

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000315041

J.X. 47/1885



MITTHEILUNGEN

AUS DEM

MECHANISCH-TECHNISCHEN LABORATORIUM

DER

K. TECHNISCHEN HOCHSCHULE

IN

MÜNCHEN

16641

VON

J. Bauschinger

J. BAUSCHINGER

O. PROFESSOR DER TECHNISCHEN MECHANIK UND GRAPHISCHEN STATIK.



7/3.

ZWÖLFTES HEFT,

ENTHALTEND:

MITTHEILUNG XIII: ÜBER DAS VERHALTEN GUSSEISERNER, SCHMIEDEISERNER UND STEINERER SÄULEN IM FEUER UND BEI RASCHER ABKÜHLUNG (ANSPRITZEN).

MIT 3 BLÄTTERN ABBILDUNGEN.

MITTHEILUNG XIV: VERGLEICHENDE VERSUCHE ÜBER DIE SCHWEISSBARKEIT DES FLUSS- UND SCHWEISSEISENS.

MIT 2 GRÖßEREN TABELLEN UND 2 FIGUREN IM TEXT.

74/1

7/2

MÜNCHEN

THEODOR ACKERMANN

KÖNIGLICHER HOF-BUCHHÄNDLER

1885.

5.16
22

208

J.X. 47/1885



J.X. 47/1885



nr inw. 1853

XIII.

Ueber das Verhalten gusseiserner, schmiedeiserner und steinerner Säulen im Feuer und bei rascher Abkühlung (Anspritzen).

Ueber die Verwendung gusseiserner Säulen bei Neu- und Umbauten in Berlin hat das dortige Polizeipräsidium eine Bekanntmachung erlassen (s. das Centralblatt der Bauverwaltung 1884 Nr. 16 S. 152) „nach welcher in Gebäuden, deren untere Geschosse zu Geschäfts- und Lagerzwecken und deren obere Geschosse zu Wohnzwecken benutzt werden, gusseiserne Säulen, welche gegen die unmittelbare Einwirkung des Feuers nicht geschützt sind, unter den Tragwänden des Hauses fernerhin keine Verwendung finden dürfen. An Stelle derselben werden gestattet werden: a) Säulen aus Schmiedeisen; b) Säulen aus Gusseisen, sobald dieselben mit einem durch eine Luftschicht von der Säule isolirten unentfernbaran Mantel aus Schmiedeisen umgeben sind; c) Pfeiler aus Klinkern in Cementmörtel.“

Diese Verfügung ist von so einschneidender Wirkung für die moderne Bauweise, dass sie das lebhafteste Interesse aller Beteiligten erwecken musste. Ich fand es daher wohl begreiflich, dass sich Herr Kustermann, Besitzer einer grossen Eisenhandlung und bedeutenden Giesserei in München, durch ein wissenschaftliches, auf Versuche gestütztes Gutachten genaue Einsicht in das Verhalten der Säulen aus verschiedenen Materialien, besonders aber der guss- und schmiedeisernen, im Feuer und bei rascher Abkühlung zu verschaffen suchte und bereitwillig die Mittel zur Anstellung solcher Versuche zur Verfügung stellte. Auf seinen Antrag, solche Versuche durchzuführen, ging ich um so lieber ein, als ich bei Nachfragen, die ich in Berlin hielt, erfuhr, dass jene Verfügung, nach Anhören einer Sachverständigen-Commission, lediglich auf Grund von Beobachtungen erlassen worden ist, die während eines grossen Brandes eines dortigen Fabrikgebäudes und hauptsächlich nach demselben gemacht worden sind. Diese Wahrnehmungen gehen im Wesentlichen darauf hinaus, dass von dem einen sachverständigen Beobachter mehrere bei dem Brande gesprungene, gusseiserne Säulen gesehen worden sind, während nach Aussage eines anderen die Mehrzahl der Säulen beim Aufräumen des Brandschutts

sich als gesprungen erwiesen haben sollen. Die Sprünge sollen beim Bespritzen der glühenden Säulen eingetreten sein. Sie verliefen fast alle um den Schaft herum und traten meistens an vorspringenden Ringen und Wulsten auf.

Der Grundplan, welchen ich meinen Versuchen zu Grunde legte, war der, Säulen aus Gusseisen, Schmiedeisen und verschiedenen Steinarten so zu belasten, wie es bei ihrer Verwendung wirklich geschehen würde, sie alsdann auf verschiedene Temperaturen: auf 300°, auf 600°, wo das Glühen eben beginnt, und bis zum Rothglühen zu erwärmen, und hierauf mittelst eines kräftigen, der Wasserleitung des Laboratoriums zu entnehmenden Wasserstrahles anzuspritzen, bis sie wieder kalt geworden oder zerstört worden wären. Neben ihrem sonstigen Verhalten sollte dabei ihre Ausbiegung in zwei aufeinander senkrechten Ebenen wenigstens annähernd gemessen und überwacht werden.

Die Möglichkeit zur Anstellung solcher Versuche bietet die Werder'sche Material-Prüfungsmaschine in der Vorrichtung, welche ihr zur Prüfung von Säulen, allerdings zunächst im kalten Zustande, beigegeben ist, und die sich u. a. in der Broschüre: „Maschine zum Prüfen der Festigkeit der Materialien, construirt von L. Werder etc. (zu beziehen von Theod. Riedel's Buchhandlung dahier) auf Blatt IV abgebildet und auf S. 8—9 beschrieben findet; sie ist in Fig. 1 auf dem hier beiliegenden Blatte I wiedergegeben, soweit dies hier nöthig erschien. Zwischen dem Wagen W und dem Kreuzkopf G wurden die Schienen D herausgenommen, um Platz für Feuerungskörbe zu gewinnen, welche der Gestalt und Grösse nach in Fig. 2 dargestellt sind und so, wie die Fig. 1 zeigt, auf untergestellte Backsteine zwischen die Zugstangen s_1, s_2, s_3, s_4 gestellt wurden. Es wurden deren so viele aneinandergefügt und an den Enden nöthigenfalls noch kurze Blechstücke eingeschaltet, dass die Säule ihrer ganzen Länge nach erwärmt werden konnte.

Die Erwärmung wurde mit Holzfeuer vorgenommen. Vor Beginn jedes Versuchs wurde eine Lage klein ge-

spaltenes weiches Holz auf den Rosten der Körbe ausgebreitet und mit einer Lage Späne bestreut. Diese letztern wurden dann angezündet und sofort noch mehr weiches und, wenn das Feuer gut im Brande war, nach Bedarf Buchenholz zugeworfen. Dabei wurde die Säule allerdings einseitig, von unten erwärmt, auch dann noch, wenn das nach wenigen Minuten lebhaft angefachte Feuer die Säule rings umspielte und weit darüber hinaus schlug; aber immerhin erhielt man mit Holz noch am ehesten eine annähernd gleiche Vertheilung der Wärme, und dann kann ja in Wirklichkeit bei einem Brande recht wohl eine Erwärmung der Säulen von der Seite her stattfinden und musste also diesem Umstande, als dem offenbar ungünstigeren, Rechnung getragen werden.

Aehnliches gilt von der Abkühlung durch Anspritzen. Dieses konnte bei den Versuchen nur von oben, von der dem Feuer entgegengesetzten Seite her geschehen und vergrößerte natürlich, wenigstens anfangs, den Temperaturunterschied beider Seiten noch mehr. Aber auch das sind Verhältnisse, wie sie in Wirklichkeit vorkommen werden, weil man sich hier den Säulen in der Regel nur von der Seite wird nähern können, wo das Feuer nicht ist.

Die Säulenenden lagen nicht direkt an den in Kugellagern beweglichen Richtplatten P , P_1 an, sondern an den gehobelten Flächen zweier Gusseisenplatten, die an den Vorderflächen zweier Sandsteinwürfel von 30 cm Seite befestigt worden waren; diese Sandsteinwürfel ruhten auf leichten, an die Richtplatten angeschraubten Trägern und legten sich mit ihren gehobelten Rückflächen an die Vorderflächen der Richtplatten. Diese Einrichtung wurde getroffen, um mit dem Feuer ganz an die Enden der Säulen rücken zu können, ohne dass die Richtplatten und der Wagen W oder der Kreuzkopf G geschädigt wurden. Später, als bei dem 7. Versuche der Sandsteinwürfel an

Die erste aus 32,3 Theilen Zinn und 67,7	Theilen Blei mit dem Schmelzpunkte 300° C.
„ zweite „ 89,9 „ Blei „ 10,1	„ Silber „ „ „ 400° C.
„ dritte „ 75,5 „ „ „ 24,5	„ „ „ „ „ 500° C.
„ vierte „ 61,0 „ „ „ 39,0	„ „ „ „ „ 600° C.

Bei der Ermittlung der Temperatur wurde das Hauptaugenmerk auf die Mitte der Säule gerichtet, wo sie aus leicht begreiflichen Gründen in der Regel am höchsten war. Doch wurden auch solche Stellen, die gegen die Enden zu lagen, von Zeit zu Zeit untersucht, besonders an starken Ausladungen, Wulsten und dergleichen.

Die Messung der Ausbiegung der rings vom Feuer umspielten Säulen bietet natürlich ganz besondere Schwierigkeiten. Ich bediente mich dazu der folgenden Vorrichtung (Fig. 6, Blatt I).

In einer circa 2,50 m betragenden Entfernung von der Säule war der Ständer M aufgestellt. An demselben waren der in 360 Grade getheilte Kreis A und der gleichfalls

der vordern Richtplatte P_1 zerdrückt worden war, wurde er durch einen, eben zur Hand befindlichen Säulenfuß, der in Fig. 3 abgebildet ist, ersetzt.

Die Richtplatten sind mittelst Oesen und Bolzen am Kreuzkopf G und dem Wageu W aufgehängt, wie Fig. 4 auf Blatt I zeigt. Die Bolzen b haben etwas Spielraum in den Löchern der Oesen a , so dass sich die Platten bei Biegungen der eingespannten Säulen in der Vertikalebene etwas richten können. Für Versuche im kalten Zustande reicht dies aus. Bei den vorliegenden Versuchen, wo gerade in der Vertikalebene die grössten Durchbiegungen vorkommen, und zwar bei den eisernen Säulen stets nach unten hin, wurden häufig die Schrauben, mit welchen die Oesen in den Richtplatten befestigt sind, abgerissen oder aus den Gewinden gezogen.

Mittelst der je vier Stellschrauben an den Richtplatten können diese, nachdem die Säule eingespannt und jene Schrauben angezogen worden sind, ganz festgestellt, oder es kann ihnen durch Zurückschrauben der Stellschrauben oder gänzliches Entfernen derselben eine Beweglichkeit mit kleinerem oder grösserem Spielraum gegeben werden. Von welchem Einfluss diese Richtfähigkeit der Richtplatten bei den Versuchen war, wird sich bei der Beschreibung derselben ergeben.

Die Temperaturen der Säulen während eines Versuches wurden mittelst Berührung mit einem Stück Legierung bestimmt, das in einen Eisendraht geklemmt war, der in einer langen Handhabe von Holz steckte (Fig. 5, Blatt I). Wenn das Probestück nach der Berührung Spuren von Schmelzen zeigte, so wurde die Schmelztemperatur der Legierung als diejenige der Säule an der Berührungsstelle genommen. Solche Legierungen liess ich nach den Angaben von Mayrhofer vier herstellen und zwar:

eingetheilte Sektor B montirt, mit Zeigern, welche die zu der Theilung gehörigen Nonien trugen, die aber bei den Versuchen nur selten benützt wurden. Beide Apparate waren Messvorrichtungen entnommen, die andern Zwecken dienen. Bei jedem derselben betrug die Entfernung zweier Theilstriche 1 mm. An den Achsen der Zeiger waren Rollen aus Hartgummi von Halbmessern gleich dem 10. Theil derjenigen der Theilkreise befestigt. Ueber diese Rollen waren Seidenfäden oder feine Stahllamellen geschlungen, die an den frei herabhängenden Enden mit Gewichten gespannt und mit den andern Enden nahe an den Rollen an dünne Messingdrähte geknüpft waren. Von der Rolle des Sektors B weg ging der Messingdraht in horizontaler

und auf der Längsachse der Säule senkrechten Richtung in einer Länge von 1,25 *m* bis zum Ende eines um die Säule geschlungenen Binddrahts (ausgeglühten Eisendrahts), der sich in horizontaler Richtung bis auf 1,25 *m* von der Säule weg erstreckte, wo er mit seinem Ende mit jenem Messingdraht verknüpft war. — Von der Rolle des Theilkreises A weg ging der Messingdraht in der, durch die Mitte der Säule gehenden und auf ihrer Längsaxe senkrechten Vertikalebene in schiefer Richtung aufwärts bis zu der an einem Galgen befestigten leicht beweglichen Rolle C (Entfernung 2,70 *m*), über die er sich legte, um dann auf eine Länge von 0,54 *m* vertikal herabzusteigen; dortselbst wurde er mit dem Ende eines Ausläufers jenes eisernen Binddrahtes verbunden, welcher ihm bis auf eine Entfernung von 0,66 *m* von der Säule weg entgegen kam.

Durch den Kreis A konnte also die Durchbiegung der Säule in vertikaler, durch den Sektor B diejenige in horizontaler Ebene gemessen werden und zwar beidesmal in zehnfacher Uebersetzung, so dass die Millimeter der Theilungen jener Apparate den Werth von 0,1 *mm* hatten.

Allerdings lässt die Genauigkeit dieser Messvorrichtung Manches zu wünschen übrig: dass die Bewegungen der Enden der Säulen in den gemessenen Ausbiegungen mitenthaltend sind, macht zwar hier sehr wenig aus, wo die Säulen mit den ihnen zukommenden Belastungen im kalten Zustande fest eingespannt und nur die Ausbiegungen gemessen wurden, welche durch die mehr oder weniger einseitige Erwärmung und darauffolgende Abkühlung hervorgerufen wurde. — Mehr Einfluss übt der todte Gang der Apparate in Folge Streckung der Drähte und Durchbiegung der schief oder horizontal gerichteten Theile derselben. Da es sich aber hauptsächlich um die Durchbiegung in vertikaler Ebene handelt und diese bei den eisernen Säulen sehr gross und stets nach einer Seite, nach unten, gerichtet ist, so kann auch diese Fehlerquelle übersehen werden. — Endlich ist noch des Einflusses zu gedenken, den die Erwärmung der von der Säule zu den Messinstrumenten reichenden Drähte verursacht. Wenn wir, wie es später immer geschehen wird, die Ausbiegungen positiv dann rechnen, wenn sie in der Richtung von den Instrumenten weg stattfinden (also z. B. bei der vertikalen Durchbiegung nach unten), so wirkt die Erwärmung der Drähte immer algebraisch verkleinernd. Die dadurch veranlasste Korrektur ist also mit dem + Zeichen der gemachten Ablesung beizufügen. Wie gross dieselbe ist, könnte aus der Temperatur jener Drähte und ihrer Vertheilung über die Länge derselben berechnet werden. Aber bei den Schwierigkeiten, welche die Versuche ohnedies darbieten, war es kaum möglich, diese Temperaturen auch noch mitzumessen. Ich musste mich damit begnügen,

einen Controlversuch (am 13. Jan. 1885) in der Weise anzustellen, dass ich das Feuer in den Heizkörben in gewöhnlicher Weise schüren liess, jedoch ohne Säule, und drei Thermometer beobachtete, von denen das eine (I) bei der Rolle C, das zweite (II) in der Mitte zwischen dieser und dem getheilten Kreis A und das dritte (III) in der Mitte zwischen dem Sektor B und der Säule aufgehängt war.

Bei Beginn des Heizens zeigten die drei Thermometer: I = 13° C; II = 13° C und III = 10° C; drei Minuten darnach, als die Flamme erst bis zum Rande der Heizkörbe reichte: I = 55°, II = 15°; III = 11½°. Nach 5 Min. umspielte die Flamme das Thermometer I und zeigte dasselbe 250°; II = 22° und III = 16°. Nach 6 Min., als das erste Thermometer ganz von der nun sehr starken Flamme umspielt war, zeigte dasselbe 300°; II = 30° und III = 21°. Nun wurde ein circa 1 *qm* grosses Blechstück über die Flamme gedeckt, indem man es auf den Rand der Körbe legte. Dadurch sank die Temperatur des Thermometers I rasch, nach 7 Min. auf 160°, nach 8 Min. auf 100, nach 9 Min. auf 85°, obwohl zu beiden Seiten des Deckbleches die Flammen hoch aufschlugen. Das Thermometer II stieg während dieser Zeit auf 33, 38 und 39°, das III auf 24, 27 und 30°. Als dann das Feuer abgedeckt wurde und die Flamme unter dem Thermometer I bis zur halben Höhe zwischen ihm und den Korbrändern aufschlug, stieg, nach 10 Min., das Thermometer I auf 150°, I auf 40 und III auf 32°; als dann in Folge Nachheizens die Flamme bis gegen das Thermometer I hinaufzüngelte, war nach 11 Min. I = 170°; II = 38° und III = 33° und nach 12 Min., als das Thermometer I von Funken umsprüht war, I = 210°; II = 38°; III = 33°. Das Thermometer I stieg hierauf nur noch bis 230° und blieb dann fast constant bei einem Feuer, das ungefähr so war, wie das bei den meisten Versuchen mit eisernen Säulen in der grössten erreichten Hitze.

Nimmt man auf Grund dieses Versuches an, dass bei Erwärmungen der Säulenmitten seitwärts, wo die Temperaturen gemessen wurden, um

300 400 500 600° C

und dem entsprechend bei Erwärmungen der Säulenmitten auf der oberen Seite um etwa

200 300 400 500° C

an der Stelle C Temperatur-Erhöhen von

100 135 170 200° C

stattfinden, in den Mitten des Drahts AC aber und des horizontal von der Säule bis B gehenden in allen 4 Fällen Erwärmungen von 25° C stattfinden, während bei A und B selbst kein Einfluss mehr verspürt wird, so berechnen sich, unter der Annahme, dass die Temperaturen in den Drähten von einer Stelle zur andern gleichmässig zu- oder abnehmen und mit Zugrundelegung der in Figur 6, Blatt I einge-

schriebenen Dimensionen die Correkturen für die Ausbiegungen in vertikaler Ebene zu

$$+ 4,7; + 6,4; + 8,5; + 10,1 \text{ mm}$$

und diejenigen für die Ausbiegungen in horizontaler Ebene zu

$$+ 2,9; + 3,8; + 4,6; + 5,4 \text{ mm},$$

die Ausdehnungscoefficienten für 100° C bei Eisen gleich 0,001235, bei Messing gleich 0,001868 gesetzt.

Es wird sich zeigen, dass bei guss- und schmiedeisernen Säulen die Ausbiegungen, besonders die in vertikaler Ebene, auf welche es am meisten ankommt, so gross sind, dass jene Correkturen fast dagegen vernachlässigt werden dürfen, während bei steinernen Säulen und Pfeilern die Ausbiegungen meist unter jenen Correkturen bleiben und daher häufig von ihnen verdeckt werden. Sie sind dann aber auch so klein, dass sie ganz unbeachtet bleiben können.

Wie schon gesagt, wurden die Säulen auf ihr Verhalten im Feuer und [bei nachfolgender Abkühlung untersucht, indem sie in die Prüfungsmaschine mit der Belastung eingespannt wurden, die ihnen in Wirklichkeit zugemuthet werden dürfte. Diese Belastung wurde für die guss- und schmiedeisernen Säulen mittelst der Formel berechnet:

$$P = \gamma \beta_0 F \frac{1}{1 + z \frac{F l^2}{\Theta}}$$

wo β_0 die Druckfestigkeit des Materials für Würfelform, F den Flächeninhalt und Θ das Trägheitsmoment des Querschnitts in der Mitte, l die Länge der Säule und γ den Sicherheits-Coëfficienten bedeutet, der gleich $\frac{1}{3}$ gesetzt wurde. Der Coëfficient z wurde für gusseiserne Säulen, bei denen der Excentrität Rechnung getragen werden muss, nach meinen früheren Versuchen (s. Versuche über Elasticität und Festigkeit verschiedener Materialien im „Civilingenieur“ Bd. XXVIII S. 561) gleich 0,0006, für schmiedeiserne nach Laissle und Schübler gleich 0,00009 angenommen. Die Druckfestigkeit β_0 kann für Gusseisen gleich 7000, für Schmiedeisen gleich 4000 gesetzt werden. — Bei den Steinsäulen wurde als zulässige Belastung einfach der 20^{te} der Bruchlast genommen, unter der ein Würfel von gleichem Material und einem Querschnitt gleich dem in der Mitte der Säule zerdrückt werden würde. Nachdem die Versuchssäule mit der so berechneten zulässigen Belastung möglichst centrisch eingespannt war, wurden die Messapparate für die Ausbiegung angebracht, und hierauf das Feuer angezündet. Dasselbe wurde von zwei Arbeitern unter Aufsicht und thätiger Mithilfe des Werkmeisters des Laboratoriums so unterhalten, dass es möglichst gleichmässig und lebhaft brannte. Der Letztere hatte ausserdem die Aufgabe, die Temperatur der Säule von Zeit

zu Zeit durch Berührung mit den Legierungen zu untersuchen; später übernahm er das Anspritzen.

Mit der Erwärmung dehnen sich natürlich die Säulen aus. Bei ihrer Verwendung wird dabei ihre Spannung in der Regel nicht oder doch nicht viel vergrössert, da sie die auf ihnen ruhende Last heben. Dem musste auch bei den Versuchen Rechnung getragen werden, was einfach dadurch möglich ist, dass man den Lufthahn der hydraulischen Presse der Maschine etwas öffnet, sobald man merkt, dass der Hebel der Wage in Folge des wachsenden Druckes der Säule anfängt zu steigen. Es war leicht möglich, durch Reguliren an jenem Lufthahn die Belastung der Säule trotz wachsender Erwärmung und Ausdehnung constant zu erhalten. Wenn dann später die Ausbiegung zu gross, oder wenn beim Anspritzen die Temperatur niedriger wurde, so sank der Hebel der Wage und es musste durch Nachpumpen die Belastung wieder erhöht, d. h. constant erhalten werden. Diese Regulirungen an der hydraulischen Presse und Wage wurden vom Assistenten und Diener des Laboratoriums besorgt. Ich selbst hatte die Leitung der Versuche, die Ablesung der Ausbiegungen und die Aufschreibung derselben, sowie der sonstigen bemerkenswerthen Vorkommnisse übernommen.

