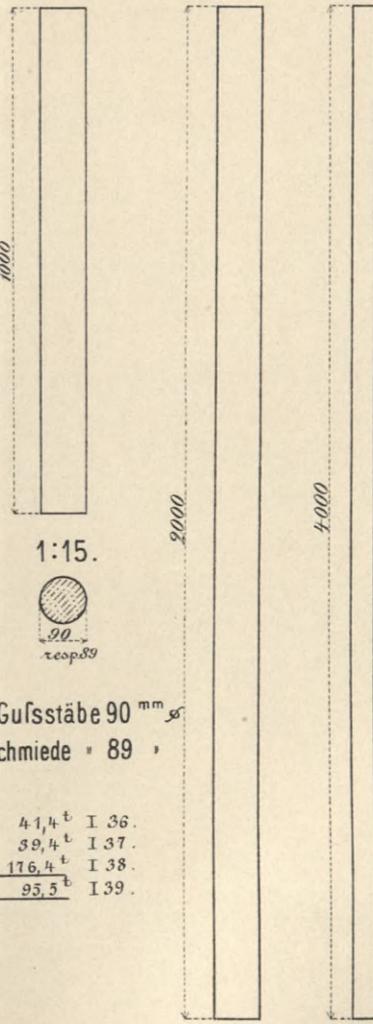


1:15.



1:15.

Guss-resp. Schmiede-Stäbe.  
4 Stück. 4 Stück. 4 Stück.

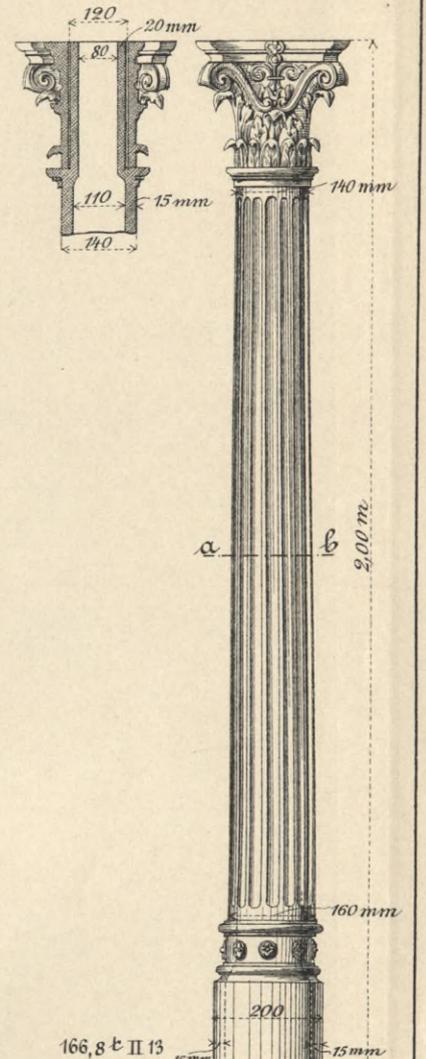


1:15.

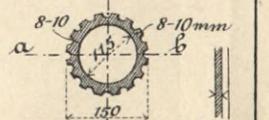


1:30.

1 Stück.

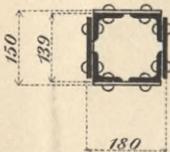


166,8<sup>t</sup> II 13  
zwischen parallelen  
Flächen gedrückt



1:15.

ohne Gel. 78,5<sup>t</sup> II 11.12.  
m.Mantel u Gel. 137,9<sup>t</sup> II 6.



1:15.

1:15.

57,15 × 57,15 × 7,94.  
FI. 115 × 13.  
FI. 50.8.

m. Sch. Rohr 99,4<sup>t</sup> I 93.  
m.Mantel 128,3<sup>t</sup> I 91.  
166,8<sup>t</sup> I 71.

137,9<sup>t</sup> II 6.

128,3<sup>t</sup> I 91 u. 92.

99,4<sup>t</sup> I 86.