Im Nachstehenden theile ich nun die Versuche selbst in der Reihenfolge, wie sie angestellt wurden, mit. Bei der Beurtheilung derselben mögen die Schwierigkeiten, mit welchen man dabei zu kämpfen hatte, insbesondere die grosse Hitze, welcher der grössere Theil der dabei Betheiligten ausgesetzt war, nicht übersehen werden.

Der Kürze halber bezeichne ich die Ausbiegung der Säulen in horizontaler Ebene mit h , in vertikaler mit v und gebe diesen Zahlen das Zeichen + oder —, je nachdem die Ausbiegung vom Messapparat weg, oder gegen diesen hin erfolgt; positive v bedeuten also immer Ausbiegungen in vertikaler Ebene nach unten, nach der Seite des Feuers hin. An diesen Zahlen sind dann die Correktionen wegen Ausdehnung der Drähte stets mit + Zeichen anzubringen. Ich gebe bei den folgenden Beschreibungen die direkt abgelesenen, also nur scheinbaren Ausbiegungen, und überlasse es dem Leser, die Correctionen nach den obigen Auseinandersetzungen selber anzubringen. Die Zeitangaben sind immer vom Anfang, von dem Momente an gerechnet, wo mit dem Heizen begonnen wurde.

1. Versuch, am 13. und 14. Juni 1884.

Gusseisen-Säule (-Rohr) Nr. 5 (Fig. 1, Blatt II). Aeusserer Durchmesser = 14,8 cm, Wandstärke = 1,0 cm, also innerer Durchmesser = 12,8 cm, sämmtlich in der Mitte; Länge $l = 334,1 \text{ cm}$. Damit berechnet sich die zulässige Belastung auf 16 t. Mit dieser wurde die Säule

so in die Maschine eingespannt, dass sie, mit der Muff nach hinten, gegen den Wagen W in Fig. 1, Blatt I lag.

Die Richtplatten, vor denen die Sandsteinwürfel sich befanden, waren beide mit etwas Spielraum in den Löchern der Oesen aufgehängt. Die Stellschrauben waren aus der hinteren, am Wagen W befindlichen Richtplatte ganz entfernt; bei der vordern waren sie etwas zurückgeschraubt, so dass zwischen ihren Köpfen und deren Anlageflächen ein Spielraum von circa $3,5\text{ mm}$ war. — Die Messinstrumente befinden sich bei diesem und allen folgenden Versuchen mit eisernen Säulen auf der rechten Seite der Maschine.

Um 3 Uhr 1 Minute wird das Heizen begonnen, drei Minuten darnach kommt die Libelle an der Wage in Bewegung und muss mit dem Reguliren am Lufthahn angefangen werden. Nach 6 Min. ist h noch fast Null, aber v schon gleich $+2,0\text{ mm}$; nach 8 Min. ist ersteres auf $+4,5$, letzteres auf $+11,0\text{ mm}$ gestiegen. Auf ersteren Werth bleibt h nun lange Zeit stehen, während v noch wächst, bis es nach 11 Min. $+16,0\text{ mm}$ erreicht hat, auf welchen Werth es 2 Min. lang stehen bleibt, um dann abzunehmen und nach 22 Min. ein Minimum von $+9,6\text{ mm}$ zu erreichen. Von da an wächst v wieder und wird nach 27 Min. $= 15,5\text{ mm}$, während bis dahin h fortwährend annähernd auf jener Grösse von $+4,5\text{ mm}$ stehen geblieben ist. Nun wird sowohl h als v stetig grösser und nach 32 Min., wo die Temperatur in der Mitte der Säule auf der Seite grösser als 300° aber noch kleiner als 400° ist, hat h die Grösse von $+7,0$, v die von $+23,3\text{ mm}$ erreicht. Nun wird zu spritzen angefangen; dadurch wachsen beide Ausbiegungen rasch weiter und muss an der Pumpe der Maschine stark nachgepumpt werden, um den Druck auf die Säule constant zu erhalten. 3 Min. nach Beginn des Spritzens, also 35 Min. vom Anfang des Versuches an, hat v das Maximum von $+39\text{ mm}$ erreicht und geht nun retour, während h erst eine halbe Minute später einen grössten Werth von $+12,0\text{ mm}$ erhält, und dann ebenfalls kleiner wird. Nach 38 Min. ist das Feuer völlig gelöscht und wird zu spritzen aufgehört; h ist auf $+3,5\text{ mm}$ und v auf $+4\text{ mm}$ zurückgegangen. h nimmt nun noch weiter ab, v aber nur während der nächsten Minute, bis auf $+3,0\text{ mm}$, um dann wieder zu steigen und etwas zu fallen, bis endlich nach 48 Min. h auf $+2,8\text{ mm}$ und v auf $+6,3\text{ mm}$ stehen bleibt.

Bei genauer Besichtigung und Abklopfen zeigt sich die, mittlerweile kalt gewordene Säule vollständig intakt.

Nun wurde der Versuch wiederholt mit der Absicht, die Temperatur der Versuchssäule höher, bis 400° , zu steigern. Zu dem Ende wurde die letztere, nachdem sie vorher herausgenommen worden war, um die Heizkörbe reinigen und frisch beschicken zu können, wieder ebenso

eingespannt und mit derselben Belastung, wie vorhin. Nachdem die Drähte der Messinstrumente wieder in ihrer Mitte befestigt waren, wurde, 46 Min. nach Schluss des vorigen Versuches, wieder mit dem Heizen begonnen. Sogleich nach dem Beginn setzt sich die Libellenblase der Wage in Bewegung und muss mit dem Reguliren am Lufthahn angefangen werden, während sich die Zeiger der Messapparate noch nicht rühren. Erst nach 3 Min. kommen sie in Bewegung, gehen dann aber, besonders derjenige für die Durchbiegung in der Vertikalebene, rasch vorwärts. Nach 13 Min. ist in der Mitte der Säule beiderseits die Temperatur von 300° C erreicht und h auf $+7,1\text{ mm}$, v auf $+32\text{ mm}$ (von dem Zustande aus gerechnet, in dem die Säule durch den 1. Theil des Versuches versetzt worden war) angewachsen. Nach 15,5 Min. wird in der Mitte der Säule zu beiden Seiten die Temperatur von 400° C erreicht, während oben erst 230° C sind; h ist auf $+10,4\text{ mm}$, v auf $+40\text{ mm}$ gestiegen. Eine halbe Minute darauf wird zu spritzen angefangen, wodurch beide Durchbiegungen rasch wachsen, aber schon nach einer weiteren Minute, 17 Min. vom Anfang an, ihre Maxima erreichen: $+14,7$ und $+65\text{ mm}$. Die Säule ist nun nach unten so stark durchgebogen, dass die obere Ränder ihrer Endflächen circa 5 mm von den Richtplatten abstehen. Von jenen Maximalwerthen gehen dann beide Durchbiegungen, die horizontale nach einigen Schwankungen hin und her, zurück; 19,5 Min. nach Anfang des Versuches wird ein leises Knattern in der Säule vernehmbar; nach 23 Min. wird zu spritzen aufgehört und sind die Durchbiegungen auf $h = +2,5$ und $v = +3\text{ mm}$ zurückgegangen, nach weiteren 5 Min. auf $+1,9\text{ mm}$ und $+1\text{ mm}$ und wird der Versuch nun abgebrochen, um die inzwischen kalt gewordene Säule genau zu untersuchen und abzuklopfen; sie zeigt sich noch vollkommen intakt.

Am nächsten Tage wurde der Versuch bei gesteigerter Temperatur mit der genau so, wie die beiden vorigen Male eingespannten Säule nochmals wiederholt. Die Ausbiegungen wurden wieder von dem Zustande aus gemessen, in dem die Säule durch den vorigen Theil des Versuches versetzt worden war.

Drei Minuten nach Beginn des Heizens setzt sich die Libellenblase der Wage in Bewegung und gleich darauf auch die Zeiger der Messapparate, beide nach der positiven Seite hin. Nach 9 Min. sind in der Mitte der Säule beiderseits 300° C erreicht und h auf $9,0\text{ mm}$, v auf $+27,0\text{ mm}$ angewachsen. Beide nehmen stetig weiter zu. Nach 14 Min. ist die Temperatur an obigen Stellen auf 400° gestiegen, während sie oben in der Mitte noch kleiner als 300° ist; h ist $= +14,5\text{ mm}$ und $v = +43,2\text{ mm}$ geworden; letzteres steigt nun nur noch in der nächsten Minute und zwar bis $43,7\text{ mm}$ und geht dann zurück.

Nach $18\frac{1}{2}$ Min. sind die Seiten der Säule in der Mitte 500° warm, die obere Seite über 300° ; h ist $+18,3\text{ mm}$, $v = +40,5\text{ mm}$; letzteres geht mehr und mehr zurück, offenbar aus dem Grunde, weil sich die Temperatur rings um die Säule gleichmässiger verbreitet. Nach 23 Min. ist die Temperatur der Säule seitlich in der Mitte etwas über 600° gestiegen, $h = +23,0\text{ mm}$, $v = +33,5\text{ mm}$ geworden, und wird nun angefangen zu spritzen. Dadurch wird die seitliche Ausbiegung fast gar nicht geändert, während die in vertikaler Ebene wieder zunimmt, um schon nach $25\frac{1}{2}$ Min. das Maximum von $v = +58,5\text{ mm}$ zu erreichen und dann nach einigen Schwankungen retour zu gehen. Vorher schon, 24 Min. nach Beginn, wurde wiederholtes Krachen in der Säule vernommen und dann auch während des fortgesetzten Spritzens die entstandenen Risse bemerkt. Nach 28 Min. ist h immer noch $+24\text{ mm}$, v aber auf $+54,0\text{ mm}$ zurückgegangen; h hält sich nun noch eine Zeitlang auf jener Höhe, um dann langsam zurückzugehen, während v rasch kleiner wird. Nach 33 Min., wo das Feuer gelöscht ist und zu spritzen aufgehört wird, ist h immer noch $20,5\text{ mm}$, während $v = -0,9\text{ mm}$ (Durchbiegung nach oben) geworden ist. Nach Verlauf von weiteren 22 Min., in denen die Säule gar abkühlt, geht h auf $+14,4\text{ mm}$ Ausbiegung nach der linken Seite der Maschine hin, zurück, während die Ausbiegung der Säule nach oben bis $v = -10\text{ mm}$ zunimmt; diese letztere bleibende Biegung rührt offenbar von der raschen Abkühlung der obern Seite der Säule her.

Bei genauerer Besichtigung der Säule zeigt sich, dass sie in der Mitte beiderseits geglüht hatte, wenn auch nur so schwach, dass es im Feuer nicht bemerkt worden war. An der (im Vergleich zur Maschine genommen) vordern Hälfte der Säule zeigen sich da, wo ein Glühen der Säule auch schon im Feuer bemerkt und wohin auch am stärksten gespritzt worden war, drei deutliche Risse. Der eine, stärkste, geht $51,5\text{ cm}$ vom vordern Ende der Säule entfernt oben quer über die letztere und läuft dann auf der rechten, concaven Seite schief nach hinten, auf dieser Seite so stark werdend, dass der einerseits vorspringende Rand mit dem Finger fühlbar ist. Ein zweiter Riss läuft $73,4\text{ cm}$ vom vordern Ende ebenfalls oben quer über die Säule und ebenso ein dritter, $81,4\text{ cm}$ von demselben Ende entfernt (vgl. Fig. 1 auf Blatt II). Trotz alledem hat die Säule die Belastung von 16 t fortwährend getragen und trägt sie noch.

Hierauf wurden die Drähte der Messapparate abgenommen und nach Reinigen der Heizkörbe die Säule bei derselben Einspannungsweise und Belastung wie vorhin nochmals bis zum Glühen erhitzt. Das Heizen wurde 52 Min. nach Beendigung des vorigen Versuches begonnen. 17 Min. darnach hatte die Säule in der Mitte auf der untern, dem

Feuer zugekehrten Seite 500°C . Nach 20 Min. glüht die Säule fast auf der ganzen linken Seite, besonders in der Mitte; nach 21 Min. glüht sie in der Gegend jener Risse ringsum. Nach 23 Min. zeigt sich an der Wage der Maschine ein Nachgeben, die Libellenblase sucht nicht mehr zu steigen, sondern retour zu gehen, eine Wirkung, die der Ausdehnung der Zugstangen der Maschine s_1, s_2, s_3, s_4 (Fig. 1, Blatt I) zuzuschreiben ist, da dieselben ziemlich stark erhitzt werden. Nach 24 Min. glüht die Säule auf der ganzen Länge ringsum, die Wage hält sich anfangs wieder besser, geht aber gleich darauf wieder stärker retour, nach 25 Min. noch stärker, so dass fortwährend nachgepumpt werden muss. Nun wird angefangen zu spritzen; in Folge dessen noch stärkeres Nachgeben an der Wage, welches noch rascheres Nachpumpen notwendig macht. 27 Min. nach Beginn Krachen, gleich darauf wieder, die Wage der Maschine fällt und muss, wie bisher immer schon, durch Nachpumpen gehoben werden; nach 29 Min. neues Krachen, das sich 2 Min. darauf wiederholt. Die Libelle der Wage hält sich nun ruhiger und stets auf der Belastung von 16 t ; nach 35 Min. wird zu spritzen aufgehört.

Die Säule zeigt sich stark verbogen, zunächst aber keine neuen Risse; erst bei genauerer Besichtigung werden eine Anzahl ganz feiner Risschen zwischen jenem dritten und der Entfernung $111,4\text{ cm}$ vom vordern Ende der Säule entdeckt. (s. Fig. 1, Blatt II.) Die Belastung von 16 t hatte die Säule fortwährend getragen.

2. Versuch, am 17. Juni 1884.

Gusseisen-Säule Nr. 2 (Fig. 2, Blatt II) mit etwas ovalem Schaft-Querschnitt, dessen Durchmesser in der Mitte $18,7$ und $18,0\text{ cm}$ betragen, im Mittel $18,35\text{ cm}$. Die Wandstärke ist an zwei, im grösseren Durchmesser einander gegenüberliegenden Stellen der Mitte $2,8$ und $2,1\text{ cm}$, im Mittel $2,45\text{ cm}$, der innere Durchmesser daselbst also $13,35\text{ cm}$. Die Länge misst 360 cm . Damit berechnet sich eine zulässige Belastung von 50 t . Die Säule wurde aber, eines Rechnungsfehlers halber, nur mit 30 t belastet. Sie lag, mit dem Fusse nach hinten, so in der Maschine, dass der grössere Schaftdurchmesser vertikal und die grössere Wandstärke unten, dem Feuer zugekehrt war. Auf der rechten, den Messapparaten zugekehrten Seite war eine ziemlich bedeutende Kaltschweisstelle. Die Richtplatten und ihre Stellschrauben waren ganz so angeordnet, wie im vorigen Versuch.

Um 2 Uhr 54 Min. wird das Heizen begonnen. $1\frac{1}{2}$ Min. darnach setzt sich die Libelle der Wage schon in Bewegung; die Zeiger der Messapparate fangen erst

nach 3 Min. an, und zwar gehen beide, der Erwärmung der Drähte halber, erst nach der negativen Seite. Aber schon nach 4 bis 5 Min. haben sie das Maximum dieser rückwärtigen Bewegung mit $h = -0,9 \text{ mm}$ und $v = -1,0 \text{ mm}$ erreicht und gehen nun beide, derjenige für die Ausbiegung in horizontaler Ebene sehr langsam, vorwärts; nach 8 Min. ist $h = +0,5 \text{ mm}$ und $v = +9,3 \text{ mm}$. Gleich darauf wurde aus Unvorsichtigkeit der Draht des Messapparats für die vertikale Ausbiegung abgerissen, wesshalb die Messung der letzteren unterbleiben musste. h wächst stetig fort, bis es nach 15 Min. ein Maximum von $+10,2 \text{ mm}$ erreicht hat und nun etwas rückwärts geht. $16\frac{1}{4}$ Min. nach dem Beginn des Heizens war in der Mitte der Säule beiderseits die Temperatur von 300° C erreicht und eine halbe Minute darnach, wo $h = +9,0 \text{ mm}$ war, wurde mit dem Spritzen begonnen. In Folge dessen geht der Zeiger für die horizontale Ausbiegung rasch vorwärts, bis nach 18 Min. $h = 12,7 \text{ mm}$ geworden ist; dann wird es langsam kleiner, schwankt auch etwas hin und her; nach 23 Min. ist $h = +10,6 \text{ mm}$ geworden und das Feuer gelöscht, wesshalb das Spritzen beendigt wird. Nach Verlauf von weiteren 7 Min. ist die Säule kalt und $h = +4,0 \text{ mm}$ geworden. Besichtigen und Abklopfen der Säule zeigt dieselbe unversehrt.

Schon 3 Min. nach Schluss des vorigen Versuches wird wieder mit dem Heizen begonnen. Die Zeiger der Messapparate wurden auf Null eingestellt, die Ausbiegungen werden also wieder von dem Zustande der Säule an gemessen, wie er am Schlusse des vorigen Versuches vorhanden war. $1\frac{1}{2}$ Min. nach dem Anzünden des Feuers kommen die Zeiger der Messapparate und zwar zunächst wieder in rückwärtige Bewegung; die Libellenblase erst nach 2 Min. Der Zeiger für die vertikale Ausbiegung hat das Maximum jener rückwärtigen Bewegung schon nach 4 Min. erreicht, mit $-1,7 \text{ mm}$, der für horizontale Ausbiegung erst nach 14 Min. mit $h = -3,4 \text{ mm}$, während dessen $v = +5,7 \text{ mm}$ geworden ist. Beide Zeiger gehen nun nach der positiven Seite hin. Nach $18\frac{3}{4}$ Min. sind in der Mitte der Säule beiderseits 300° erreicht, nach 21 Min. 400° mit $h = +0,4 \text{ mm}$ und $v = +14,7 \text{ mm}$; nach 24 Min. 500° mit $h = +1,75 \text{ mm}$ und $v = +17,1 \text{ mm}$, nach $26\frac{1}{2}$ Min. 600° mit $h = +2,15 \text{ mm}$ und $v = +19,15$. Die Säule glüht in der oberen (vorderen) Hälfte, nahe der Mitte, hellroth und wird nun, nach $27\frac{1}{4}$ Min., mit dem Spritzen begonnen. In Folge dessen gehen beide Zeiger, besonders aber der für die vertikale Durchbiegung, rasch vorwärts und erreichen gleichzeitig, 31 Min. nach dem Anzünden des Feuers, die Maximalstellungen: $h = +6,3 \text{ mm}$ und $v = 53,8 \text{ mm}$. Schon nach 29 Min. wurde ein deutliches Krachen gehört, das sich nach 32—33 Min. wiederholte und nochmal verstärkt wiederholte, ebenso wieder

noch eine Minute später. Der Zeiger für horizontale Ausbiegung geht währenddem nur sehr langsam, sogar mit einigen Schwankungen, der für vertikale Ausbiegung aber rasch retour. Nach $38\frac{3}{4}$ Min. wird zu spritzen aufgehört; $h = +5,4 \text{ mm}$; $v = +11,8 \text{ mm}$. Während des nun folgenden Erkaltens der Säule gehen beide Zeiger noch weiter zurück und zeigen nach 57 Min. für $h = +2,7 \text{ mm}$ und für $v = -11,6 \text{ mm}$, also eine Biegung nach oben, die offenbar wieder von der raschen Abkühlung der Säule beim Anspritzen herrührt.

Die Säule zeigt 3 Querrisse: 67, 75 und 91 cm vom oberen (vorderen) Ende (vgl. Fig. 2, Blatt II).

Sie wird nun bei derselben Einspannungsweise und Belastung wie vorhin, aber ohne Messapparate, nochmals erwärmt, um sie noch stärker und auf grössere Strecken zum Glühen zu bringen. Zwei Min. nach dem Beginn des Heizens fängt der Hebel der Wage an aufzusteigen; nach 11 Min. ist in der Mitte zu beiden Seiten die Temperatur 300° C erreicht; nach $15\frac{1}{2}$ Min. 400° , nach $20\frac{1}{2}$ Min. 500° . Nach $23\frac{1}{4}$ Min. ist die Temperatur etwas oberhalb des obern Wulstes des Sockels 600° und zeigt sich noch etwas weiter oberhalb Rothgluth. Nach $24\frac{1}{4}$ Min. ist die Temperatur von 600° auch in der Mitte, aber erst unten, auf der dem Feuer zugekehrten Seite erreicht. Die Rothgluth verbreitet sich nun von jenem Wulst aus bis über die Mitte herauf. Nach $25\frac{1}{2}$ Min. fängt der oberste kleinste Wulst zu glühen an und eine Minute später reicht die Gluth bis nahe an den grossen Wulst und verbreitet sich nach oben bis zu den vorhin entstandenen 3 Rissen. Nach 30 Min. glüht jener oberste, kleine Wulst stark und nach weiteren $1\frac{1}{2}$ Min. der Schaft der ganzen Länge nach bis an den grossen Wulst. Dieser selbst hat nach $32\frac{1}{2}$ Min. oben noch nicht 600° , erreicht sie aber eine halbe Minute später. Nach 34 Min. wird zu spritzen angefangen. Nach 36 Min. leiseres Krachen, das sich schon nach einer halben Minute stärker dreimal wiederholt. Die Libelle an der Wage bleibt dabei ganz ruhig. Nach 38 Min. wiederholtes und immer stärker werdendes Krachen, dreimal nacheinander, nach 43 Min. nochmals Krachen, dann mehrmaliges leises, $\frac{1}{3}$ Min. später wiederholt starkes Krachen, und darauf rasch mehrmals nacheinander leiseres. Nach 49 Min. wird das Spritzen beendigt. Die beiden unteren der oben angegebenen 3 Risse haben sich vergrössert, namentlich verlängert und ein vierter, 107 cm vom oberen Ende ist dazu gekommen. Am obersten Theil des Sockels, namentlich an jenem kleinen Wulst und an der darunter liegenden Kante zeigen sich eine Menge kleiner Längsrissen (vgl. Fig. 2, Blatt II). Trotzdem hat die Säule die Belastung von 30 t fortwährend getragen und kann aus dem Saal des Laboratoriums in den Hof desselben, theils

mittelst des Laufkrahnes, theils auf Walzen transportirt werden, ohne zu zerbrechen.