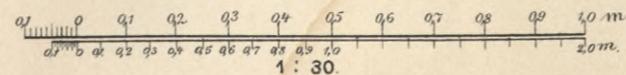
Föhre 17,7<sup>t</sup> II 4.  
Eiche 19,6<sup>t</sup> II 5.  
Föhre 43,3<sup>t</sup> I 75.  
Eiche 53,0<sup>t</sup> I 76.

1:15.

mit Gel. 84,0<sup>t</sup> I 77. 38,5<sup>t</sup> II 8.6 u. 11.  
ohne Gel. 35,7<sup>t</sup> II 18.  
ohne Bleiplatten 48,9<sup>t</sup> II 17 u. 18.

G 29,8<sup>t</sup> I 84. 8,5<sup>t</sup> I 61.  
S 21,6<sup>t</sup> I 85. 7,0<sup>t</sup> I 62.  
S 48,9<sup>t</sup> I 73. >11,5<sup>t</sup> I 64.  
G 58,5<sup>t</sup> I 74. >11,5<sup>t</sup> I 65.

Kaltproben sind unterstrichen.



1:30.



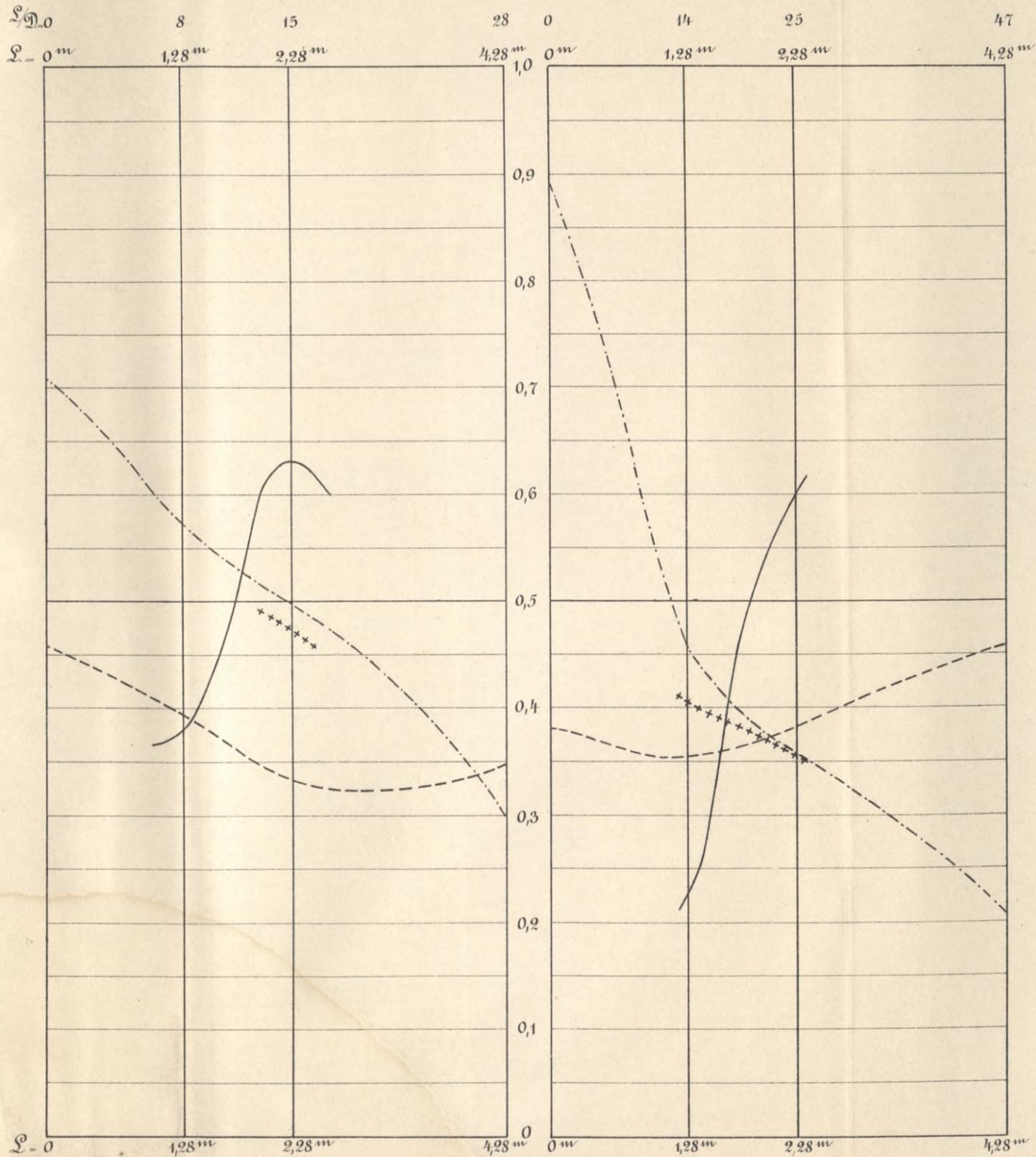




# Quotient, das Verhältniss der Bruchbelastung im warmen u. kalten Zustande.

Hohlsäulen.

Stäbe.



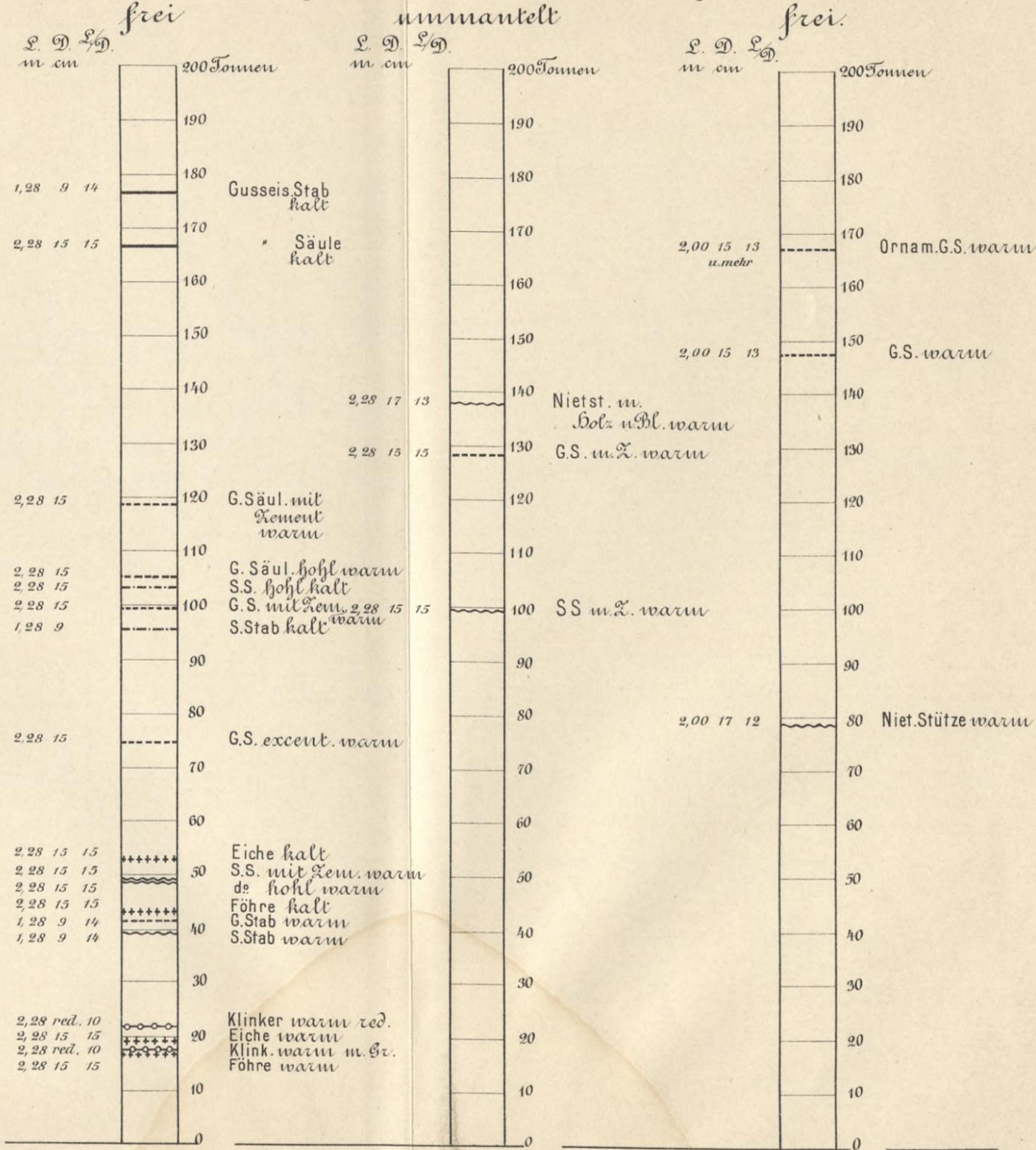
Versuchswerthe Werthe der neuen Formeln.  
 Gusseisen —————  
 Schmiedeeisen +++++  
 Ordinaten —————  
Bruchbelastung im warmen Zustande.  
Bruchbelastung im kalten Zustande.