(s. Vers. Nr. 8.)

3. Versuch, am 19. Juni 1884.

Schmiedeisensäule Nr. 8 aus U- und Flacheisen, die mit Schraubenbolzen verbunden sind (Fig. 3, Blatt II). Aus den in der Figur eingeschriebenen Querschnittsdimensionen ergibt sich der Inhalt des Querschnitts $F = 93,77 \text{ qcm}$ und dessen Trägheitsmoment bezüglich der längeren Axe xx' zu 2496 bigem ; die Länge ist 400 cm . Damit berechnet sich die zulässige Belastung auf rund $50 t$. Die Säule wird unter dieser Belastung so eingespannt, dass die längere Querschnittsseite horizontal liegt. Dabei erfährt sie in der Vertikalebene eine Durchbiegung von $0,6 \text{ mm}$ nach unten und in der Horizontalebene eine solche von $0,02 \text{ mm}$. Die folgenden Durchbiegungen werden von diesem Zustande aus gerechnet. Richtplatten und Stellschrauben derselben wie bei den beiden vorigen Versuchen.

Um 2 Uhr 42 Min. wird das Heizen begonnen; schon 1 Min. darnach steigt der Hebel der Wage und muss mit der Regulirung am Lufthahn der hydraulischen Presse angefangen werden, während die Zeiger noch ruhig bleiben; nach $2\frac{1}{2}$ Min. ist $h = -0,4 \text{ mm}$ und geht nach 4 Min. bis $h = -1,1 \text{ mm}$ zurück, eine scheinbare Ausbiegung der Säule nach rechts, gegen die Messinstrumente anzeigend, die aber nur von der Ausdehnung der Drähte herrührt; von jener Minimalstellung aus wächst h dann fortwährend. Der Zeiger für die vertikale Ausbiegung ist gleich vom Anfang an mit einigen Schwankungen vorwärts gegangen, eine Durchbiegung nach unten angehend. Nach 4 Min. ist $v = +7,7 \text{ mm}$. Nach 9 Min. werden seitwärts an der Säule etwas hinter der Mitte 300° C erreicht; $h = +0,9 \text{ mm}$ und $v = +39,5 \text{ mm}$. Nach 12 Min. ist $h = +3,6 \text{ mm}$ und $v = +55,9 \text{ mm}$ und in der Mitte der Säule, auf ihrer untern, dem Feuer zugekehrten Seite 400° C erreicht. Zu derselben Zeit wird mit dem Spritzen angefangen. Dadurch wächst die vertikale Durchbiegung rasch und erreicht schon nach etwa einer halben Minute ihr Maximum von $+70,6 \text{ mm}$, während die horizontale Durchbiegung langsamer wächst und erst nach $14\frac{1}{2}$ Min. (von Anfang an gerechnet) ihr Maximum von $h = +10,7 \text{ mm}$ erreicht. Nach 16 Min., wo zu spritzen aufgehört wird, ist h auf $+5,2 \text{ mm}$ und v auf $+27,5 \text{ mm}$ zurückgegangen. Beide Ausbiegungen gehen nun während des Erkaltens der Säule noch weiter retour, und nach 24 Min. ist h nur noch $+0,9 \text{ mm}$ und $v = +10,9 \text{ mm}$. Die Rückwärtsbewegung dauert fort, da aber an die Drähte gestossen worden war, musste die Messung beendet werden.

7 Min. nach der letzten Zeitangabe wurde wieder mit dem Heizen begonnen, um in einen zweiten Theil des

Versuches die Erhitzung der Säule weiter zu treiben. Die Messapparate werden auf Null gestellt. Auch hier zeigt schon wieder 1 Min. nach Beginn des Heizens die Libellenblase eine Bewegung. Bei, namentlich in der Mitte, schlecht brennendem Feuer geht der Zeiger für die horizontale Biegung zuerst nach der positiven Seite, bis $h = +0,4 \text{ mm}$ nach 4 Min., dann rückwärts bis $h = -0,8 \text{ mm}$ nach 12 Min., dann nach einigen Schwankungen wieder vorwärts; der Zeiger für die vertikale Durchbiegung geht auch von Anfang nach der positiven Seite, dann wieder etwas zurück und dann wieder vorwärts, um nun fortwährend steigende Durchbiegungen nach unten anzuzeigen. Nach 11 Min. ist die Säule seitwärts in der Mitte 300° C warm, $h = -0,55 \text{ mm}$ $v = +2,0 \text{ mm}$. Das Feuer brennt von nun an sehr gleichmässig; die vertikale Durchbiegung wächst rasch, die horizontale nur langsam. Nach 15 Min. ist in der Mitte der Säule beiderseits die Temperatur 400° , $h = +1,0 \text{ mm}$, $v = +37,2 \text{ mm}$; nach $16\frac{1}{2}$ Min. die Temperatur 500° und zeigen sich etwas hinterhalb der Mitte die Flacheisen beiderseits ausgebaucht.

Nach 18 Min. ist die Temperatur von 600° seitwärts in der Mitte erreicht, aber ein Glühen noch nicht sichtbar; $h = +3,8 \text{ mm}$, $v = +60,5 \text{ mm}$. Nun wird mit dem Spritzen begonnen. Dadurch vergrössern sich beide Ausbiegungen, die horizontale erst nur langsam, der Zeiger für die vertikale aber läuft so rasch, dass kaum mehr abgelesen werden kann; nach ca. $20\frac{1}{2}$ Min. schon ist die Maximaldurchbiegung $v = +138,0 \text{ mm}$ erreicht; in diesem Augenblick wird ein Schraubenbolzen mit starkem Krach abgescheert und fällt der Hebel der Wage, der seit Beginn des Spritzens nur durch schnelles Pumpen horizontal gehalten werden konnte, plötzlich herab; die Säule würde sich unter der ursprünglichen Belastung von $50 t$ unaufhaltsam durchbiegen. Nur durch Entlastung der Wagschale bis $35 t$ gelingt es, den Hebel wieder horizontal zu stellen, wobei nach 22 Min. die horizontale Durchbiegung h bis zum Maximum von $+12,2 \text{ mm}$ gestiegen, die vertikale aber bis $+110 \text{ mm}$ zurückgegangen ist; trotzdem muss die Wagschale noch mehr entlastet werden; nach 25 Min. ist h auf $-4,7 \text{ mm}$ und v auf $+73,0 \text{ mm}$ zurückgegangen; neues Krachen und Abscheeren von Schraubenbolzen. Nach $28\frac{1}{2}$ Min., wo zu spritzen aufgehört wird, ist der Hebel der Wage nur noch mit einer Belastung von $30-31 t$ horizontal zu bringen, mit einer höheren würde sich auch jetzt noch die Säule vollständig durchbiegen. Die Figuren 4 und 5 auf Blatt II zeigen die Gestalt der Säule, nachdem sie kalt geworden war. Der grösste Biegungspfeil, nahezu in der Mitte, beträgt $5,4 \text{ cm}$; auf der vorderen Hälfte sind rechts sämmtliche 5 Schraubenköpfe der oberen Reihe abgescheert und die Flacheisen zwischen dem 4^{ten} und 5^{ten} Schraubenpaar der hinteren Hälfte

stark, um 15–18 mm, aufgebaucht. Trotz dieser starken Deformation hält die Säule in kaltem Zustande die ihr ursprünglich zugemuthete Belastung von 50 t wieder ganz gut, während sie vorhin, nach Beendigung des Spritzens, wo sie doch nicht mehr sehr warm war, kaum noch 31 t zu tragen vermochte.

4. Versuch, am 20. Juni 1884.

Gusseisensäule Nr. 3. (Fig. 6 auf Blatt II). Aeusserer Durchmesser in der Mitte 15,3 bis 15,6 cm, im Mittel 15,45 cm; Wandstärke daselbst 2,22 bis 2,40 cm, im Mittel 2,31 cm; folglich innerer Durchmesser 10,83 cm; Länge 402,5 cm; damit berechnet sich die zulässige Belastung auf rund 25 t. Unter derselben wurde die Säule, mit dem Kapitell nach vorn liegend, in die Prüfungsmaschine gespannt. Richtplatten und deren Stellschrauben wie bei den drei vorhergehenden Versuchen.

Um 3 Uhr 52 Min. wird mit dem Heizen begonnen. Eine Minute darnach bewegt sich die Libellenblase der Wage; die Zeiger der Messapparate setzen sich erst nach einer weiteren Minute und zwar beide nach der positiven Seite hin in Bewegung. Nach 7 Min. ist $h = +1,1 \text{ mm}$, $v = +25,5 \text{ mm}$; ersteres nimmt nun ab; nach einer weiteren halben Minute sind in der Mitte der Säule seitwärts 300°C erreicht und nach im Ganzen 8 Min., wo $h = +0,1 \text{ mm}$ und $v = +28,7 \text{ mm}$ ist, wird mit dem Spritzen begonnen. In Folge dessen schwankt der Zeiger für die horizontale Ausbiegung nur um wenige Zehntelmillimeter hin und her, der für die vertikale gibt als Maximum für v , nach $8\frac{1}{2}$ Min. erreicht, $+30,7 \text{ mm}$ und geht dann zurück. Nach 11 Min., unmittelbar nach Beendigung des Spritzens, ist $h = +0,35 \text{ mm}$, $v = +28,2 \text{ mm}$; h geht nun plötzlich auf $+1,2 \text{ mm}$ hinauf, v aber sinkt rasch herab. Nach 28 Min. ist $h = +1,2 \text{ mm}$ und $v = +8,3 \text{ mm}$; die Säule ist unversehrt.

Mittlerweile waren die Heizkörbe gereinigt und frisch beschickt worden und wurde nun um 3 Uhr 20 Min. bei jenem Stand der Messinstrumente wieder mit dem Heizen begonnen; die folgenden Angaben für die Durchbiegungen beziehen sich also jetzt auf den ursprünglichen Zustand der Säule. $1\frac{1}{2}$ Min. nach Beginn des neuen Heizens steigt der Hebel der Wage auf und sofort setzen sich auch die Zeiger der Messinstrumente in Bewegung, der für die horizontale Bewegung nach der positiven Seite hin, der andere im entgegengesetzten Sinne. Letzterer zeigt nach 4 Minuten die Minimaldurchbiegung von $v = +5,8 \text{ mm}$. Nach 6 Min. hat die Mitte der Säule seitwärts 300°C erreicht, bei $h = +2,1 \text{ mm}$, $v = +12,8 \text{ mm}$; h wächst dann noch bis $+3,1 \text{ mm}$ (nach 8 Min. erreicht) und nimmt dann ab; v nimmt fortwährend zu. Nach $10\frac{1}{2}$ Min. ist die Temperatur jener Stelle 400° , und nach

11 Min. $h = +0,1 \text{ mm}$; $v = +34,2 \text{ mm}$; nach $13\frac{1}{2}$ Min. ist die Temperatur 500° und nach 14 Min. $h = -0,9 \text{ mm}$ und $v = +41,1 \text{ mm}$. Nach $16\frac{1}{4}$ Min. ist die Temperatur in der Mitte 600° und beginnt das Glühen sichtbar zu werden; nach $16\frac{1}{2}$ Min. ist $h = -1,4 \text{ mm}$; $v = +44,8 \text{ mm}$ und wird gleich darauf das Spritzen begonnen. Dadurch wächst die horizontale Ausbiegung noch weiter nach rechts hin und wird nach 20 Min. im Maximum $h = -4,9 \text{ mm}$, während die vertikale Durchbiegung nach $19\frac{1}{2}$ Min. die Maximalgrösse $v = +64,0 \text{ mm}$ erreicht, nachdem kurz vorher ein schwaches Krachen vernehmbar war. Unter fortwährendem Spritzen sinkt h auf $-0,05 \text{ mm}$ und v auf $+25,7 \text{ mm}$, nach 24 Min., herab und wird eine halbe Minute darauf das Spritzen beendet. Man liess nun die Säule noch weiter abkühlen, währenddem die Heizkörbe gereinigt und frisch beschickt wurden. Die Messapparate blieben unberührt und zeigten nach 68 Min. für $h = +0,6 \text{ mm}$ und für $v = +7,6 \text{ mm}$. An der Säule, zum Theil schon kalt, zum Theil noch handwarm, ist nirgends ein Risschen zu erkennen.

Nun wurde, um 4 Uhr 28 Minuten, aufs Neue mit dem Heizen begonnen; $1\frac{1}{2}$ Min. darnach steigt der Hebel der Wage und fangen die Zeiger an sich zu bewegen, der für die horizontale Ausbiegung nach der positiven Seite hin, der andere erst etwas retour, in Folge der Erwärmung der Drähte, dann aber fortwährend vorwärts im Sinne einer weiteren Durchbiegung nach unten. Nach $6\frac{1}{2}$ Min. sind in der Mitte der Säule, seitwärts, 300°C erreicht und nach 7 Min. $h = +1,4 \text{ mm}$; $v = +23,1 \text{ mm}$. Ersterer geht nun zurück; nach $10\frac{1}{2}$ Min. ist die Temperatur jener Stellen 400°C und nach 11 Min. $h = -4,5$ und $v = +36,5 \text{ mm}$. Die horizontale Ausbiegung nach rechts wird nun wieder kleiner, die vertikale nach unten aber wächst fort und fort. Nach 18 Min. ist $h = -2,7 \text{ mm}$ und $v = +42,4 \text{ mm}$ und gleich darauf erreicht die Mitte der Säule beiderseits 600°C . Nun wird die horizontale Ausbiegung nach rechts hin wieder etwas grösser; nach 19 Min. ist $h = -2,9 \text{ mm}$, $v = +43,8 \text{ mm}$ und glüht die Säule in der Mitte dunkelroth, ebenso ober- und unterhalb der beiden Wulste, von denen aus sich die Gluth mehr und mehr nach unten verbreitet. Nach 21 Min. glüht die untere (hintere) Hälfte gut, während die obere noch dunkel ist, erst nach 26 Min. verbreitet sich das Glühen mehr und mehr auch über die obere Hälfte. Die Ausbiegungen sind unterdessen nur wenig gewachsen, die horizontale bis $h = -3,9 \text{ mm}$, nach 27 Min., die vertikale erreicht sogar nach 24 Min. ein Maximum von $+45,7 \text{ mm}$ und geht dann, nach 27 Min., auf $+44,8 \text{ mm}$ zurück. Nun wird das Spritzen begonnen. Dadurch geht die seitliche Ausbiegung nach rechts anfangs langsamer, dann rascher zurück und kommt sogar nach

31 Min. auf die entgegengesetzte Seite, wo sie das Maximum von $+3,3\text{ mm}$ nach 34 Min. erreicht. Die vertikale Durchbiegung nach unten aber nimmt wieder sehr rasch zu und erreicht schon nach 32 Min. das Maximum von $94,5\text{ mm}$, von dem sie nun, anfangs langsamer, dann rascher und rascher zurückgeht. Dabei verhält sich die Wage viel ruhiger, als bei den bisher geprüften Säulen; es muss zwar immer etwas nachgepumpt werden, um die Belastung auf $25t$ zu halten, aber das kann ganz gut geschehen, während bei den früheren Versuchen hie und da mit dem Spritzen einige Secunden aufgehört werden musste, um mit dem Pumpen nachkommen zu können.

Nach circa 40 Min. wird bemerkt, dass der Wagen hinten an der Maschine aus dem Geleise gedrängt wird, nach links hin, wodurch die scheinbare rasche Verminderung der Ausbiegung nach rechts hin, die nach jenem Maximum eintritt, erklärlich, die weitere Messung der horizontalen Ausbiegung aber werthlos wird. Die vertikale Durchbiegung nimmt während des weiteren Spritzens fort und fort ab, bis nach 47 Min., wo dasselbe beendet wird, v nur noch $+4,6\text{ mm}$ ist und nach weiteren 15 Minuten, während welcher Zeit die Säule völlig erkaltet, auf $+1,35\text{ mm}$ zurückgeht. Die Säule hat während des ganzen Versuchs nicht einen Laut gegeben. Sie hat die Belastung von $25t$ trotz der Rothgluth über ihre ganze Länge und der darauf folgenden raschen Abkühlung durch Anspritzen und trotz der starken Durchbiegung von $94,5\text{ mm}$ in der Mitte, die sogar in der Nähe der beiden Wulste noch grösser war, bei auffallend ruhigem Verhalten der Wage getragen. Eine genaue Besichtigung der Säule zeigte nur eine Anzahl ganz feiner Risse in der Gegend, welche circa 90 cm . vom obern Ende entfernt ist (s. Fig. 6, Blatt II). — Ich schreibe dieses auffallend gute Verhalten der Säule hauptsächlich ihrer ringsum gleich dicken Wandstärke zu (s. Vers. Nr. 10).

5. Versuch, am 21. Juni 1884.

Gusseisensäule Nr. 4. (Fig. 7, Blatt II), mit sehr merklicher Kaltgussstelle in der obern Hälfte. Aeusserer Durchmesser des Querschnitts in der Mitte $14,5\text{—}14,9$, im Mittel $14,7\text{ cm}$; Wandstärke $2,40\text{—}2,65\text{ cm}$, im Mittel $2,52\text{ cm}$; folglich innerer Durchmesser: $9,65\text{ cm}$. Die Länge beträgt $400,5\text{ cm}$. Damit berechnet sich die zulässige Belastung auf rund $23t$. Mit dieser wird die Säule ganz ebenso wie die vorigen, mit dem Kapitell nach vorn liegend, eingespannt. Richtplatten und deren Stellschrauben ebenfalls so wie bei allen vorhergehenden Versuchen.

Um 2 Uhr 40 Min. wird mit dem Heizen begonnen; der Hebel der Wage beginnt schon wieder nach 1 Min. zu steigen. Beide Zeiger gehen gleich darauf nach der

positiven Seite hin. Nach 9 Min. ist die Temperatur in der Mitte der Säule seitwärts 300° , $h = +6,1\text{ mm}$; $v = +34,8\text{ mm}$. Eine halbe Minute darauf wird mit Spritzen begonnen. Dadurch vergrössern sich beide Durchbiegungen, die horizontale nur langsam bis $+8,2\text{ mm}$ (nach 15 Min. erreicht), die vertikale rasch bis $+36,6\text{ mm}$ nach 10 Min. Von jenen Maximalwerthen gehen beide Ausbiegungen dann retour. Nach 16 Min., wo das Spritzen beendet wird, ist $h = +7,7\text{ mm}$, $v = +30,2\text{ mm}$; beide gehen während des nun folgenden Erkaltens der Säule noch weiter zurück, bis $h = +3,05\text{ mm}$ und $v = +13,2\text{ mm}$ nach 35 Min.

Mittlerweile waren die Heizkörbe gereinigt und neu beschickt worden und mit dem letztgenannten Zeitpunkt, um 3 Uhr 15 Min., wurde bei unverändert gelassenem Stand der Messinstrumente das Heizen wieder begonnen. Die folgenden Durchbiegungen sind also wieder vom ursprünglichen Zustand der Säule aus gemessen. — Wieder begann nach $1\frac{3}{4}$ Min. der Hebel der Wage aufzusteigen; die Zeiger der Messapparate gehen anfangs, in Folge der Erwärmung der Drähte, etwas nach der negativen Seite hin, kehren aber bald um, nach 7 Min. hat die Mitte der Säule seitwärts wieder 300° C ; h ist $= +5,1\text{ mm}$, $v = +21,3\text{ mm}$. Nach $12\frac{1}{2}$ Min. ist die Temperatur jener Stelle 400° C und nach 13 Min. $h = +7,5\text{ mm}$, $v = +42,5\text{ mm}$; h wird nun kleiner. Nach $16\frac{1}{2}$ Min. erreicht die Temperatur 500° , und nach 17 Min. wird $h = +5,8\text{ mm}$, $v = +49,5\text{ mm}$; nach 19 Min. ist die Temperatur von 600° C seitwärts in der Mitte erreicht und $h = +5,7$, $v = +49,0\text{ mm}$ geworden und wird nun wieder mit dem Spritzen begonnen. Dadurch geht h anfangs etwas zurück, dann aber wieder vorwärts und erreicht nach $25\frac{1}{2}$ Min. den Maximalwerth von $+15,0\text{ mm}$, worauf der Wasserstrahl vorzugsweise auf die linke Seite gerichtet wird; dadurch nimmt h rasch ab, um dann bei $+5,0\text{ mm}$ fast constant zu bleiben. Die vertikale Durchbiegung nahm durch das Anspritzen der Säule anfangs rasch zu, erlangte aber schon nach 23 Min. den Maximalwerth von $+88,5\text{ mm}$, um dann noch rascher zurückzugehen. Nach 34 Min. wurde zu spritzen aufgehört und für $h = +4,95\text{ mm}$, für $v = +15,15\text{ mm}$ abgelesen.

In den hierauf folgenden 26 Min., während dessen h auf $+4,6\text{ mm}$ und v auf $+11,4\text{ mm}$ zurückgingen, wurden die Heizkörbe gereinigt und neu beschickt und die Säule genau besichtigt; sie zeigte sich unversehrt. Die Messapparate blieben unverändert, so dass die folgenden Durchbiegungen wieder vom Anfang an gerechnet sind.