# Stützen des Verhältnisses

1:10 - 15.

Einspannung zw. Gelenken

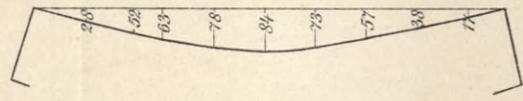
zw. parallelen Flächen.



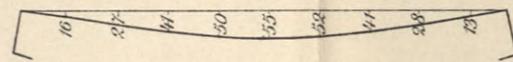
Ordinaten Bruchbelastung in Tonnen.  
 Stützen aus Gusseisen - 63,6 <sup>9cm</sup> Eisenquerschn.  
 do do Schmiedeeisen, hohl - 63,6 <sup>9cm</sup> Eisenquerschn.  
 do do " = Stäbe - 62,0 " do  
 do do Holz - 225 <sup>9cm</sup> Quersch.  
 do do Klinker - 506 <sup>9cm</sup>, die Bruchbel. ist aber auf 225 <sup>9cm</sup> reducirt.



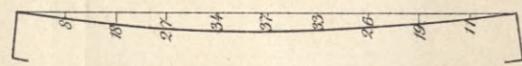
a Pr. S. 34. Schmiederohr warm.



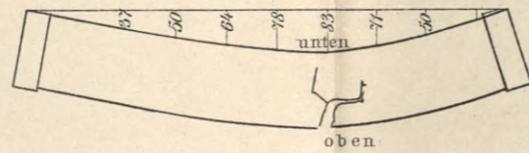
b Pr. S. 39. Schm. massiv kalt.



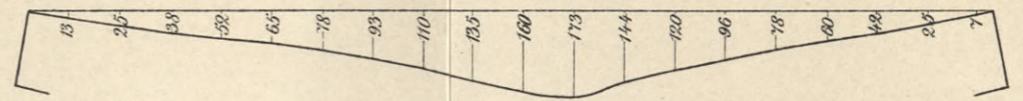
c Pr. S. 37. Schm. massiv warm.



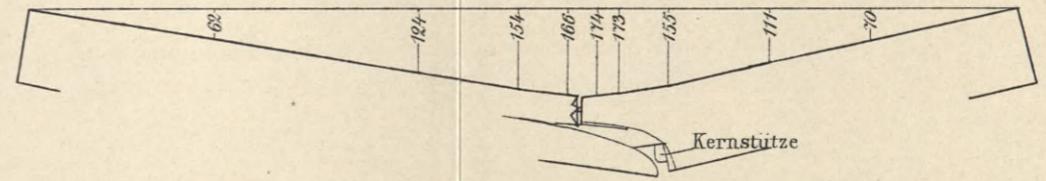
d Pr. S. 32. Gussrohr warm.



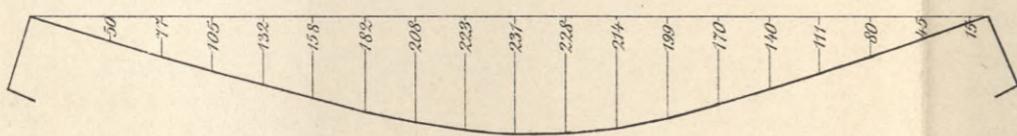
k Protokoll<sup>1</sup> S. 11. Niet-Stütze, Flacheisen oben, ohne Gelenke eingesp.



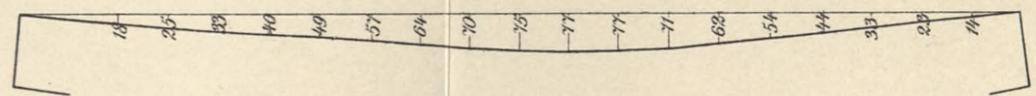
l Protokoll S. 93. Gussrohr mit Schmiederohr innen warm.



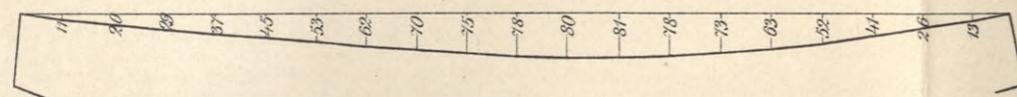
e Protokoll S. 72. Schmiederohr kalt.



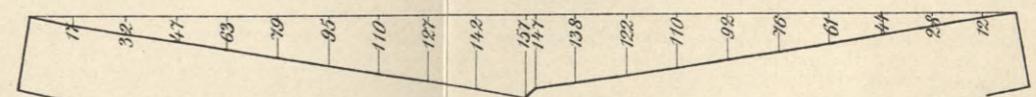
m Protokoll S. 90. Schmiederohr innen Cement warm.



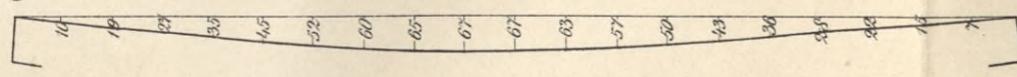
f Protokoll S. 81. Schmiederohr warm.



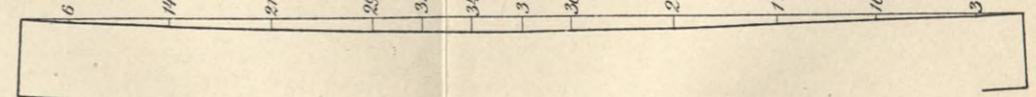
n Protokoll S. 75. Föhre kalt.



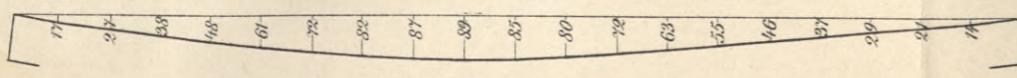
g Protokoll S. 74. Schm. massiv kalt.



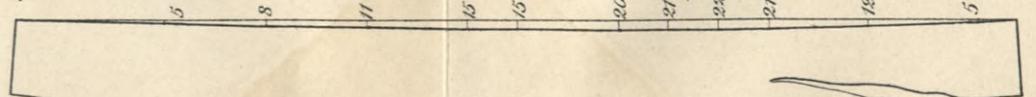
o Protokoll S. 76. Eiche kalt.



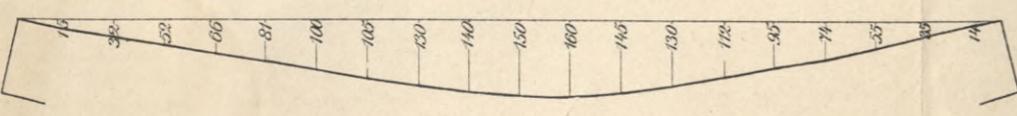
h Protokoll S. 85. Schm. massiv warm.



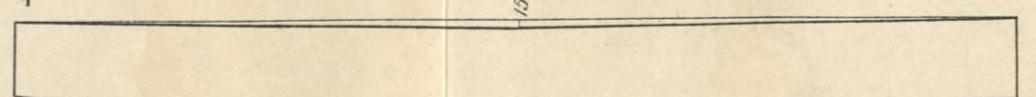
p Protokoll<sup>1</sup> S. 5. Eiche warm.



i Protokoll S. 82. Niet-Stütze, Gitter oben und unten warm.



q Protokoll<sup>1</sup> S. 4. Föhre warm.



Maassstab 1:15.

S. 61



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000300132