Um 4 Uhr 15 Min. wurde wieder mit dem Heizen begonnen; nach $1\frac{1}{2}$ Min. steigt der Hebel der Wage und bewegen sich beide Zeiger, der für die vertikale Ausbiegung nach kleinen Schwankungen, nach der positiven

Seite hin. Nach $7\frac{1}{2}$ Min. ist in der Mitte der Säule seitwärts die Temperatur 300°C erreicht, trotz, namentlich auf der vordern Seite, schlecht brennenden Feuers. Nach und nach brennt das Feuer auch vorn besser und wird nach $11\frac{1}{2}$ Min. die Temperatur in der Mitte 400° , wobei h nach 12 Min. den Maximalwerth von $+13,2\text{ mm}$ erreicht, und v , das fortwährend zunimmt, den Werth von $+40,0\text{ mm}$. Das Feuer brennt nun sehr gleichmässig. Nach 16 Min. ist die Temperatur in der Mitte seitwärts 500° , $h = +11,45\text{ mm}$; $v = +48,2\text{ mm}$. Auf jener Grösse bleibt nun h längere Zeit fast unverändert; auch v nimmt nur noch bis $+50,95\text{ mm}$ zu, womit auch, nach 21 Min., die Temperatur von 600° in der Mitte erreicht wird. Bei langsam abnehmender vertikaler Durchbiegung, die später wieder etwas grösser wird, und bei gleichfalls langsam abnehmender horizontaler Ausbiegung beginnt das Glühen zuerst in der Mitte, verbreitet sich dann allmählich nach unten (hinten), hierauf auch nach der obern Hälfte und etwa 27 Min. nach Beginn des Heizens reicht die Gluth ziemlich gleichmässig über die ganze Länge der Säule. Nach 30 Min. wird mit dem Spritzen begonnen. Dadurch wachsen anfangs wieder beide Ausbiegungen: die horizontale nur langsam, mit einigen Schwankungen, um nach 37 Min. den Maximalwerth von $+19,8\text{ mm}$, die vertikale rascher, um schon nach $34\frac{1}{2}$ Min. den grössten Werth von $+95,5\text{ mm}$ zu erreichen. Dazwischen wurde ein schwacher Krach gehört. Bei langsam abnehmender horizontaler und rasch abnehmender vertikaler Durchbiegung wird das Spritzen fortgesetzt und endlich nach 50 Min. beendet, wo $h = +15,85\text{ mm}$ und $v = +5,5\text{ mm}$ geworden war. Beide gehen noch zurück, da aber an die Drähte gestossen wurde und dieselben abrissen, musste die weitere Messung der Durchbiegungen aufgegeben werden. Ungefähr um 42—43 Min. nach Beginn des Heizens wurde, während des Spritzens, mehrmals hintereinander leises Knattern und Knistern in der Säule gehört. Eine genaue Besichtigung der Säule ergab zwei feine Querrisse in der Entfernung von 108 und 126 cm vom obern Ende (s. Fig. 7, Blatt II), sonst war sie unversehrt und konnte auf gewöhnliche Weise mittelst Krahn und Walze aus dem Saale in den Hof transportirt werden. (s. Vers. Nr. 11.)

6. Versuch, am 23. Juni 1884.

Schmiedeisensäule Nr. 7 aus zwei I- und zwei Flach-eisen mittelst Schraubenbolzen zusammengesetzt, wie Fig. 9, Blatt II zeigt. Aus den dort angegebenen Dimensionen berechnet sich der Flächeninhalt des Querschnitts zu $96,3\text{ qcm}$ und dessen Trägheitsmoment bezüglich der längeren Axe $xx' = 1942\text{ biqcm}$. Da die Länge 400 cm beträgt, so berechnet sich die zulässige Belastung zu 45 t .

Mit dieser wurde die Säule genau auf die gleiche Weise eingespannt, wie alle vorhergehenden und zwar so, dass die grössere Querschnittsseite, also die Stege der I-Eisen horizontal, die Flach-eisen in vertikaler Ebene, zu beiden Seiten, lagen: Mit obiger Belastung biegt sich die Säule kalt um $h = -0,05\text{ mm}$ und $v = +0,5\text{ mm}$ aus.

Um 2 Uhr 34 Min. wird das Feuer angezündet. $1\frac{1}{2}$ Min. darnach beginnt der Hebel der Wage zu steigen und gleich darauf setzen sich auch die Zeiger der Messapparate in Bewegung: der für horizontale Ausbiegung zuerst etwas nach der negativen Seite hin, dann aber gleich nach der positiven; der für vertikale Durchbiegung gleich von Anfang an nach der letzteren.

Nach 7 Min. ist die Temperatur von 300°C in der Mitte seitwärts erreicht; $h = +4,9\text{ mm}$, $v = +41,6\text{ mm}$; $\frac{3}{4}$ Min. darnach beginnt das Spritzen, bei $h = +5,1\text{ mm}$ und $v = +48,5\text{ mm}$. Die Zeiger gehen, jedoch nur die nächste Viertelminute, noch vorwärts im früheren Sinne, bis $h = +5,25\text{ mm}$ und $v = +55,15\text{ mm}$, um dann, und zwar der für vertikale Durchbiegung sehr rasch, retour zu gehen. Nach 12 Min. ist $h = +3,9\text{ mm}$ und $v = +38,0\text{ mm}$ geworden und gleich darauf wird das Spritzen beendet. Das Feuer ist gelöscht. Die allmählich erkaltende Säule streckt sich mehr und mehr gerade, nach 31 Min. ist $h = +0,85$ und $v = +19,25\text{ mm}$ geworden. Um diese Zeit (3 Uhr 5 Min.) wird das Heizen wieder begonnen, nachdem die Heizkörbe frisch beschickt worden, die Messapparate aber unberührt geblieben waren, so dass die folgenden Angaben für die Durchbiegungen wieder vom Anfangszustande der Säule an zu rechnen sind.

$1\frac{1}{2}$ Min. nach Beginn des Feuermessens steigt der Hebel der Wage und setzen sich die Zeiger, nach kleinen Schwankungen nach der negativen Seite hin, nach der positiven in Bewegung. Anfangs, nach 4 Min., brennt das Feuer, besonders nach vorne zu, noch schlecht, aber schon nach weiteren 3 Min. ist es zum gleichmässigen Brennen gebracht und werden nach $8\frac{1}{2}$ Min. seitwärts in der Mitte 300°C erreicht; nach 9 Min. ist $h = +4,65\text{ mm}$, $v = +38,5\text{ mm}$. Nach 12 Min. 400°C und $h = +8,5\text{ mm}$, $v = +65,5\text{ mm}$; nach 14 Min. 500°C und $h = +10,95\text{ mm}$, $v = +83,5\text{ mm}$; an der Wage muss fortwährend stark nachgepumpt werden, in Folge der starken Durchbiegung nach unten. Nach 16 Min. ist $h = +16,7\text{ mm}$, $v = +110,0\text{ mm}$ geworden; die Wage ist auch durch raschestes Nach-pumpen nicht mehr ins Gleichgewicht zu bringen, die Säule biegt sich immer rascher und rascher nach unten durch, über 144 mm , so dass die Messapparate unbrauchbar werden. Ohne dass die Temperatur von 600° seitwärts in der Mitte erreicht worden wäre, wird nach $17\frac{1}{2}$ Min. mit dem Spritzen begonnen.

In Folge dessen werden schon nach $\frac{1}{2}$ Min. Schrauben-

bolzen mit starkem Krachen abgescheert und nach einer weitem halben Minute deren noch mehr; der Versuch muss nach einer Dauer von $18\frac{1}{2}$ Min. abgebrochen werden, die Belastung von $45t$ war nicht mehr zu erreichen.

Die Säule ist stark bleibend durchgebogen (vgl. Fig. 10 und 11 auf Bl. II); der Pfeil beträgt 55 mm . Auf der vordern Seite, rechts, sind die drei ersten Schraubenbolzen der obern Reihe abgescheert. Diese Wirkung ist hier, wie die ähnliche bei Versuch Nr. 3 leicht zu erklären. Der Wasserstrahl trifft hauptsächlich das oben liegende I- bzw. U-Eisen und zwar zuerst auf der vordern Seite, von welcher aus gespritzt wird. Dadurch ziehen sich jene Bestandtheile rasch zusammen, während die beiderseits liegenden Flacheisen, die noch wärmer bleiben, Widerstand leisten.

Die vorstehenden sechs Versuche zeigen, dass die vier Gusseisensäulen Nr. 5, 2, 3 und 4 sowohl in der Glühhitze, als auch bei darauf folgender plötzlicher Abkühlung durch Anspritzen vollständig ausgehalten haben. Sie bogen sich stark durch, bekamen Risse, hauptsächlich Querrisse, aber sie hörten nie auf, die ihnen auferlegte, ihrer praktischen Verwendung entsprechende Last zu tragen. — Die Schmiedeisensäulen dagegen bogen sich schon unterhalb der Glühhitze (die zweite, in Versuch Nr. 6, sogar unter 600°), besonders aber beim Anspritzen so stark durch, dass die Belastung nicht mehr auf die ursprüngliche Höhe zu bringen war. Sie würden, bei gleichbleibender Belastung, wie das ja in Wirklichkeit vorkommt, unaufhaltsam zusammengebogen worden und die auf ihnen ruhende Konstruktion zusammengestürzt sein.

Die Enden der Säulen oder besser die Richtplatten daselbst waren, wie schon früher gesagt, nicht ganz frei beweglich, namentlich in der Richtung, auf welche es bei den Versuchen am meisten ankam; in der vertikalen Ebene nach unten hin. Hier war der gegönnte Spielraum nur derjenige der Bolzen *b* (Fig. 4, Blatt II) in den Oesen *a*, 2 bis 5 mm ; aber der Biegung der Säulen nach abwärts stellte sich doch nur, nach Inanspruchnahme jenes Spielraums, der Widerstand entgegen, den die Schraubenbolzen *c* (Fig. 4) leisteten, mit denen die Oesen in den Richtplatten befestigt waren; der Durchmesser derselben war 18 mm ; ihre Ganghöhe 2 mm und die Zahl der Gänge, mit welcher sie im Gewinde steckten, etwa 4. Allerdings wurden diese Schraubenbolzen, wie die nachherige Besichtigung zeigte, fast bis zum Bruch oder bis zum Herausreißen aus dem Gewinde in Anspruch genommen; aber eine derartige Feststellung der Enden einer Säule darf wohl in der Praxis immer vorausgesetzt werden. Hinten, wo die Stellschrauben der Richtplatte ganz entfernt waren, hatte jener schwache Bolzen die ganze Wirkung der

Biegung aufzunehmen; vorn wurde er allerdings durch die untern Stellschrauben der Richtplatte unterstützt, aber erst, nachdem der Spielraum des Bolzens in der Oese längst überschritten war.

Vorstehende Bemerkungen sind deshalb von Wichtigkeit, weil die nachfolgenden Versuche zeigen werden, dass bei ganz freier Beweglichkeit der Enden in Kugellagern, ein Fall, der in der Praxis kaum vorkommen dürfte, auch die Gusseisensäulen, zumal wenn sie, wie es ja vorkommt, sehr excentrisch gegossen (Vers. 7), oder wenn sie schon beschädigt sind (Vers. 8), im Feuer und beim Anspritzen nicht mehr aushalten.*) Die Schmiedeisensäulen dann natürlich erst recht nicht.

Bei diesen nun folgenden Versuchen wurden zwar die Ausbiegungen in horizontaler Ebene wieder ebenso gemessen, wie bisher. Da sie aber an und für sich nur viel kleiner, als die vertikalen, und von geringem Einfluss auf das ganze Verhalten der Säule sind, so sehe ich, der Kürze halber, in der Regel von ihrer Wiedergabe ab.

7. Versuch, am 26. und 27. Juni 1884.

Gusseisen-Säule Nr. 1 (Fig. 12 auf Blatt II). Im mittleren Querschnitt ist der Durchmesser des äussersten, die Canelirungen begrenzenden Kreises $18,65\text{ cm}$; die Tiefe der Canelirungen beträgt $0,7\text{ cm}$, als mittlerer äusserer Durchmesser wurde daher $17,95\text{ cm}$ genommen. Die Wandstärke in jenem Querschnitt, vom Grund der Canelirungen aus gemessen, ist sehr ungleich, $1,15\text{ cm}$ auf der einen, $3,12\text{ cm}$ auf der entgegengesetzten Seite. Der innere Durchmesser beträgt also $12,98\text{ cm}$; die Länge ist 420 cm . Damit berechnet sich die zulässige Belastung auf $38t$. Mit dieser wird die Säule so eingespannt, dass der Fuss nach hinten liegt und die grössere Wandstärke unten. Die Richtplatten und ihre Stellschrauben wie in allen vorhergehenden Versuchen.

Bei $15t$ Belastung werden die Messapparate für die Ausbiegungen angebracht und auf Null gestellt. Bei $38t$ zeigt sich in horizontaler Richtung keine, in vertikaler eine Durchbiegung von $v = 0,45\text{ mm}$ nach unten. Um 1 Uhr 22 Min. wird das Feuern begonnen; $1\frac{1}{5}$ Min. darnach bewegt sich die Blase der Libelle am Wagehebel und gleich darauf setzen sich auch die Zeiger der Messapparate in Thätigkeit, nach der positiven Seite hin. Nach $6\frac{1}{2}$ Min. sind am Sockel seitwärts und $\frac{1}{4}$ Min. darauf auch in der Mitte seitwärts 300° C erreicht und nach 7 Min. die vertikale Durchbiegung $v = +16,5\text{ mm}$. In dem-

*) Aus diesem Grund muss der Vorschlag, der vor einiger Zeit gemacht wurde, Säulen an einer oder an beiden Seiten mit Kugellagern zu versehen, um die Last sicher in ihre Schwerpunktschse zu legen, verworfen werden.

selben Augenblick wird das Spritzen begonnen; dadurch wächst v bis zum Maximum von $+19,85\text{ mm}$, das nach $8\frac{1}{2}$ Min. erreicht ist, und geht dann langsam retour, nach $13\frac{1}{2}$ Min., wo das Feuer schon gelöscht ist und zu spritzen aufgehört wird, bis auf $+18,55\text{ mm}$. Während des allmählichen Erkaltes der Säule, das unten nur sehr langsam vor sich geht, sinkt nach 28 Min. v auf $+11,2\text{ mm}$ herab; die Säule ist unversehrt.

Es wird nun, bei unverändertem Stand der Messinstrumente, das Heizen wieder begonnen: um 1 Uhr 50 Min. Eine Minute darnach hebt sich der Hebel der Wage und geht nach einer kleinen Schwankung nach der negativen Seite der Zeiger für die vertikale Durchbiegung vorwärts, ein anfangs langsames, dann rascheres Anwachsen der Durchbiegung nach unten anzeigend. Nach $7\frac{1}{2}$ Min. hat die Säule in der Mitte unten 300° C ; nach 8 Min. ist $v = +14,8\text{ mm}$. Nach $11\frac{1}{2}$ Min. werden am Sockel seitwärts 400° gemessen und ist nach 12 Min. $v = +21,7\text{ mm}$ geworden. Nach 14 Min. ist die Temperatur unten in der Mitte 400° und $v = +24,5\text{ mm}$. Nach $21\frac{1}{2}$ Min. ist die Temperatur seitwärts am Sockel 500° und nach 22 Min. unten in der Mitte ebenso hoch und $v = +36,7\text{ mm}$. Nach $25\frac{1}{2}$ Min. ist der Sockel seitwärts 600° warm und nach 26 Min. die Mitte unten ebenfalls 600° und nahe am Glühen; am oberen Kranz des Sockels glüht die Säule. Nach $26\frac{1}{3}$ Min. wird zu spritzen begonnen. Der Zeiger für die vertikale Durchbiegung läuft sehr schnell, so dass nach $28\frac{1}{2}$ Min. schon $+123\text{ mm}$ Durchbiegung abgelesen werden; in diesem Augenblick wird der Steinwürfel an der vorderen Richtplatte unten unter starkem Krach zerdrückt und die vor ihm liegende Gusseisenplatte gebrochen. Bei trotzdem fortgesetzten Spritzen geht die Durchbiegung allmählich und unter einigen Schwankungen, je nachdem mehr oder weniger stark auf die Mitte oder gegen die Enden der Säule gespritzt wird, zurück, bis nach 49 Min. das Feuer gelöscht und $v = +32,1\text{ mm}$ geworden ist. Bei weiterem Erkalten geht die Durchbiegung langsam noch weiter retour und erreicht nach 72 Min., wo die Säule fast kalt geworden ist, $+26,75\text{ mm}$. Diese Durchbiegung ist jedoch nur scheinbar, sie rührt von der grossen Neigung der Richtplatten und der davor liegenden Steinwürfel, hauptsächlich aber von dem Bruch des vorderen Steinwürfels her. Die aus der Maschine genommene Säule zeigt sich fast vollständig gerade und völlig unversehrt. Die unteren Stellschrauben der vorderen Richtplatte hatten sich während der grossen Durchbiegung der Säule an ihre Gegenflächen angelegt: desshalb wurde der Steinwürfel auf der unteren Seite zerdrückt und die vor ihm liegende Gusseisenplatte zerbrochen. Die vordere Richtplatte, welche keine Stellschrauben hatte, war nur durch die obere Oese und dem Bolzen gehindert, der Neigung der

sich durchbiegenden Säule zu folgen; aber die Schraube, mit der die Oese in der Richtplatte befestigt war, war nicht stark genug; so wurde ab- und aus dem Gewinde herausgerissen. Da jene dann der Biegung der Säule folgen konnte, so blieb der Stein daselbst unversehrt. Zu bemerken ist noch, dass der Spielraum des Bolzens in der Oese der vorderen Richtplatte etwas grösser war, als bei der hinteren.

Am nächsten Tage wurde die Säule nochmals mit derselben Belastung wie vorhin eingespannt, nachdem zuvor der gebrochene Steinwürfel und die Gusseisenplatte an der vorderen Seite entfernt worden war, so dass das obere (vordere) Ende der Säule direkt an der Richtplatte anlag. Aus derselben wurden nun ebenfalls die Stellschrauben ganz entfernt; ebenso die Oese und der Bolzen, so dass sie nun vollständig frei beweglich war. Auf der hinteren Seite blieb alles beim Alten, indem die gebrochene Oese dortselbst durch die vordere ersetzt wurde.

Bei $20t$ Belastung wurden die Messapparate angebracht und auf Null gestellt; bei $38t$ zeigte sich eine horizontale Ausbiegung von $+0,15\text{ mm}$ und eine vertikale von $+0,45\text{ mm}$. Um 2 Uhr 57 Min. wurde das Feuer angezündet. Nach einer Minute beginnt der Wagehebel zu steigen; die Zeiger der Messapparate setzen sich in Bewegung, nach vorwärts. Nach 7 Min. ist der Sockel seitwärts 300° C warm und $v = +6,0\text{ mm}$ und gleich darauf wird jene Temperatur auch in der Mitte unten gemessen. Nach $12\frac{1}{2}$ Min. ist an letzterer Stelle 400° erreicht und nach 13 Min. $v = +19,0\text{ mm}$. Nach $16\frac{1}{2}$ Min. ist die Mitte der Säule unten 500° und v nach 17 Min. gleich $+24,4\text{ mm}$. Nach 24 Min. jene Stelle 600° und $v = +32,4\text{ mm}$. Unter langsamem, sogar durch kleine Rückwärtsbewegungen unterbrochenem Anwachsen der vertikalen Durchbiegung nach unten hin, kommt nach $25\frac{1}{2}$ Min. die Säule oberhalb des Sockels in's Glühen, nach 29 Min. auch oberhalb der Mitte. [Nach 30 Min. glüht der obere Kranz des Sockels selbst, nach 31 Min. die Mitte der Säule; $v = +33,6\text{ mm}$; eine halbe Minute darnach fängt die Libellenblase an, zurückzugehen; es muss nachgepumpt werden. Dabei steigt unter fortwährendem Nachpumpen v rascher auf $+36,6\text{ mm}$ nach 32 Min. und auf $+39,5\text{ mm}$ nach 33 Min.

Nun wird zu spritzen angefangen. Dabei nimmt die Durchbiegung nach unten ausserordentlich rasch zu, so dass mit dem Pumpen nicht mehr nachzukommen ist und von Zeit zu Zeit mit dem Spritzen eingehalten werden muss; zuletzt kann mit dem grossen Druck-Kolben der hydraulischen Presse, also mit etwa $20\text{--}25t$ nachgedrückt werden. Nach $37\frac{1}{2}$ Min. ist die enorme Durchbiegung von $207,0\text{ mm}$ erreicht und wird aufgehört zu spritzen.

Die Wagschale an der hydraulischen Presse ist ganz herabgesunken. Als man durch Nachpumpen die Belastung wieder herstellen wollte, bricht schon beim ersten Kolbenzug die Säule mit starkem Krach an der Stelle, wo oberhalb des Sockels das Glühen zuerst begonnen hatte (s. Fig. 12, Blatt II). Der Schraubenbolzen der Oese an der hinteren Richtplatte ist wiederum herausgerissen worden.

Die Vergleichung dieses vierten Theils des Versuches mit dem vorigen dritten zeigt, dass die Durchbiegung unmittelbar vor dem Spritzen dort nicht grösser war als hier, trotz der völlig freien Beweglichkeit des oberen Säulendes. Im Feuer, in starker Glühhitze trug die Säule auch in dieser ungünstigen Einspannweise ihre volle Belastung ruhig fort. Aber die durch das Anspritzen schnell anwachsende Durchbiegung, welcher auf der oberen (vorderen) Seite im vierten Theil des Versuchs gar kein Widerstand entgegentrat und wahrscheinlich auch bald, nach herausgezogenem Bolzen der Oese, auch nicht mehr an dem unteren Ende, musste schliesslich zum Bruche führen; dieser wurde übrigens zweifellos auch durch die ungemein ungleiche Wandstärke der Säule und ihre ungünstige Lage gegen das Feuer, so dass die geringere Wandstärke von nur 1,4 cm (an der Bruchstelle) auf die concave Seite zu liegen kam, mit veranlasst. Das Aussehen der Bruchstelle zeigt deutlich, dass der Bruch durch Zerdrücken des Materials auf der concaven Seite herbeigeführt worden war.

8. Versuch, am 28. Juni 1884.

Die Gusseisensäule Nr. 2, welche schon im 2. Versuche probirt worden war, nochmals, um sie nun mit der ganzen, aus der Berechnung folgenden Kraft von 50 t zu belasten. Beim Transporte in den Prüfungssaal brach die Säule in dem einen der Risse, den sie beim 2. Versuche erhalten hatte, in demjenigen, der 91 cm vom obern Ende entfernt war, völlig entzwei. Da die Bruchfläche fast vollständig eben und senkrecht zur Längsrichtung war, so konnten beide Stücke gut zusammen gepasst und die Säule wie ein Ganzes in die Maschine eingespannt werden. Statt des im vorigen Versuch zerdrückten Steinwürfels wurde der Säulenschaft (Fig. 3, Blatt I) vor die andere Richtplatte gestellt, deren Stellschrauben wieder, wie bei der hinteren, ganz entfernt wurden; ebenso die Oesen beider Richtplatten, so dass diese völlig frei beweglich waren.

Bei 20 t Belastung wurden die Messapparate für die Ausbiegungen angebracht und auf Null gestellt. Bei 50 t betrug die horizontale Ausbiegung + 0,6 mm, die vertikale + 0,3 mm. Um 8 Uhr 20 Min. wurde das Feuer angezündet; nach 1,5 Min. steigt der Hebel der Wage; die Zeiger der Messapparate gehen zuerst etwas, nur ganz

wenig, rückwärts und dann vorwärts, nach der positiven Seite hin. Nach 6,5 Min. ist unten in der Mitte die Temperatur 300° C erreicht und nach 7 Min. $v = + 13,8 mm$; nach 11 Min. werden am Kranz seitwärts 400° C gemessen und gleich darauf auch unten in der Mitte. Nach 12 Min. ist $v = + 27,5 mm$. Nach 18³/₄ Min. ist an letzterer Stelle die Temperatur 500° und $v = + 34,0 mm$; letzteres bleibt nun fast constant. Nach 22 Min. ist die Temperatur unten in der Mitte 600° geworden, $v = + 34,4 mm$. Nach einer weiteren halben Minute glüht die Säule oberhalb des grossen Wulstes, am kleinen Wulst und gleich darauf auch in der oberen Hälfte. Die vertikale Durchbiegung nimmt dabei sogar in Folge der gleichmässigen Verbreitung der Wärme auch nach der oben liegenden Seite hin etwas ab. Nach 26 Min. wo v nur mehr + 34,0 mm war, wird mit dem Spritzen begonnen. Dadurch nimmt die vertikale Durchbiegung wieder rasch zu; sie steigt nach 32 Min. auf 65,6 mm; eine halbe Minute darnach bricht die Säule durch, indem zwischen dem Sprung, in dem die Säule zusammengefügt worden war und dem vierten, 107 cm vom obern Ende entfernten, den sie schon im zweiten Versuch erhalten hatte, auf der oberen Seite ein Stück herausgesprengt wurde. Daraus folgt unzweifelhaft, dass der Bruch in erster Linie davon herrührt, dass die Säule schon ursprünglich nur aus zwei, wieder zusammengesetzten Stücken bestand. Trotzdem hatte auch sie die zulässige Belastung von 50 t in der Rothgluth ruhig getragen.

9. Versuch, am 30. Juni und 1. Juli 1884.

Gusseisensäule Nr. 2^a von ähnlicher Gestalt und Grösse wie Nr. 2 (Fig. 13, Blatt II). Aeusserer Durchmesser des Querschnitts in der Mitte 18,05 cm; Wandstärke daselbst wieder sehr ungleich, 1,45 cm auf der einen, 2,56 cm auf der entgegengesetzten Seite; innerer Durchmesser also 14,05 cm; Länge 363 cm. Damit berechnet sich die zulässige Belastung auf 41 t. Mit dieser wird die Säule so, dass sie mit dem Fusse nach hinten liegt und die grössere Wandstärke unten ist, in die Maschine eingespannt. Vor der hinteren Richtplatte liegt wie bisher immer der Steinwürfel; zwischen der vorderen und dem oberen Ende der Säule der Säulenschaft, wie im vorigen Versuch. Bei jener Richtplatte, die wie gewöhnlich an der Oese aufgehängt ist, sind die Stellschrauben, wie früher immer, ganz entfernt. Bei der vordern Richtplatte werden sie so gestellt, dass sie 2 mm Abstand von ihren Anlageflächen haben. Hieraus und aus den, den Figuren 1 und 3 auf Blatt I zu entnehmenden Dimensionen berechnet sich, dass bei einer Durchbiegung der Säule von 19 mm nach unten die unteren Stellschrauben anstehen müssen und von da an die freie Beweglichkeit des vordern Endes gehemmt ist.

Bei 20t Belastung werden die Messapparate für die Durchbiegung angebracht und auf Null gestellt; bei 41t beträgt die horizontale Durchbiegung $-0,2\text{ mm}$, die vertikale $-0,35\text{ mm}$. Um 2 Uhr 24 Min. wird das Feuer angezündet. Nach einer Minute beginnt der Hebel an der Wage zu steigen, während die Zeiger noch ruhig sind; gleich darauf beginnen aber auch diese ihre Bewegung und zwar zuerst ein wenig nach der negativen Seite hin, in Folge der Erwärmung der Drähte. Nach 6 Min. ist in der Mitte der Säule unten die Temperatur von 300°C erreicht, die Durchbiegung in vertikaler Ebene aber erst $0,3\text{ mm}$ nach unten; die horizontale jedoch schon $+1,4\text{ mm}$. Nach $8\frac{1}{2}$ Min. werden oberhalb des Wulstes 400°C gemessen und nach 9 Min. ist $h = +5,3\text{ mm}$, $v = +5,3\text{ mm}$. Nach $9\frac{1}{2}$ Min. ist die Mitte der Säule unten auch 400° warm. Nach 15 Min. hat die Temperatur oberhalb des Wulstes 500° und die horizontale Ausbiegung ein Maximum von $+9,5\text{ mm}$ erreicht; letztere geht nun zurück; die vertikale Durchbiegung ist $+13,65\text{ mm}$ und wächst fort. Schon nach einer weiteren halben Minute ist die Säule in der Mitte, unten, auch 500° warm, nach $19\frac{3}{4}$ Min. (vom Anfang an) 600° und nach 20 Min. $h = +8,7\text{ mm}$; $v = +14,3\text{ mm}$. Die Säule beginnt nun oberhalb des Wulstes zu glühen; nach 24 Min. glüht sie vom Wulst bis zur Mitte und in der oberen Hälfte, nach einer weiteren Minute auch in der Mitte. Nach 26 Min. ist $h = +8,0\text{ mm}$, $v = +16,85\text{ mm}$ und beginnt die Libellenblase der Wage retour zu gehen, es muss etwas nachgepumpt werden. Gleich darauf wird zu spritzen angefangen. Dadurch steigt h nur auf $+9,1\text{ mm}$ und geht dann zurück, während v rasch wächst und nach 32 Min. den Maximalwerth von $+73,7\text{ mm}$ erreicht. Dazwischen wurde, nach 29 Min., ein Krachen gehört. Bei fortgesetztem Spritzen geht die vertikale Durchbiegung mehr und mehr zurück; nach 45 Min. ist v nur mehr $+0,7\text{ mm}$ und die Säule biegt sich nun nach oben aus, eine Folge der raschen Abkühlung ihrer oberen Seite. Nach 48 Min. ist $v = -2,6\text{ mm}$ und wird zu spritzen aufgehört. Bei weiterer Abkühlung an der Luft wird die Durchbiegung nach oben noch etwas grösser: nach 52 Min. ist $v = -4,2\text{ mm}$; nach 82 Min. $v = -5,9\text{ mm}$. Bei Besichtigung der Säule zeigt sich keine Verletzung derselben.

Nun werden die Stellschrauben der vorderen Richtplatte fest angezogen; die der hinteren bleiben entfernt, aber der Bolzen derselben hat in der Oese fast keinen Spielraum. Um 5 Uhr 4 Min. wird das Heizen wieder begonnen, wornach am Hebel der Wage und an den Zeigern, welche zuvor auf Null eingestellt worden waren, ganz ähnliche Erscheinungen eintraten, wie bisher immer schon. Nach 7 Min. werden in der Mitte der Säule,

unten, 300°C gemessen; $h = +3,0\text{ mm}$, $v = +6,5\text{ mm}$. Nach 11 Min. ist an jener Stelle die Temperatur 400° , $h = 5,3\text{ mm}$, $v = +12,5$. Nach 15 Min ist $h = +6,3$, $v = +16,7\text{ mm}$ und gleich darauf oberhalb des Wulstes die Temperatur 500° , nach $15\frac{1}{2}$ Min. auch in der Mitte unten. Nach 19 Min. ist $h = +7,0\text{ mm}$, $v = +19,7\text{ mm}$ und gleich darauf oberhalb des Wulstes 600° , nach $19\frac{1}{2}$ Min. auch in der Mitte unten. Die Ausbiegungen bleiben nun fast constant, gehen sogar zeitweise etwas retour. Nach 20 Min. glüht die Säule zwischen dem Wulst und der Mitte und oberhalb der letzteren; nach 23 Min. auch in der Mitte und ist $h = +6,4\text{ mm}$, $v = +19,6\text{ mm}$; eine halbe Minute darauf wird begonnen zu spritzen. Dadurch steigt h nur sehr wenig, bis $+8,8\text{ mm}$ und geht dann zurück; v aber steigt rascher, bis es nach $28\frac{3}{4}$ Min. das Maximum von $+62,5\text{ mm}$ erreicht hat und dann gleichfalls abnimmt. Nach 36 Min. ist $h = +0,5\text{ mm}$, $v = +14,7\text{ mm}$, nach 42 Min. $h = -2,5\text{ mm}$, $v = -3,0\text{ mm}$; gleich darauf wird das Spritzen beendigt. Nach 51 Minuten ist bei fortschreitender Abkühlung $h = -1,0\text{ mm}$, $v = -5,8\text{ mm}$ geworden.

Die oberen Stellschrauben der vordern Richtplatte sind in Folge der Aufwärtsbiegung der Säule ganz festgeklemmt, die unteren sind locker. Der Schraubenbolzen der Oese der hinteren Richtplatte ist um circa 2 mm aus seiner Mutter herausgezogen worden, ohne zu brechen. Die Säule selbst ist unversehrt; sie bleibt eingespannt.

Dieselbe wird am nächsten Tage bei derselben Belastung einer neuen Probe unterworfen, wobei die Stellschrauben der vorderen Richtplatte ganz gelöst (zurückgeschraubt) werden, so dass sie freibeweglich ist, während die hintere Richtplatte ganz so bleibt wie vorhin. Die Messapparate waren seit gestern unberührt geblieben und zeigen am Anfang, um 11 Uhr 2 Min., wo das Heizen begonnen wird, den Stand: $h = +0,15\text{ mm}$, $v = -11,85\text{ mm}$. Nachdem die Anfangerscheinungen am Wagehebel und an den Zeigern ganz so eingetreten, wie bisher immer, wird nach 6 Min. die Temperatur 300° oberhalb des Wulstes erreicht und nach 7 Min. in der Mitte unten dieselbe Höhe; $h = +3,4$, $v = -3,2\text{ mm}$. Nach 12 Min. ist an letzterer Stelle die Temperatur 400° ; $h = +7,1\text{ mm}$, $v = +5,5\text{ mm}$; nach $17\frac{1}{2}$ Min. ist die Säule oberhalb des Wulstes 500° warm geworden, nach 19 Min. auch unten in der Mitte; $h = +9,8$, $v = +13,4\text{ mm}$; nach $20\frac{1}{2}$ Min. ist jene Stelle 600° warm, nach 21 Min. die Mitte der Säule unten und $h = +10,1\text{ mm}$; $v = +13,4\text{ mm}$. Beide Ausbiegungen wachsen jetzt nur noch sehr wenig; nach $11\frac{1}{2}$ Min. glüht die Säule oberhalb des Wulstes, nach 14 Min. auch in der oberen Hälfte; in der Mitte wird erst nach 15 Min. ein schwaches Glühen bemerkt. Gleich

darauf sinkt der Hebel der Wage ein wenig und muss nachgepumpt werden, was wahrscheinlich der Erwärmung der Schlaudern s_1, s_2, s_3, s_4 (Fig. 1, Blatt I), welche den Wagen mit der hydraulischen Presse verbinden, zuzuschreiben ist. Nach 27 Min. glüht die Säule der ganzen Länge nach bei $h = + 11,2 \text{ mm}$, $v = + 16,0 \text{ mm}$. Nun wird mit dem Spritzen begonnen; doch gibt die Spritze zu wenig Wasser und muss das Mundstück nachgesehen werden. Während dieser Zeit geht h langsam vorwärts, v aber ein wenig zurück und dann vorwärts; nach 32 Min. ist $h = + 12,6 \text{ mm}$; $v = + 17,8 \text{ mm}$ und nach $33\frac{1}{4}$ Min. wirkt die Spritze wieder wie früher. Nun wachsen beide Ausbiegungen, besonders rasch aber wieder die vertikale Durchbiegung nach unten, und es muss rasch nachgepumpt werden, um die Belastung auf ihrer Höhe zu erhalten, besonders wenn der Wasserstrahl gerade gegen die Mitte der Säule gerichtet ist. Nach $36\frac{1}{2}$ Min. wird ein Krach gehört; nach $38\frac{1}{2}$ Min. hat die vertikale Durchbiegung die Maximalgrösse von $+ 74,2 \text{ mm}$ erreicht und geht nun retour. Nach 52 Min. ist das Feuer vollständig gelöscht und wird zu spritzen aufgehört; dabei ist $h = + 5,35 \text{ mm}$ und $v = - 6,4 \text{ mm}$. Die Aufwärtsbiegung der Säule nimmt hierauf noch zu bis $- 9,3 \text{ mm}$, nach 58 Min., und wird dann bei fortschreitender Abkühlung kleiner; nach 3 Stunden und 53 Minuten ist $h = + 6,6 \text{ mm}$; $v = - 7,1 \text{ mm}$. Während dieser Zeit blieben die Säule, die anscheinend ganz unversehrt geblieben ist, und die Messinstrumente ganz unberührt, und alles so, wie vorher; nur die Belastung wurde auf $24t$ vermindert, entsprechend den $30t$, mit denen die Säule Nr. 2 im 2. Versuche belastet war.

Um 2 Uhr 57 Min. wird das Heizen wieder begonnen. Nach den gewöhnlichen Anfangerscheinungen wird in 8 Min. oberhalb des Wulstes die Temperatur von 300° C erreicht, wobei $h = + 11,1 \text{ mm}$ und $v = - 1,5 \text{ mm}$ ist; nach $9\frac{1}{4}$ Min. ist die Säule auch in der Mitte unten 300° warm, nach $13\frac{1}{2}$ Min. an jener Stelle und nach $14\frac{1}{2}$ Min. an dieser 400° ; nach 14 Min. ist $h = + 15,5$, $v = + 12,0 \text{ mm}$. Nach $18\frac{1}{4}$ Min. ist in der Mitte unten und oberhalb des Wulstes die Temperatur von 500° erreicht, nach 19 Min. $h = + 16,55 \text{ mm}$; $v = + 14,65 \text{ mm}$. Die horizontale Durchbiegung wächst jetzt nur noch langsam, bis $+ 17,6 \text{ mm}$, um dann abzunehmen, die vertikale wächst ebenfalls langsam aber stetig fort. Nach 24 Min. sind oberhalb des Wulstes 600° und nach 26 Min. auch unten in der Mitte, $h = + 15,3 \text{ mm}$, $v = + 16,05 \text{ mm}$. Nach $27\frac{1}{2}$ Min. glüht die Säule zwischen Wulst und Mitte, nach 28 Min. auch in der oberen Hälfte und nach $29\frac{1}{2}$ Min. endlich auch in der Mitte. Nach 30 Min. ist $h = + 14,8 \text{ mm}$ und $v = + 19,4 \text{ mm}$, und $\frac{1}{4}$ Min. darauf wird das Spritzen begonnen. Dadurch wächst h nur bis $18,9 \text{ mm}$, um dann

fortwährend abzunehmen; v aber nimmt sehr rasch und stark zu und erreicht nach 36 Min. den Maximalwerth von $+ 85,2 \text{ mm}$; dabei muss fortwährend rasch nachgepumpt werden, um die Belastung auf $24t$ zu erhalten. Bei nun rasch zurückgehender vertikaler Durchbiegung genügt auch langsames und immer langsames Nachpumpen; nach 51 Min. wird zu spritzen aufgehört und ist $h = + 7,7 \text{ mm}$ und $v = - 1,5 \text{ mm}$ geworden; nach 79 Min. $h = + 8,9 \text{ mm}$; $v = - 4,7 \text{ mm}$. An der Säule ist nirgends ein Riss oder sonstige Beschädigung bemerkbar.

Obwohl die Wandstärke dieser Säule wieder sehr ungleich war, wenn auch nicht so sehr, wie bei der Säule Nr. 1 (7. Versuch), und obwohl das obere Ende im letzten Theile des Versuchs wieder völlig frei beweglich war, obwohl ferner, wie in Fig. 13, Blatt II angedeutet, die Säule eine ziemlich grosse und schlechte Kaltgussstelle hatte, so widerstand sie der Glühhitze und der plötzlichen Abkühlung doch ganz gut. Dass dies nicht der verhältnissmässig geringen Belastung im 4. Theile des Versuches zugeschrieben werden darf, geht deutlich aus der Vergleichung dieses Theils mit dem dritten hervor, wo die Säule unter ganz gleicher Einspannweise mit $41t$ belastet war. Die vertikale Ausbiegung unmittelbar vor dem Spritzen in der Glühhitze war im 3. Theil $+ 16,0 \text{ cm}$, im vierten $+ 19,4 \text{ cm}$, also grösser; und die Maximalausbiegung während des Spritzens im 3. Theil $+ 74,2 \text{ mm}$, im vierten $+ 85,2 \text{ mm}$, ebenfalls grösser.

Eine Vergleichung des 3. Theils des Versuchs mit dem zweiten zeigt, wie gering im Grunde der Einfluss der Befestigung der Enden oder ihre freie Beweglichkeit auf die Maximaldurchbiegungen in der Vertikalebene unmittelbar vor und während des Spritzens sind. Im 2. Theil, wo das obere Säulenende ganz festgestellt war, betragen jene Durchbiegungen $+ 19,6$ und $+ 62,5 \text{ mm}$; im 3. Theil, wo jenes Säulenende frei beweglich war: $+ 16,0$ und $+ 74,2 \text{ mm}$. — Von weit grösserem Einfluss auf die Maximaldurchbiegung während des Spritzens, die grösste und gefährlichste, ist die Art und Weise des Spritzens selbst; das lehrt schon ein Blick auf den Gang des Zeigers am betr. Messapparat. Sowie der volle Wasserstrahl (von oben her) gegen die Mitte der Säule gerichtet wird, wächst die Durchbiegung nach unten rasch und hoch an; wenn der Strahl von der Mitte sich entfernt, schreitet der Zeiger langsam vor, oder kehrt bald ganz um; ein Anspritzen der Enden, der Stellen, wo doch in Wirklichkeit eigentlich der Feuerherd ist, hat weit geringeren Einfluss auf die Durchbiegung (vgl. Vers. Nr. 10 und 11).

10. Versuch, am 2. Juli 1884.

Die Gusseisensäule Nr. 3 (Fig. 6, Blatt II) nochmals

mit der gleichen Belastung von $25t$, wie im 4. Versuch, aber mit völlig freier Beweglichkeit der vorderen Richtplatte; die hintere aufgehängt, wie immer; vor jener liegt der Säulenfuss (Fig. 3, Blatt II), vor dieser der Steinwürfel.

Um 2 Uhr 52 Minuten wird das Heizen begonnen. Nach 1 Min. steigt der Hebel an der Wage auf und gleich darauf setzen sich die Zeiger der Messapparate in Bewegung; nach $5\frac{2}{3}$ Min. ist die Temperatur unten in der Mitte 300°C und nach 6 Min. die vertikale Durchbiegung bereits $+24,7\text{ mm}$. Nach $8\frac{1}{3}$ Min. ist jene Stelle 400° warm und nach 9 Min. $v = +38,5\text{ mm}$; nach $12\frac{1}{2}$ Min. hat die hintere Hälfte der Säule 500° und nach 13 Min. ist diese Temperatur auch in der Mitte, auf der unteren Seite erreicht; $v = +48,0\text{ mm}$. Nach 15 Min. an dieser letzteren Stelle 600° und $v = +51,2\text{ mm}$. Nach $16\frac{1}{2}$ Min. glüht der Wulst auf der unteren Seite, nach 17 Min. die Mitte der unteren Hälfte, nach 19 Min. die Mitte, nach 22 Min. die Säule der ganzen Länge nach; $h = +61,3\text{ mm}$. Gleich darauf wird zu spritzen begonnen. Dadurch wächst die vertikale Durchbiegung wieder rasch an; nach 24 Min. wird die Schraube an der Oese der hinteren Richtplatte abgerissen; nach 26 Min. ein Krach, nach $28\frac{1}{2}$ Min. hat die vertikale Durchbiegung die enorme Grösse von $103,2\text{ mm}$ erreicht und geht nun zurück. Nach 31 Min. wiederholtes Krachen. Nach 32 Minuten wird noch $h = +85,3\text{ mm}$ abgelesen; das Feuer ist fast gelöscht, die Libellenblase an der Wage ziemlich ruhig; dann übergibt der Werkmeister, im Begriffe, von dem Gerüste zu steigen, von welchem aus er bisher gespritzt hatte, das Mundstück des Schlauches einem der Heizer, der, unten stehend, den vollen Strahl gerade gegen eine Stelle etwas oberhalb der Mitte, welche vorhin stark geglüht hatte, richtet; da steigt der Hebel der Wage plötzlich auf und in dem Augenblick, wo der Druck mittelst des Lufthahns nachgelassen wird, bricht die Säule mit lautem Krach an jener Stelle durch.

Im Bruche zeigte sich ein etwa bohngrosser Gussfehler, der links seitwärts gelegen war, aber sicher nicht als die entscheidende Ursache des Bruches anzusehen ist. Dieser wurde ohne Zweifel durch die Concentration des Strahles gegen die Mitte, die mindestens eine halbe Minute dauerte, zunächst veranlasst; ohne diese wäre die Durchbiegung der Säule rasch kleiner geworden. Uebrigens ist auch zu bemerken, dass die Durchbiegung der Säule vor dem Beginne des Spritzens, $61,3\text{ mm}$, eine ungewöhnlich hohe, bisher bei Gusseisensäulen niemals beobachtete war; wahrscheinlich war die, durch Versuch 4 doch schon deformirte und vielleicht auch etwas geschädigte Säule nicht centrisch genug eingespannt. (Vgl. auch den nächsten Versuch.)

11. Versuch, am 3. Juli 1884.

Die Gusseisensäule Nr. 4 (Fig. 7, Blatt II) nochmals mit der gleichen Belastung von $23t$, wie im Versuch Nr. 5, und in derselben Weise in der Maschine liegend wie dort, jedoch mit völlig freier Beweglichkeit der vorderen Richtplatte, vor der der Säulenfuss (Fig. 3, Blatt I) liegt, die hintere aufgehängt wie immer. Die Säule ist namentlich in der Nähe der beiden Sprünge, die sie im 5. Versuche erhalten hatte (vgl. Fig. 7, Blatt II), sichtlich gebogen. Da die Säule ebenso wieder eingespannt wird, wie früher, so ist diese Biegung nach unten gerichtet.

Bei $10t$ Belastung werden die Messapparate angebracht und auf Null gestellt; bei $23t$ ist die horizontale Ausbiegung $+0,85\text{ mm}$, die vertikale $+2,0\text{ mm}$; um 11 Uhr 10 Minuten wird das Feuer angezündet; Anfangerscheinungen wie immer. Nach 5 Min. ist in der hintern Hälfte, nach $5\frac{1}{3}$ Min. unten in der Mitte 300°C erreicht, nach 6 Min. $h = +5,5\text{ mm}$, $v = +24,0\text{ mm}$; nach 8 Min. ist in der unteren Hälfte, nach $8\frac{1}{2}$ Min. in der Mitte auf der unteren Seite die Temperatur 400° , nach 9 Min. $h = +10,1\text{ mm}$, $v = 46,0\text{ mm}$. Die horizontale Durchbiegung nimmt nun langsam und mit wenigen Schwankungen ab, die vertikale aber immer zu. Nach 15 Min. ist in der untern Hälfte der Säule, nach $15\frac{1}{2}$ Min. auch in der Mitte, unten, die Temperatur 500° ; nach 16 Min. $h = +8,4\text{ mm}$, $v = +68,8\text{ mm}$; nach $17\frac{1}{2}$ Min. ist an jener ersten, nach $18\frac{1}{2}$ Min. an der zweiten Stelle die Temperatur von 600° erreicht; nach 19 Min. $h = +7,4\text{ mm}$, $v = +70,5\text{ mm}$; die untere Säulenhälfte beginnt zu glühen, nach 20 Min. auch die obere, nach $20\frac{1}{2}$ Min. fängt die Mitte an. Nach $21\frac{1}{2}$ Min. sinkt der Hebel der Wage etwas, wohl wegen Erwärmung der Schlaudern, es wird nachgepumpt; nach 22 Min. ist $h = +7,3\text{ mm}$ und $v = +75,2\text{ mm}$; das Spritzen beginnt. Bei demselben wird jetzt absichtlich nur Kopf und Fuss der Säule und das Feuer selbst getroffen, die Mitte aber möglichst vermieden. Nachdem, nach 25 Min., die grosse Durchbiegung von $+168,2\text{ mm}$ erreicht ist, muss mit dem Spritzen etwas eingehalten werden, um mit dem Pumpen nachkommen zu können und die Belastung auf $23t$ zu erhalten; in Folge dessen geht die Durchbiegung etwas zurück, nach 26 Min. auf $166,8\text{ mm}$, nach 27 Min. ist sie wieder etwas grösser geworden, $167,2\text{ mm}$. Nach $27\frac{1}{2}$ Min. wird wieder angefangen zu spritzen, wodurch die Durchbiegung wieder rascher wächst, auf $170,4\text{ mm}$ nach 29 Min. Von $29\frac{1}{2}$ Min. an wird nur noch auf das hintere Ende, auf den Fuss der Säule gespritzt; die Durchbiegung v geht ziemlich rasch retour; nach 35 Min. beträgt sie nur noch $+163,1\text{ mm}$; gleich darauf wird zu spritzen aufgehört; das Feuer ist gelöscht, aber die Säule noch sehr heiss. Bei der nun folgenden langsamen Abkühlung an der Luft geht die



Durchbiegung in der Vertikalebene mehr und mehr zurück; nach 57 Min. beträgt sie nur noch $+151,6\text{ mm}$. Nun wird die Säule nach und nach entlastet, und dabei stets die vertikale Durchbiegung abgelesen.

Bei 20 t	ist $v = +141,5\text{ mm}$
„ 15 t	„ „ „ $= +127,5\text{ mm}$
„ 10 t	„ „ „ $= +113,0\text{ mm}$
„ 5 t	„ „ „ $= +101,2\text{ mm}$
„ 0 t	„ „ „ $= +91,5\text{ mm}$

und nach 2 Stunden 55 Min., vom Anfang an gerechnet, ist v noch $+92,7\text{ mm}$.

Fig. 8, Blatt II zeigt die Gestalt der stark verbogenen aber nicht weiter verletzten Säule. Trotz freier Beweglichkeit des einen (oberen) Endes, trotz der enormen Ausbiegung von $170,4\text{ mm}$ und trotz der Beschädigungen, welche die Säule schon beim 5. Versuche erhalten hatte, konnte sie doch bei einiger Schonung während des Spritzens soweit intakt gehalten werden, dass sie die ihr auferlegte Last von $23t$ fortwährend trug.

Da die schmiedeisernen Säulen Nr. 7 und 8 (Vers. Nr. 6 und 3) aus Stücken zusammengesetzt und eckigen Querschnitts waren, so war es interessant, von diesem Material noch eine Säule aus einem Stück und von rundem Querschnitt zu prüfen. Desshalb wurde noch ein, eben zur Hand befindliches Schmiedeisenrohr, das der Länge nach geschweisst war, dem folgenden Versuch unterworfen.

12. Versuch, am 3. Juli 1884.

Schmiedeisensäule (-Rohr) Nr. 10 (Fig. 14 auf Blatt II). Aeusserer Durchmesser durchweg gleich $12,8\text{ cm}$. Wandstärke $0,6\text{ cm}$; folglich innerer Durchmesser $11,6\text{ cm}$; Länge $= 400,7\text{ cm}$. Damit berechnet sich die zulässige Belastung auf rund $10t$. Mit dieser wurde die Säule möglichst centrisch eingespannt. Die Stellschrauben der vorderen Richtplatte sind ganz festgestellt; die hintere Richtplatte ohne Stellschrauben ist aufgehängt wie gewöhnlich. Vor jener Richtplatte befindet sich, wie immer, der Säulenschaft, vor dieser der Steinwürfel. Bei $4t$ Belastung wurden die Messapparate angebracht und auf Null gestellt. Bei $10t$ ist die horizontale Ausbiegung $h = +0,05$, die vertikale $v = +1,15\text{ mm}$. Um 4 Uhr $35\frac{1}{2}$ Min. wird das Heizen begonnen. Bereits nach $\frac{3}{4}$ Min. beginnt der Hebel der Wage zu steigen und gleich darauf setzen sich auch die Zeiger der Messapparate in Bewegung und zwar sofort nach der positiven Seite hin. Nach $3\frac{1}{2}$ Min. ist in der hinteren Hälfte und nach 4 Min. in der Mitte unten die Temperatur von 300° C . erreicht; nach $4\frac{1}{2}$ Min. ist jene Stelle 400° , $h = +8,8\text{ mm}$, $v = +40,5\text{ mm}$ und nach weiteren 20 Secunden auch die Mitte unten 400° warm geworden. Nach $6\frac{1}{2}$ Min. ist die Temperatur der

hinteren Hälfte 500° ; $h = +11,7\text{ mm}$; $v = +77,0\text{ mm}$. Die horizontale Ausbiegung bleibt nun fast constant, v aber wächst rasch. Nach 8 Min. ist unten in der Mitte die Temperatur 600° und nach $8\frac{1}{2}$ Min. wird in der vorderen und hinteren Hälfte das Glühen gesehen; $v = +90,5\text{ mm}$. Nach $9\frac{1}{2}$ Min. ist die vertikale Durchbiegung auf $133,0\text{ mm}$ angewachsen und die Säule nicht mehr im Stande, die Last von $10t$ zu tragen; der Druck muss nachgelassen werden, das Feuer wird nicht mehr weiter geschürt, dadurch hält sich die nächste Minute die Durchbiegung auf jener Höhe von $133,0\text{ mm}$, aber die Belastung beträgt nicht $5t$ mehr. Als dieselbe wieder auf $5t$ gebracht wird, steigt die vertikale Durchbiegung nach $11\frac{1}{2}$ Min. auf $138,0\text{ mm}$; nach $12\frac{1}{2}$ Min. auf $141,3\text{ mm}$ bei schwach brennendem Feuer. Dabei ist die grösste Ausbiegung nicht in der Mitte der Säule selber, wo jene gemessen werden, sondern ohngefähr in der Mitte der hinteren Hälfte, wo das Glühen zuerst begonnen hat. Nach 14 Min. ist $v = +146,0\text{ mm}$, nach 15 Min. $146,5\text{ mm}$ und wird nun zu spritzen begonnen, wobei der Strahl nur an die Enden, nicht gegen die Mitte gerichtet wird; trotzdem läuft der Zeiger des Messapparates für die vertikale Durchbiegung so schnell, dass nicht mehr abzulesen ist; der Hebel der Wage fällt ganz herab und endlich die Säule zwischen den Richtplatten herunter.

Auch bei vollständig festgestelltem einen Ende und bei möglichster Schonung beim Spritzen konnte die Schmiedeisensäule ihre Last nicht tragen.

Fig. 15, Blatt II zeigt ihre Form nach dem Versuch.

Ich schliesse aus den vorstehenden 12 Versuchen, dass schmiedeiserne Säulen sich selbst unter der günstigsten Einspann- oder Befestigungsweise ihrer Enden theilweise schon bei nicht ganz erreichten 600° , 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. Ein förmlicher Bruch, oder auch nur ein Entstehen von Rissen findet dabei nicht statt, aber die Tragkraft der sich fort und fort durchbiegenden Säule sinkt weit unter diejenige herab, die ihr im kalten Zustande mit Sicherheit zugemuthet werden darf; die auf ihr 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 gegen 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 soweit durch, dass sie brechen. Aber jener ungünstigste Fall der Befestigung der Enden kommt praktisch kaum vor, und selbst wenn er befürchtet werden wollte, würde einige Vorsicht im Spritzen die Gefahr des Zusammenbrechens beseitigen. Zur vollständigen Beruhigung wäre es, meines Erachtens ausreichend, den Feuerwehren die Instruktion zu geben, die Gusseisensäulen selbst und besonders deren Mitten wo nur immer möglich nicht direkt und nicht längere Zeit an derselben Stelle anzuspritzen.

Aus den in die Figuren des Blattes II mit rothen Linien eingezeichneten Rissen, welche bei obigen Versuchen an den gusseisernen Säulen entstanden sind, lässt sich nicht schliessen, dass sie vorzugsweise an stark profilirten Stellen auftreten, an vorspringenden Ringen, Wulsten etc. Im Gegentheil liegen die Querrisse fast sämtlich an glatten Stellen. Sie entstehen eben hauptsächlich da, wo die Abkühlung am raschesten und stärksten vor sich geht. Wenn folglich auf Grund meiner Versuche das Bedenken gegen die Anwendung gusseiserner Säulen gehoben oder ein solches überhaupt nicht erhoben wird, so scheint es auch nicht nothwendig zu sein, besondere Vorschriften über die Gestalt derselben zu geben.

Zu ganz besonderer Vorsicht aber mahnt das Resultat obiger Versuche bei der Anwendung von Schmiedeisen zu Bauzwecken. Wenn schon Säulen, welche einem Längsdruck ausgesetzt sind, bei einseitiger Erwärmung sich so stark durchbiegen, dass sie ihre Tragkraft fast ganz verlieren, wie viel mehr noch muss dies bei horizontal liegenden Trägern, I-Trägern aus Walzeisen u. dgl., der Fall sein! Hier wären Versuche, die allerdings wieder viel Mittel und Arbeit erfordern würden, von grösster Bedeutung.

Die Beschaffung von Steinsäulen aus verschiedenen Materialien für die Versuche war nicht ohne Schwierigkeiten zu bewerkstelligen, wenn die Kosten nicht gar zu sehr vergrössert werden wollten. Desshalb musste ich mich in einigen Fällen mit Exemplaren begnügen, die bezüglich ihrer Dimensionen meinen Absichten nicht ganz entsprachen; doch waren sie immerhin geeignet, das

Verhalten der Materials an sich im Feuer und bei plötzlicher Abkühlung zu zeigen.

Die in den Figuren 1 bis 5 auf Blatt III*) abgebildeten Säulen:

Nr. 11 aus grauem, grobkörnigen Granit von Metten,
 Nr. 12 aus rothem Salzburger Marmor,
 Nr. 13 aus Tuff von Polling,
 Nr. 14 aus Pappenheimer Kalkstein (Dolomit),
 Nr. 15 aus Rosenheimer Granitmarmor (Numulithenkalk)
 verdanke ich Herrn Architekten Albert Schmidt dahier, der sich sehr für die Versuche interessirte und mir Material dazu fast unentgeltlich zur Verfügung stellte.

Die im Querschnitt viereckigen Säulen oder Pfeiler aus rothem Buntsandstein mit rein thonigem Bindemittel Nr. 16—18 (Fig. 6—8 auf Blatt III) sandte mir auf meine Bitte Herr Baumeister Buchner in Würzburg, der sich stets bereit zeigte, für wissenschaftliche Zwecke Opfer zu bringen, gleichfalls unentgeltlich. Sie wurden in dessen Bruche zu Gössenheim bei Gemünden am 20. Juli 1884 gebrochen.

Die vier Pfeiler:

Nr. 19 aus Grünsandstein von Abbach bei Kehlheim von hellgrüner Farbe, untere Lage (Fig. 9, Blatt III),
 Nr. 20 aus gelblichgrünem feinkörnigen Grünsandstein von ebendaher, obere Lage, beide mit rein kalkigem Bindemittel (Fig. 10, Blatt III),
 Nr. 21 aus Keuper-Sandstein von Bodenwöhr, weiss mit gelben Lagerstreifen, mit rein thonigem Bindemittel (Fig. 11, Blatt III),
 Nr. 22 aus getiegertem Keupersandstein, sog. Granitsandstein von Höttingen bei Ellingen mit hauptsächlich thonigem Bindemittel (Fig. 12, Blatt III)
 erhielt ich von den Herrn Architekten Zwiesler und Baumeister dahier gegen Ersatz der Selbstkosten.

Einen Pfeiler (Nr. 23) liess ich aus Beton im Mischungsverhältniss von 1 Theil Portland-Cement und 5 Theilen Isarsand von Kroher dahier herstellen. Er hatte einen Querschnitt von $30 \times 30 \text{ cm}$ und 300 cm Länge (Höhe) und wurde am 2. Juli 1884 angefertigt.

Zwei weitere Pfeiler (Nr. 24 und 25) endlich liess ich im Laboratorium am 7. und bezw. 16. Juli 1884 aufmauern, und zwar Nr. 24 aus 35 Stück einfach auf einander gelegter Trottoirplatten von geringer Qualität und dem Format $21,5 \times 22,0 \times 4,3 \text{ cm}$, zwischen welchen Mörtelbänder von $1\frac{1}{2} \text{ cm}$ Stärke aus Portland-Cement in Mischung mit 2 Theilen Sand sind, und Nr. 25 aus 52 Stück gut gebrannten Ziegelsteinen vom Format $29 \times 14 \times 6 \text{ cm}$ im einfachsten Verband, nämlich immer zwei Ziegel in jeder

*) In den sämtlichen Figuren dieses Blattes geben die schwarzen Linien die ursprüngliche Gestalt der Säulen und Pfeiler an, während die einskizzirten rothen Linien annähernd ihre Form nach Einwirkung des Feuers und der Belastung bezeichnen.

Schicht nebeneinander gelegt und in den aufeinander folgenden Schichten gekreuzt, mit Mörtel aus 1 Theil Portland-Cement und 2 Theilen Isarsand verbunden. Die Seitenflächen beider Pfeiler sind mit Mörtel aus Roman-Cement etwa $1\frac{1}{2}$ cm stark verkleidet und die Aussenflächen gut glatt gestrichen. Die Pfeiler waren 200 bzw. 201 cm hoch und hatten mit dem Verputz einen Querschnitt von $24,8 \times 25$ cm bzw. 32×32 cm. Um sie nach ihrer Herstellung transportieren und in die Maschine einspannen zu können, ohne ihren Zusammenhang zu gefährden, waren sie auf je zwei horizontal und nebeneinander auf dem Boden liegenden gehobelten Eisenplatten von 65 cm Länge, 12,5 cm Breite und 2,3 cm Dicke aufgemauert worden; auf ihre obere Endflächen wurden entsprechend je zwei ebensolche Platten gelegt und dieselben dann mittelst 4 an den Kanten der Pfeiler entlang laufenden 2,0 cm starken Rundstangen und zugehörigen Schraubenmuttern mit den untern Platten verbunden, so dass die Pfeiler fest zwischen den zwei Paar Eisenplatten eingespannt waren. Nach dem Einspannen in die Maschine wurden die Muttern und die Rundstangen entfernt, während die Eisenplatten an den Endflächen verblieben.

13. Versuch, am 5. Juli 1884.

Steinsäule Nr. 11 aus grauem, grobkörnigen Granit von Metten (Fig. 1, Blatt III). Höhe 183,0 cm, unterer Durchmesser 25,1 cm, mittlerer 25,1 cm, oberer 24,6 cm. Mit 30 t Belastung (ca. 60 kg pro qcm) wird sie so eingespannt, dass zwischen ihrem hintern Ende und der dortigen Richtplatte wieder der Steinwürfel, zwischen ihrem vordern Ende und der dortliegenden Richtplatte der Säulenfuß, Fig. 3, Blatt I sich befinden. Die Stellschrauben der vorderen Richtplatte sind festgestellt, die hintere Richtplatte ist ohne Stellschrauben aufgehängt wie gewöhnlich.

Die Messapparate werden bei dieser und den folgenden Versuchen mit Steinsäulen ebenso angebracht, wie bei den vorhergehenden, nur befinden sie sich jetzt immer auf der linken, statt vorhin auf der rechten Seite der Maschine. Die horizontalen oder vertikalen Durchbiegungen bezeichnen wir wieder mit +, wenn sie von den Instrumenten weg gerichtet sind, also jene nach rechts, diese nach unten hin stattfinden.

Bei 10 t Belastung werden die Apparate für die Durchbiegungen angebracht und auf Null eingestellt. Bei 30 t zeigt sich eine horizontale Ausbiegung von $h = -0,05$ mm, eine vertikale von $+0,05$ mm. Um 3 Uhr $8\frac{1}{2}$ Min. wird das Heizen begonnen. Nach $1\frac{1}{2}$ Min. ist $h = -0,5$ mm, $v = -1,2$ mm (in Folge der Erwärmung der Drähte); nach 2 Min. beginnt der Hebel an der Wage aufzusteigen und muss am Lufthahn regulirt werden. Nach $4\frac{1}{2}$ Min. schon

ist in der Mitte, seitwärts, die Temperatur 300° C; $h = -0,90$ mm, $v = -6,7$ mm. Nach 6 Min. ist ein Stoss vernehmbar, bei dem der Hebel der Wage plötzlich herabfällt, aber nur auf einen Augenblick, er kann sofort wieder gehoben werden. Nach 7 Min., wo seitwärts in der Mitte 400° erreicht sind, werden wieder zwei Stösse vernehmbar; nach 8 Min. ist $h = -2,75$ mm, $v = -8,5$ mm; ein neuer Stoss und in Folge dessen Abspringen von Stücken auf der untern Seite der Säule, in der Mitte und weiter hinten. Nach $9\frac{1}{2}$ Min. $h = -2,95$ mm, $v = -9,5$ mm; nach $11\frac{1}{2}$ Min. 500° seitwärts in der Mitte, $h = -3,05$ mm, $v = -8,7$ mm; nach $13\frac{1}{2}$ Min. $h = -2,75$, $v = -10,8$ mm; ein neuer Stoss, es fallen wieder Stücke ab und bildete sich fast der ganzen Länge der Säule nach ein Riss. Nach $15\frac{1}{2}$ Min. ist die Temperatur in der Mitte, seitwärts, 600° und $h = -2,75$ mm, $v = -10,0$ mm; die Libellenblase an der Wage ist ganz ruhig, geht eher etwas zurück in Folge Erwärmung der Schlaudern.

Nach $20\frac{1}{2}$ Min. glüht die Säule in der Mitte und nach $21\frac{1}{2}$ Min., wo $h = -4,05$ mm und $v = -16,0$ mm geworden ist, wird zu spritzen begonnen. In Folge dessen gehen beide Ausbiegungen anfangs rasch zurück; h nimmt dann ferner fortwährend aber sehr langsam ab, v sinkt auf $-7,5$ mm, nach $22\frac{1}{2}$ Min. herab, wird dann aber langsam wieder grösser. Nach 24 Min. wird ein Krach, nach $27\frac{1}{2}$ Min. ein zweiter gehört, die Wage verhält sich aber während der ganzen Zeit recht ruhig. Nach $36\frac{1}{2}$ Min. wird, bei $h = -0,95$, $v = -8,6$ mm, zu spritzen aufgehört; nach $41\frac{1}{2}$ Min. ist $h = -0,8$, $v = -9,2$ mm.

Die aus der Maschine genommene Säule zeigt sich auf ohngefähr $\frac{1}{6}$ ihrer Dicke herein ganz zerstört in Folge der im Feuer abgefallenen Stücke. Diese Stücke sind grösstentheils morsch, mit der Hand zerreiblich. Einige, wie auch Theile der Säule selbst, sind röthlich gefärbt. (Vgl. die in die Fig. 1, Blatt III roth eingezeichneten Linien, welche die Gestalt der Säule nach dem Versuche darstellen.)

14. Versuch, am 7. Juli 1884.

Steinsäule No. 12 (Fig. 2, Blatt III) aus rothem Salzburger Marmor, 129,8 cm hoch, unterer Durchmesser 19,8 cm, mittlerer 19,1 cm, oberer 16,5 cm; mit 14 t Belastung (50 kg pro qcm) ganz ebenso wie die vorige eingespannt.

Bei 3 t Belastung werden die Messapparate für die Durchbiegungen angebracht und auf Null gestellt; mit 14 t Belastung wird die horizontale Ausbiegung $h = -0,45$ mm, die vertikale $v = -0,05$ mm gemessen. Um 2 Uhr 56 Min. wird das Feuer angezündet. Nach 2 Min. ist $h = -0,08$ mm, $v = -1,55$ mm, eine Zunahme, die jedenfalls hauptsächlich von der Erwärmung der Drähte

herrührt; nach $2\frac{1}{2}$ Min. beginnt der Hebel an der Wage zu steigen, beide Ausbiegungen wachsen in negativem Sinne fort; nach $4\frac{1}{2}$ Min. ist die Temperatur in der Mitte der Säule seitwärts 300° C., $v = -12,5$ mm, und $\frac{1}{4}$ Min. darauf erfolgt der Bruch der Säule. Aussehen der gebrochenen Säule ungefähr so, wie die Skizze in rothen Linien in Fig. 2, Blatt III zeigt.

15. Versuch, am 8. Juli 1884.

Steinsäule Nr. 13 (Fig. 3, Blatt III) aus Tuff von Polling mit der Längsrichtung senkrecht zum Lager, aus drei Stücken zusammengesetzt, wie die Figur zeigt. Länge 215 cm; Durchmesser unten 35,0 cm, oben 34,5 cm, im Mittel 34,75 cm. Mit 7 t (etwas über 7 k pro qcm) ganz so wie die beiden vorigen in die Maschine eingespannt.

Um 3 Uhr 23 Minuten wird das Heizen begonnen. Nach 3 Min. ist die horizontale Ausbiegung $h = -0,25$ mm, die vertikale $v = -1,25$ mm und fängt der Hebel der Wage eben an zu steigen; doch bleibt nachher die Libellenblase ziemlich ruhig. Nach $7\frac{1}{2}$ Min. ist die Temperatur in der Mitte seitwärts 300° C und nach 8 Min. $v = -1,9$ mm. Die Libellenblase der Wage geht etwas retour, in Folge der Erwärmung der Schlaudern; auch die vertikale Durchbiegung geht zurück, über Null bis $+0,1$ mm (nach 11 Minuten), dann aber wieder gegen die negative Seite, nach oben hin. Nach 12 Min. ist die Temperatur in der Mitte seitwärts 400° ; $v = -0,55$ mm. Nach 14 Min. ist $v = -1,4$ mm und löst sich seitwärts, links, ein Stück ab; nach 15 Min., bei $v = -1,5$ mm, mehrere Stücke, eines seitwärts vorn, zwei hinten, links und rechts. Nach $16\frac{1}{2}$ Min. ($v = -1,6$ mm) fallen fortwährend Stücke ab und beginnt ein grosses Stück von seitwärts sich abzulösen. Die Wage gibt fortwährend nach, so dass nachgepumpt werden muss. Nach 18 Min. ist die Temperatur seitwärts in der Mitte 500° ; $v = -1,0$ mm. Nach 19 Min. ($v = -1,7$ mm) beginnt sich links seitwärts ein langes Stück abzulösen; oben, sowohl vorn als hinten an den äussersten Enden, ist die Säule noch kalt. Nach 27 Min. werden seitwärts in der Mitte 600° erreicht bei $v = -3,2$ mm; nach 28 Min. geht v auf $-2,5$ mm zurück; herunterhängende Stücke glühen und fallen nach und nach ab. Nach 29 Min. ($v = -3,1$ mm) fallen unten in der Mitte grosse Stücke ab. Die Libellenblase der Wage will fortwährend langsam retour gehen, so dass nachgepumpt werden muss.

Nach 33 Min. ist $v = -3,2$ mm und $\frac{1}{2}$ Min. darnach wird zu spritzen angefangen. In Folge dessen geht der Zeiger für die vertikale Durchbiegung rasch retour, während die Libellenblase der Wage steigt, jenes wegen der Abkühlung der Drähte, dieses wegen Abkühlung der Schlaudern. An der Säule selbst zeigen sich keinerlei Erschei-

nungen. Nach kleinen Schwankungen bleibt die vertikale Ausbiegung constant auf $-1,4$ mm stehen, während in Folge weiterer Abkühlung der Schlaudern durch das Anspritzen die Wage immer etwas anzieht und am Lufthahn regulirt werden muss. Nach 44 Min. wird zu spritzen aufgehört; v bleibt immer auf $-1,4$ mm stehen. Es werden nun noch folgende Ablesungen gemacht:

Nach 46 Min. $v = -1,4$ mm bei 7 t Belastung

„ 47	„	$v = -1,4$	„	„	8 t	„
„ 48	„	$v = -1,4$	„	„	9 t	„
„ 49	„	$v = -1,4$	„	„	10 t	„
„ 50	„	$v = -1,5$	„	„	11 t	„
„ 51	„	$v = -1,65$	„	„	12 t	„
„ 52	„	$v = -1,9$	„	„	13 t	„
„ 53	„	$v = -2,3$	„	„	14 t	„
„ 54	„	$v = -2,15$	„	„	7 t	„
„ 55	„	$v = -2,45$	„	„	14 t	„
„ 56	„	$v = -1,95$	„	„	7 t	„

Die hierauf aus der Maschine genommene Säule hat ein Aussehen, wie es die rothen Linien in Fig. 3, Blatt III zeigen.

16. Versuch, am 9. Juli 1884.

Steinsäule Nr. 14 (Fig. 4, Blatt III) aus Pappenheimer Kalkstein (Dolomit); Länge 82,8 cm; Durchmesser unten 16,1 cm, in der Mitte 15,5 cm, oben 15,0 cm; mit 7 t Belastung (37,5 kg pro qcm) eingespannt wie alle die vorigen Steinsäulen.

Bei 4 t Belastung werden die Messapparate für die Ausbiegungen angebracht und auf Null gestellt; bei 7 t ist die horizontale Ausbiegung $h = -0,05$ mm, die vertikale $v = -0,05$ mm. Um 10 Uhr 23 Min. wird das Heizen begonnen. Nach 3 Min. ist $h = -0,15$ mm, $v = -1,95$ mm und beginnt die Libellenblase der Wage etwas zu steigen; gleich darauf wird ihre Bewegung rascher, wie auch die (scheinbare) vertikale Ausbiegung rasch wächst, so dass schon nach 4 Min. $v = -6,4$ mm wird, während h noch $-0,15$ mm ist. Nach $4\frac{3}{4}$ Min. werden seitwärts in der Mitte 300° C. erreicht; die vertikale Durchbiegung wächst rasch weiter, nach oben; nach $5\frac{1}{2}$ Min. ist $v = -10,8$ mm; an der Säule wird ein Sprung bemerkt; bald darauf fallen, bei $v = -13,0$ mm, Stücke ab. Nach $6\frac{3}{4}$ Min. ist die Temperatur seitwärts in der Mitte 400° . Nach 8 Min. ist $h = -2,75$ mm; $v = -13,6$ mm und damit das Maximum beider Durchbiegungen erreicht; sie gehen jetzt mit einigen Schwankungen zurück. Nach $8\frac{1}{2}$ Min. ein Krach, ein Stoss, der auch an der Wage gespürt wird, unter Abspringen von Stücken. Nach $9\frac{1}{4}$ Min. ist die Temperatur seitwärts in der Mitte 500° , die Libellenblase der Wage wird ruhig. Nach 15 Min. ist die Temperatur an jener Stelle 600° geworden, $h = -2,55$ mm, $v =$

— 10,9 mm, die Libellenblase der Wage geht langsam und stetig aufwärts, wobei natürlich fortwährend am Lufthahn der hydraulischen Presse regulirt wird. Nach 17 Min. glüht die Säule unten, $h = -2,45 \text{ mm}$, $v = -10,5 \text{ mm}$. Die Libellenblase geht etwas zurück, dann wieder vorwärts, nach 20 Min., bei $h = -2,35 \text{ mm}$, $v = -9,3 \text{ mm}$, wird zu spritzen angefangen. In Folge dessen gehen beide Durchbiegungen rasch zurück; nach 21 Min. ist $h = +4,15 \text{ mm}$; $v = -3,5 \text{ mm}$; die horizontale Durchbiegung geht dann wieder etwas nach links hinüber, bis $h = +2,95 \text{ mm}$ und schwankt dann etwas, nur wenig, hin und her; die vertikale Ausbiegung geht fortwährend langsam retour; an der Säule selber zeigen sich keine bemerkenswerthen Erscheinungen. Nach 25 Min. ist das Feuer gelöscht und wird zu spritzen aufgehört; $h = +2,95 \text{ mm}$; $v = -2,65 \text{ mm}$. Hierauf werden folgende Messungen gemacht:

Nach 26 Min. $h = +2,35 \text{ mm}$; $v = -2,55 \text{ mm}$ bei 7 t Belastg
 „ 27 „ $h = +2,35$ „ $v = -2,55$ „ „ 8 t „
 „ 28 „ $h = +2,30$ „ $v = -2,50$ „ „ 9 t „
 „ 29 „ $h = +2,28$ „ $v = -2,50$ „ „ 10 t „
 „ 30 „ $h = +2,25$ „ $v = -2,45$ „ „ 11 t „
 „ 31 „ $h = +2,25$ „ $v = -2,45$ „ „ 12 t „
 „ 32 „ $h = +2,33$ „ $v = -2,43$ „ „ 13 t „
 „ 33 „ $h = +2,65$ „ $v = -2,40$ „ „ 14 t „
 „ 34 „ $h = +2,65$ „ $v = -2,35$ „ „ 14 t „

Die Wage gibt fortwährend nach.

Nach 35 Min. $h = +2,65 \text{ mm}$; $v = -2,35 \text{ mm}$ bei 14 t Belastg.
 Die Wage wird ruhig.

Nach 36 Min. $h = +2,63 \text{ mm}$; $v = -2,35 \text{ mm}$ bei 7 t Belastg.
 „ 37 „ $h = +2,75$ „ $v = -2,30$ „ „ 14 t „
 „ 38 „ $h = +2,71$ „ $v = -2,30$ „ „ 7 t „

Die Säule wird nun sorgfältig, mittelst des Krannes, aus der Maschine genommen, zerbricht aber doch dabei. (s. die Skizze in rothen Linien in Fig. 4, Blatt III.)

17. Versuch, am 9. Juli 1884.

Steinsäule Nr. 15 (Fig. 5, Blatt III) aus sog. Rosenheimer Granitmarmor (Numulithenkalk); Länge 90,5 cm, oberer Durchmesser 6,85 cm, unterer 7,9 cm; im Mittel 7,4 cm; wird mit 3 t Belastung (70 kg pro qcm) eingespannt und zwar so, dass die Enden direkt an den Richtplatten anliegen. Von diesen ist die vordere wieder mittelst der vier Stellschrauben festgestellt, die hintere, ohne Stellschrauben, aufgehängt wie bisher.

Bei 0,5 t Belastung werden die Messapparate für die Ausbiegungen angebracht und auf Null gestellt. Bei 3 t ist $h = -0,15 \text{ mm}$, $v = +0,05 \text{ mm}$. Um 3 Uhr 32 $\frac{1}{2}$ Min. wird das Feuer angezündet. Nach 1 $\frac{1}{2}$ Min. fängt der Hebel der Wage an zu steigen und ist $h = -0,25 \text{ mm}$; $v = -0,55 \text{ mm}$; nach 3 Min. ist seitwärts in der Mitte

die Temperatur 300°; nach 3 $\frac{1}{2}$ Min. $h = -1,05 \text{ mm}$, $v = -3,85 \text{ mm}$; es blättern sich Stücke ab. Nach 4 $\frac{1}{2}$ Min. fallen unter Krachen und Stossen weitere Stücke ab. Nach 5 Min. ist an jener Stelle die Temperatur 400°; nach 5 $\frac{1}{2}$ Min. $h = -1,15 \text{ mm}$, $v = -5,05 \text{ mm}$ und fallen unter wiederholtem Krachen und Stossen weitere Stücke von der Säule herunter. Nach 6 $\frac{1}{2}$ Min, bei $h = -1,65$, $v = -4,65 \text{ mm}$, ein starker Stoss und Abfallen von Stücken. Nach 9 Min. ist die Temperatur von 600° seitwärts in der Mitte erreicht, nach 11 $\frac{1}{2}$ Min. glüht die Säule unten in der Mitte und ist $h = -0,95$ und $v = -4,75 \text{ mm}$. Nach 12 $\frac{1}{2}$ Min. wird bei $h = -1,15$, $v = -4,55 \text{ mm}$ das Spritzen begonnen. Dadurch geht die Wage etwas zurück, h geht langsam retour, bis +1,45, und kehrt dann wieder um, v aber fällt rasch auf -1,05 und dann langsam noch weiter. Nach 14 $\frac{1}{2}$ Min. ist $h = +1,25 \text{ mm}$, $v = -0,30 \text{ mm}$; gleich darauf ist das Feuer gelöscht und wird zu spritzen aufgehört. Darauf werden noch folgende Messungen gemacht.

Nach 18 $\frac{1}{2}$ Min. $h = +1,05 \text{ mm}$; $v = +0,35 \text{ mm}$ bei 3 t Belastg.
 „ 20 $\frac{1}{2}$ „ $h = +1,05$ „ $v = +0,35$ „ „ 4 t „
 „ 22 $\frac{1}{2}$ „ $h = +1,05$ „ $v = +0,50$ „ „ 5 t „
 „ 24 $\frac{1}{2}$ „ $h = +1,05$ „ $v = +0,52$ „ „ 6 t „
 „ 25 $\frac{1}{2}$ „ $h = +0,95$ „ $v = +0,52$ „ „ 3 t „
 „ 26 $\frac{1}{2}$ „ $h = +0,98$ „ $v = +0,52$ „ „ 6 t „
 „ 27 $\frac{1}{2}$ „ $h = +0,95$ „ $v = +0,52$ „ „ 3 t „

Das Aussehen der hierauf aus der Maschine genommenen Säule zeigen die rothen Linien in Fig. 5, Blatt III.

18. Versuch, am 5. August 1884.

Steinsäule (-Pfeiler) Nr. 16 (Fig. 6, Blatt III) aus rothem Buntsandstein von Gössenheim mit der Längsrichtung parallel zu Lager, und dieses horizontal liegend, noch bruchfeucht. Mittlerer Querschnitt 21,5 × 21,5 cm; Länge 249,5 cm. Der Pfeiler wird, mit 21 t (45 kg pro qcm) belastet, so in die Maschine eingespannt, dass er wieder, wie die vorige Säule, mit den Endflächen direct an den Richtplatten liegt, während zwei Seitenflächen horizontal, die andern vertikal sind. Die Richtplatten ebenso wie bei allen vorhergehenden Versuchen mit Steinsäulen.

Bei circa 0,3 t Belastung werden die Messapparate für die Ausbiegungen angebracht und auf Null gestellt. Bei 10 t Belastung ist $h = -0,10 \text{ mm}$, $v = 0,0 \text{ mm}$; bei 21 t $h = -0,85 \text{ mm}$, $v = -0,75 \text{ mm}$. Um 8 Uhr 36 Min. wird zu heizen angefangen. Nach 2 Min. beginnt der Hebel der Wage zu steigen, $h = -2,15 \text{ mm}$, $v = -2,2 \text{ mm}$; nach 4 Min. steigt der Wagehebel stärker auf, $h = -2,85 \text{ mm}$, $v = -3,2 \text{ mm}$. Nach 7 Min. starker Knall, der Druck lässt nach, es muss nachgepumpt werden; $h = -3,75 \text{ mm}$, $v = -4,6 \text{ mm}$. Nach 8 Min. zwei weit Knalle, als vorhin,

Sprünge längs der Schichtung; nach $9\frac{1}{2}$ Min. ist die Temperatur seitwärts in der Mitte 300°C ; nach 10 Min. $h = -5,05\text{ mm}$, $v = -5,4\text{ mm}$ und wieder eine starke Detonation; solche Detonationen wiederholen sich nun von halber zu halber Minute und bei jeder geht die Wage etwas retour, so dass nachgepumpt werden muss. Nach 14 Min. ist $h = -8,45\text{ mm}$, $v = -6,5\text{ mm}$; es wird nun das Ablesen der Ausbiegungen unterlassen, da zu befürchten ist, dass bei den heftigen Detonationen, die sich fort und fort wiederholen, Stücke abspringen und den Beobachter beschädigen könnten.

Nach 16 Min. ist seitwärts in der Mitte die Temperatur von 400° erreicht. Nach $16\frac{1}{2}$ Min. wieder ein besonders starker Knall, wobei die Säule scheinbar in die Höhe springt und in der Mitte grosse Stücke abfallen. Diese starken Detonationen wiederholen sich nun von Minute zu Minute; nach 23 Min. zwei sehr starke Detonationen unmittelbar nacheinander, bei denen die Wage stark herabsinkt; gleich darauf wieder ein Knall, bei dem die Wage keine Bewegung macht, dann, eine halbe Minute nachher, eine sehr starke Detonation, wobei die Säule förmlich in die Höhe geworfen wird. Nach 24 Min. ist seitwärts in der Mitte die Temperatur 500° erreicht unter fortdauernden Detonationen. Das Feuer brennt nicht mehr gut, da die herabfallenden Steinstücke den Rost verlegen. Nach 33 Min. ein ausserordentlich heftiger Knall, das Feuer verlischt fast, die Belastung sinkt um circa 10 t , wird aber wieder durch Nachpumpen gehoben. Nach $36\frac{1}{2}$ Min. Wiederholung derselben Erscheinungen. Nach 42 Min. sind seitwärts in der Mitte 600° erreicht und nach 43 Min. wird begonnen zu spritzen. Dadurch geht die Wage sofort retour; eine Viertelminute später ein starker Schlag, der Hebel der Wage fällt ganz herab und beim Nachpumpen erfolgt nach circa $43\frac{2}{3}$ Min. der Bruch bei etwa $10\text{--}12\text{ t}$ Belastung. Die Bruchstücke sind mit rothen Linien in Fig. 6, Blatt III skizzirt.

Die vorstehenden Versuche mit Steinsäulen zeigen, dass die Durchbiegungen bei denselben so klein sind, dass sie von den anzubringenden Correktionen wegen Erwärmung der Drähte (vgl. S. 4) zum Theil ganz, zum Theil fast ganz überdeckt werden. Desshalb wurden bei den folgenden Versuchen mit Säulen aus Stein diese Messungen ganz unterlassen. Diese neuen Versuche, welche verschiedener Ursachen halber viel später angestellt wurden, unterscheiden sich auch noch dadurch von den früheren, dass das Feuer nicht mehr ganz frei im Saale brannte, sondern unter einem Rauchfang, der die Gestalt einer halbkreis-cylindrischen Kuppel hatte, deren Wölbung gerade bis unter die Stelle C des Galgens (Fig. 6, Bl. I) reichte. Aus dieser Kuppel führten zwei weite und sich

allmählich verjüngende Blechrohre den Rauch zu den Fenstern des oberen Stockwerkes des Saales hinaus. An den Langseiten und an den Stirnseiten reichten von der Kuppel noch leicht auf- und abzuschlagende Blechthüren his ohngefähr zum obern Rand der Heizkörbe herab. Um beim Einspannen der Säulen mit dem Krahn beikommen zu können, stand der ganze Rauchfang auf Rädern und wurde auf diesen entlang der Maschine über das hintere Ende derselben hinausgeschoben, nachdem die Rauchrohre abgenommen worden waren. Durch den Rauchfang wurde der Rauch und die Hitze im Saale bedeutend verringert. Auf den sonstigen Verlauf der Versuche hatte er natürlich keinen Einfluss.

19. Versuch, am 14. Januar 1885.

Pfeiler aus Beton, Nr. 23, $30 \times 30\text{ cm}$ im Querschnitt, 300 cm lang, aus 1 Theil Portland-Cement und 5 Theilen grobem Isarsand am 2. Juli 1884 hergestellt; von da bis zum 17. Dez. 1884 theils im Freien, theils unter einem Schutzdach gelegen und dann am letzteren Tage in den geheizten Saal des Laboratoriums verbracht. Er wurde mit 6 t , also $6,7\text{ kg pro qcm}$, belastet und so eingespannt, dass zwei Seitenflächen horizontal, die andere vertikal waren und die Endflächen direkt an den Richtplatten anlagen. Von diesen war die hintere ganz frei beweglich, die Stellschrauben sowohl als der Aufhängebolzen waren entfernt worden; die vordere war mittelst ihrer vier Stellschrauben festgestellt.

Um 10 Uhr 33 Min. wurde mit dem Heizen begonnen; schon 1 Min. darnach fängt der Hebel an der Wage an zu steigen und muss am Lufthahn der Druck regulirt werden. Nach 3 Min. sinkt er wieder etwas, wegen Erwärmung der Zugstangen s (Fig. 1, Blatt I) durch das Feuer; aber schon nach 5 Min. steigt der Druck wieder. Während dieser ganzen Zeit brennt das Feuer schlecht, weil zwischen dem Pfeiler und den Wänden der Heizkörbe zu wenig Zwischenraum ist. Aber nach und nach wird es, zuerst auf der rechten, dann auch auf der linken Seite besser zum Brennen gebracht, wobei der Wagebalken immer etwas aufzusteigen sucht und daher der Druck regulirt werden muss. Nach 30 Min. ist seitwärts in der Mitte die Temperatur von 300° erreicht.

Nach 36 Min. sind grosse Wasserflecken auf der oberen Fläche des Pfeilers bemerklich, wie solche auch schon viel früher an den Seitenflächen sichtbar waren. Das Feuer brennt nun recht gut und gleichmässig auf beiden Seiten. Nach 52 Min. ist die Temperatur seitwärts in der Mitte 400°C ; auf der oberen Fläche zeigt sich der ganzen Länge nach viel Wasser angesammelt; auch an den Seitenflächen sind da, wo das Feuer nicht recht hinkommt, feuchte Flecken. Nach 58 Min. verdampft das Wasser an der oberen Fläche des Pfeilers

stark, die Wage verhält sich ziemlich ruhig; es muss eher immer etwas nachgepumpt werden in Folge der Ausdehnung der Zugstangen s. Nach 67 Min. steht immer noch Wasser auf der oberen Fläche. Nach 73 Min. glüht die untere Seite des Pfeilers, besonders an den beiden untern Kanten, während die obere Fläche immer noch feucht ist. Nach 74 Min. sind seitwärts in der Mitte 500°C erreicht. Nach 78 Min. ist immer noch etwas Feuchtigkeit auf der obern Fläche, dieselbe ist aber nach 91 Min. fast trocken geworden. Die Wage bleibt, wie immer früher, recht ruhig; nach 101 Min. ist seitwärts in der Mitte die Temperatur von 600° erreicht. Nach 104 Min. wird zu spritzen angefangen. Nach 112 Min. ist das Feuer gänzlich gelöscht, aber die Säule noch sehr warm. Es wird aufgehört zu spritzen.

Während dieser ganzen Zeit, sowohl während des Feuerns als auch beim Spritzen, wurden ausser den beschriebenen keinerlei Erscheinungen an der Säule bemerkt. Sie blieb vollständig unversehrt. 2 Stunden und 39 Min. nach Beendigung des Spritzens war die Säule noch sehr warm, so dass kaum die Handfläche darauf gedrückt werden konnte; sie wurde nun allmählich stärker belastet, bis ihr Bruch bei $58t$ oder 64 kg pro qcm mit starkem Schlag unter Bildung normaler Bruchstücke (Keile an beiden Enden, Mittelstück ganz) erfolgte.

20. Versuch, am 15. Januar 1885.

Pfeiler aus Buntsandstein von Gössenheim, Nr. 17 (Fig. 7, Blatt III), $21 \times 21\text{ cm}$ im Querschnitt, 251 cm lang, mit den Lagerflächen parallel zur Längsrichtung; am 20. Juli 1884 gebrochen und von da an bis 17. Dezember 1884 theils ganz im Freien, theils unter einem Schutzdach gelegen; am letzteren Tage in den geheizten Saal des Laboratoriums verbracht; wird mit der gleichen Belastung von $21t$ und ganz in derselben Weise eingespannt, wie der Pfeiler Nr. 16 im 18. Versuch, oder wie der Betonpfeiler im vorigen; auch die Lagerflächen waren wieder horizontal.

Um 11 Uhr 10 Min. wurde mit dem Heizen begonnen. Nach $4\frac{1}{2}$ Min. fängt der Hebel der Wage an zu steigen. Nach 12 Min. ist seitwärts in der Mitte die Temperatur 300°C erreicht. Nach 13 Min. wird ein dumpfer Knall gehört, der Hebel der Wage fällt herab, bald darauf ein zweiter solcher Knall; nach 14 Min. ein dritter; auf der vorderen Hälfte der oberen Fläche entsteht ein Quersprung, von der untern Seite fallen Stücke ab, namentlich in der vorderen Hälfte. Nach 15 Min. ist die Temperatur seitwärts in der Mitte 400°C . Das Feuer brennt nicht gut, weil die herabgefallenen Stücke den Rost verlegen. Nach 23 Min. ein starker Schlag, unmittelbar darauf ein zweiter, der Hebel der Wage fällt herab; grosse Stücke

fallen auch von der Mitte der untern Fläche ab; nach $25\frac{3}{4}$ Min. ein schwächerer Schlag; nach $26\frac{1}{4}$ Min. wieder einer, bei dem der Wagehebel wieder fällt. Nach $26\frac{1}{2}$ Min. ist die Temperatur seitwärts in der Mitte 500°C .

Nach 31 Min. brennt das Feuer nun sehr schön und stark; die Libelle der Wage ist ziemlich ruhig, der Hebel sucht langsam etwas aufzusteigen. Nach $35\frac{3}{4}$ Min. ein starker Schlag, ohne dass die Wage eine Bewegung macht. Nach 36 Min. sind seitwärts in der Mitte 600° erreicht. Nach $36\frac{3}{4}$ Min. erfolgt noch ein kleiner, nach 37 Min. ein stärkerer Schlag; die Wagschale fällt herab. Nach 38 Min. wieder ein Schlag, Sinken der Wagschale und Abfallen von grösseren Stücken. Nach 39 Min. wird das Spritzen begonnen; die Wage sinkt. Nach 45 Min. wird zu spritzen aufgehört. Das Aussehen des Pfeilers, der die Belastung von $21t$ fortwährend getragen, zeigen die in Fig. 7, Blatt III einskizzirten rothen Linien. Sämmtliche, bei diesem Versuche hörbar gewordenen Schläge etc. waren bei weitem nicht so heftig, wie bei dem gleichen, aber noch bruchfeuchten Pfeiler Nr. 16 im 18. Versuch.

21. Versuch, am 15. Januar 1885.

Pfeiler aus Buntsandstein von Gössenheim Nr. 18 (Fig. 8, Blatt III); $21 \times 21\text{ cm}$ Querschnitt, 249 cm lang; am gleichen Tage gebrochen und dann ebenso behandelt wie Nr. 17 (s. den vorigen Versuch), auch mit der gleichen Belastung und auf dieselbe Weise eingespannt, wie dieser, nur wurden die Lagerflächen (Schichten) vertikal gestellt.

Um 3 Uhr 19 Min. begann das Heizen. Nach $3\frac{1}{4}$ Min. fing der Hebel der Wage an zu steigen; nach $10\frac{1}{2}$ Min. wurde seitwärts in der Mitte die Temperatur von 300°C erreicht. Nach $10\frac{3}{4}$ Min. ein Krach; seitwärts, rechts löst sich in der hinteren Hälfte ein Stück ab, ohne dass an der Wage eine Bewegung bemerkt wird. Nach $12\frac{1}{2}$ Min. wieder ein Krach und geringes Fallen des Hebels an der Wage; das Feuer brennt sehr gut und gleichmässig. Nach 13 Min. ein ganz leiser Krach, aber der Hebel der Wage fällt bedeutend. Nach $13\frac{3}{4}$ Min. 400°C seitwärts in der Mitte; das Feuer brennt sehr gut, es scheint leichter Wasserdampf von der oberen Fläche der Säule aufzusteigen, die jedoch ganz trocken aussieht. Nach $17\frac{3}{4}$ Min. Stoss mit schwachem Krach; die Wage sinkt; rechts brechen die unteren Kanten des Pfeilers ab. Nach 19 Min. bildete sich auf der oberen Fläche, etwas seitwärts, links von der Mittellinie ein von hinten nach vorn sich erstreckender Längsriss, der sich allmählich erweitert, bis über einen halben Centimeter. — Nach $21\frac{3}{4}$ Minuten ist seitwärts in der Mitte die Temperatur 500°C . Nach 23 Min. öffnet sich neben jenem ersten ein zweiter, mehr rechts gelegener Längsriss auf der obern Fläche; es erfolgt ein Stoss; der Hebel der Wage sinkt

jener erste Riss öffnet sich über 1 *cm* weit und später noch weiter; das links von ihm gelegene Stück des Pfeilers löst sich endlich ganz ab; der Wagen am hinteren Ende der Maschine wird nach links verschoben. Die Wage sinkt stark herab, bis auf ca. 10 *t*, und kann nicht mehr gehoben werden, weil der Pfeiler bereits so weit zerstört und ausgebogen ist, dass er sicher zerbrechen würde. Nach 25½ Min. ein starker Schlag, dem ein zweiter solcher unmittelbar folgt. Nach 26 Min. wieder ein starker Schlag; die Belastung wird auf 11 *t* gehalten; die Temperatur hat seitwärts in der Mitte 600° C noch nicht erreicht.

Nach 26¾ Min. wiederholter starker Schlag; Belastung nur noch 10 *t*. Der Pfeiler besteht nur noch aus einem ganz krummen und einseitig liegenden Stück, das bei der geringsten Erhöhung der Belastung sicher brechen würde. Nach 28½ Min. wird das Spritzen begonnen; in dem Augenblick, wo der Strahl den Rest des Pfeilers berührt, bricht dieser völlig zusammen, indem er sich in der Mitte nach links hin ausbiegt. Nach 37 Minuten ist das Feuer gelöscht. Es werden hierauf die ganz schön zusammen liegenden, sämtlich nach den Lagerflächen geborstenen Bruchstücke herausgenommen, wieder nebeneinander gelegt und skizzirt (s. Fig. 8).

Auch bei diesem Versuche waren die akustischen Erscheinungen von bedeutend geringerer Heftigkeit, als beim 18^{ten}.

22. Versuch, am 16. Januar 1885.

Pfeiler Nr. 25 aus gewöhnlichen guten Mauerziegeln mit Portland-Cementmörtel aufgemauert und mit Roman-Cement verputzt; 32 × 32 *cm* im Querschnitt, 201 *cm* lang. Der Pfeiler wurde am 16. Juli 1884 im Freien aufgemauert und verblieb da, mit einem kleinen Schutzdach aus Holz versehen, bis 17. Dezember, an welchem Tage er in dem geheizten Saal des Laboratoriums verbracht wurde. Er wurde mit einer Belastung von 5 *t* oder ca. 5 *kg* pro *qcm* genau so wie die vorigen Pfeiler eingespannt, doch wurden, aus Versehen, die Stellschrauben der vorderen Richtplatte nicht angezogen.

Um 2 Uhr 8 Min. wurde angefangen zu heizen. 2 Min. später fing der Wagehebel an zu steigen und musste begonnen werden, den Druck zu reguliren; aber noch nach 9 Min. ist die Libellenblase der Wage ziemlich ruhig und muss eher immer etwas nachgepumpt werden, in Folge der Erwärmung der Zugstangen. Nach 10½ Min. wird seitwärts in der Mitte die Temperatur von 300° C erreicht. Die Aussenseite des Pfeilers bleibt vollständig trocken. An beiden Seitenflächen tritt das Netz von Sprüngen im Verputz, das schon ursprünglich vorhanden war, als weisse Linien auf dem vom Russ ge-

schwärzten Grunde deutlich hervor. Die Wage verhält sich fortwährend sehr ruhig. Nach 18 Min. ist die Temperatur seitwärts in der Mitte 400° C. Nach 29 Min. glüht die Untenfläche des Pfeilers; es bilden sich Blasen an derselben, ohne dass jedoch Stücke abfallen. Nach 31½ Min. zerreisst eine jener Blasen, die Stücke derselben bleiben jedoch hängen.

Nach 33 Min. zerplatzt eine zweite jener Blasen, ohne dass die Splitter abfallen. Nach 38½ Min. seitwärts in der Mitte 500° C und nach 52 Min. 600° C; die Wage verhält sich fortwährend noch sehr ruhig. Nach 54 Min. glüht die Untenfläche sehr stark, hat aber bezüglich der Blasen noch das gleiche Aussehen wie früher. Nach 60 Min. wird das Spritzen begonnen. Der Wagehebel steigt in Folge der Abkühlung der Zugstangen; am Pfeiler keine Erscheinung. Nach 67 Min. glüht die Säule an der unteren Fläche noch stark und wird nun, so gut es geht, auch von unten her angespritzt; keine Erscheinung. Nach 75 Min. wird das Spritzen beendigt; die obere Fläche des Pfeilers ist ganz kalt und unversehrt. An der linken Seitenfläche haben sich Stücke der äussersten, ca. 1—2 *mm* linken Haut des Vorputzers an mehreren Stellen abgelöst, weitere Stücke fallen schon bei leichter Berührung ab. Auf der rechten Seitenfläche ist das weniger der Fall, als auf der linken, wo das Feuer immer etwas besser brannte, als dort. Die Blasen auf der untern Fläche haben sich gleichfalls nur in der äussersten Haut des Verputzes, die nachträglich aufgetragen und verrieben wird, gebildet und fallen bei dieser Berührung ab. Sonst ist unterhalb dieser Haut der Verputz anscheinend gut erhalten, nur an den untern Kanten, wo der Pfeiler am stärksten geglüht hatte, ist der Verputz tiefer hinein, als die Haut reicht, abgefallen.

Die Stellschrauben der vordern Richtplatte werden nun angezogen. Die Aussenflächen des Pfeilers werden in Folge Herausdringens der Wärme aus dem Innern, mehr als handwarm. In diesem Zustand wird nun die Belastung von den bisher getragenen 5 *t* allmählich erhöht. Bei 31 *t* Knistern das, allmählich immer stärker werdend, fort und fort dauert. Bei 35 *t* entsteht auf der oberen Fläche, seitwärts von der Mitte, ein Längsriss. Bei 37½ *t* Bruch in zwei der Länge nach gehenden Hauptrissen, welche, der eine vertikal, der andere horizontal, beide kreuzweise durch die Mittelaxe des Pfeilers gehen. Die Bruchstücke sind im Innern noch sehr heiss und etwas, aber nicht viel, feucht; die Feuchtigkeit verdunstet rasch. — Das hinterste Stück des Pfeilers ist auf eine Länge von 50 *cm* anscheinend unversehrt und kann mit dem Lautkranken aus der Maschine gehoben werden.

Der Verputz der Untenfläche, die so stark geglüht

hatte, bröckelt sich bis auf den Stein hinein leicht ab und ist fast mit der Hand zerreiblich. Aber der Portland-Cement-Mörtel in den Fugen zwischen den Steinen und diese selbst sind durchweg ganz unversehrt.

23. Versuch, am 17. Januar 1885.

Pfeiler Nr. 24 aus gewöhnlichen Trottoirplatten geringerer Qualität mit Portland-Cement-Mörtel aufgemauert und mit Roman-Cement verputzt; $24,8 \times 25 \text{ cm}$ Querschnitt, 200 cm lang. Der Pfeiler wurde am 7. Juli 1884 hergestellt und verblieb von da an bis zum 17. December, mit einem kleinen hölzernen Schutzdach versehen, im Freien; an jenem Tage wurde er in den geheizten Saal des Laboratoriums verbracht. Er wurde unter einer Belastung von $5 t$ (8 kg pro qcm) genau so wie die vorigen Pfeiler in die Maschine eingespannt; die Stellschrauben der vorderen Richtplatten wurden angezogen. Beim Einspannen hatte sich der Pfeiler in einer, ohngefähr in der Mitte gelegenen Schichte etwas gelockert; der Riss verschwand aber vollständig bei Aufbringung der Belastung.

Um 8 Uhr 42 Min. begann das Heizen und 3 Min. darnach fing der Wagehebel an zu steigen. Nach 7 Min. brennt das Feuer gut; die Wage verhält sich recht ruhig. Nach 11 Min. zeigt sich das Netz von Sprüngen im Verputz in weissen Linien auf dunklem von Russ geschwärztem Grund, namentlich auf der linken Seitenfläche, wo das Feuer besser brennt. Nach 13 Min. ist die Temperatur seitwärts in der Mitte 300° C . Nach 14 Min. brennt das Feuer sehr gut, die Wage ist immer noch recht ruhig; es muss nur hie und da etwas nachgepumpt werden wegen Erwärmung der Zugstangen. Nach 16 Min. erscheint eine Blase im Verputz auf der hinteren Seite der Untenfläche, nach 20 Min. eine zweite ungefähr in der Mitte derselben. Nach 22 Min. 400° C seitwärts in der Mitte. Nach $23\frac{1}{2}$ Min. beginnt das Glühen in der Mitte der Untenfläche. Eine jener Blasen ist zerplatzt. Nach 29 Min. glüht die Untenfläche der ganzen Länge nach. Nach $33\frac{1}{2}$ Min. 500° seitwärts in der Mitte, nach 44 Min. 600° .

Nach 49 Min. wird zu spritzen angefangen; der Wagehebel steigt in Folge Abkühlung der Zugstangen, am Pfeiler aber alles ruhig. Nach 58 Min. Ende des Spritzens; das Feuer ist gelöscht. Der Verputz ist auf allen Seiten, auch auf der oberen schadhaft geworden und fällt stellenweise bis auf die Steine hinein ab, namentlich in der Mitte, wo die Hitze am grössten war. Nach 1 Stunde und 41 Min. ist der Pfeiler noch handwarm und kann der Verputz überall mit der Hand abgelöst werden. Die Belastung wird nun allmählich erhöht. Bei $9 t$ leises Knistern nächst der hintern Druckfläche; bei $11 t$ Abfallen von Verputzmörtelstücken daselbst. Bei $18 t$ wieder

alles ruhig; bei $22 t$ Knacken; bei $30 t$ Knistern, das nun nicht mehr aufhört. Bei $34 t$ Nachgeben und Knistern; der Wagehebel sinkt, lässt sich aber wieder heben; $35 t$ werden noch getragen, dann sinkt die Wage plötzlich und erfolgt der Bruch. Auf der hinteren Seite des Pfeilers sind die Steine zerdrückt d. h. mehrfach zerspalten.

24. Versuch, am 19. Januar 1885.

Pfeiler Nr. 19 aus Grünsandstein von Abbach, von hellgrüner Farbe (Fig. 9, Blatt III); $30 \times 30 \text{ cm}$ Querschnitt, $163,5 \text{ cm}$ lang. Bruchzeit unbekannt. Ende August 1884 vom Lagerplatz der Herren Zwiesler & Baumeister unter ein Schutzdach im Hofe des Laboratoriums und am 17. December in den geheizten Saal desselben verbracht. • Mit $13,5 t$ oder 15 kg pro qcm Belastung so in die Maschine gespannt, dass zwischen der hinteren Endfläche und der dortigen Richtplatte der schon früher gebrauchte Keupersandsteinwürfel von 30 cm Kantenlänge, zwischen der vorderen Endfläche und der dortigen Richtplatte aber der Säulenfuss aus Gusseisen (Fig. 3, Blatt I) liegt. An der hinteren Richtplatte waren Stellschrauben und Bolzen entfernt, so dass sie sich frei bewegen konnte, an der vorderen wurden die Stellschrauben angezogen, so dass sie fest stand. Die Lagerflächen des Steins waren nahezu parallel zu ein paar Seitenflächen und lagen horizontal.

Um 9 Uhr 5 Min. wird das Heizen begonnen. Nach 2 Min. sucht der Wagehebel aufzusteigen; dieses Bestreben dauert auch nach 4 Minuten noch lebhaft fort, lebhafter als bei den gemauerten Pfeilern und dem aus Beton. Nach 5 Min. plötzliches Sinken der Wage; links hinten löst sich an der unteren Kante ein grösseres Stück lautlos ab; ebenso, nach 6 Min., rechts hinten. Nach 7 Min. sind seitwärts in der Mitte 300° C erreicht; nach 8 Min. löst sich unten in der Mitte eine Platte ab, auch vorn fällt ein grösseres Stück herunter. Alles lautlos. Das Feuer brennt schlecht, in Folge der herabgefallenen Stücke, die den Rost verlegen. Nach 10 Min. fällt hinten auf der rechten Seite wieder ein Stück ab; der Wagehebel steigt langsam aufwärts. Nach 12 Min. fällt hinten links wieder ein Stück herunter; es ist nun fast der ganze Rost mit herabgefallenen Stücken belegt, die so gut als möglich während des ferneren Verlaufs mit Zangen zu entfernen gesucht werden. Nach 18 Min. sinkt der Wagehebel plötzlich und fällt wieder ein grösseres Stück vom Pfeiler herunter; eine halbe Minute später ein schwacher Krach, wieder sinkt die Wagschale und fällt ein Stück ab; die Temperatur ist seitwärts in der Mitte noch nicht 400° C . Es lässt sich ganz gut verfolgen, wie sich die Stücke vom Pfeiler eben da ablösen, wo das Feuer am besten brennt. Nach 22 Min. fällt ein neues Stück ab, nach 24 Min. ein schwacher Krach, Sinken der Wage

und Abfallen eines Stückes an der vorderen Hälfte. Nach 27 Min. sinkt der Wagehebel wieder; auf der oberen Fläche des Pfeilers entsteht ein Längsriss etwas ausserhalb der Mitte nach rechts hin liegend, der, von der Mitte der Länge ausgehend, sich nach den Enden hin allmählich verlängert und zuletzt bis an die Enden reicht (a b, Fig. 9, Blatt III); dabei erweitert er sich in der Mitte mehr und mehr. Die Temperatur ist seitwärts in der Mitte noch nicht 400°C . Nach 30 Min. neuer Krach und Sinken des Wagehebels, nach 31 Min. geht die Wage wieder retour; der Längsriss ist jetzt in der Mitte ca. 15 mm weit; nach $33\frac{1}{2}$ Min. wieder ein schwacher Krach und Nachgeben der Wage; Temperatur immer noch kleiner als 400°C . Nach 36 Min. zeigen frisch abgefallene und herausgehobene Bruchstücke, dass die Temperatur im Innern des Pfeilers noch ganz niedrig ist; sie können auf der inneren Seite mit der Hand berührt werden. Der Längsriss wird immer weiter; er klappt nun in der Mitte schon über 20 mm weit. — Nach 38 Min. wieder ein Krach, ein grosses Stück fällt ab, der Wagehebel sinkt; in der Mitte ungefähr entsteht auf der oberen Fläche ein schwacher Querriss c d, gleich darauf Bruch durch Ausbiegen nach oben in diesem Querriss.

Nach $39\frac{1}{2}$ Min. wird zu spritzen begonnen, um das Feuer zu löschen; der Stein zeigt dabei keine Erscheinung; nach 45 Min. ist das Feuer gelöscht und wird das Aussehen der Reste des Pfeiles, wie sie in der Maschine liegen, skizzirt (s. Fig. 9, Blatt III).

25. Versuch, am 19. Januar 1885.

Pfeiler Nr. 22 aus getiegertem Keupersandstein von Höttingen (Fig. 12, Blatt III); $30 \times 30\text{ cm}$ Querschnitt, $166,5\text{ cm}$ lang. Bruchzeit unbekannt. An den gleichen Tagen wie der vorige von demselben Platze in den Hof des Laboratoriums und von da in den Saal desselben gebracht. Mit 9 t oder 10 kg pro qcm Belastung auf genau gleiche Weise wie der vorige Pfeiler so eingespannt, dass die Lagerflächen vertikal waren; doch ist das Lager un- deutlich.

Um 2 Uhr 36 Min. wird das Feuer angezündet; schon $1\frac{1}{3}$ Min. darnach beginnt der Hebel der Wage zu steigen, die Libellenblase bewegt sich lebhaft, wie beim vorigen Pfeiler. Nach $9\frac{1}{2}$ Min. sinkt die Wage; an der unteren linken Kante fallen der ganzen Länge nach Stücke lautlos ab; die herausgehobenen Stücke können auf der inneren Seite mit der Hand berührt werden. Nach 11 Min. fallen ebensolche Stücke auch an der rechten unteren Kante ab. Nach 14 Min. ist seitwärts in der Mitte die Temperatur noch nicht 300°C . Es fallen fortwährend grössere und kleinere Stücke lautlos ab und müssen mit Zangen entfernt werden, damit sie das Feuer nicht dämpfen;

dasselbe konnte daher bis jetzt noch nicht zu recht lebhaftem Brennen gebracht werden. Nach 17 Min. ist die Temperatur seitwärts in der Mitte immer noch geringer als 300°C . Nach 18 Min. fällt rechts vorn ein grosses Stück ab.

In Folge der abfallenden platten- und schalenförmigen Stücke wird das kältere Innere der Säule immer wieder bloß gelegt, deshalb bleibt deren Temperatur so niedrig. Nach $20\frac{1}{2}$ Min. wird auf der oberen Fläche links seitwärts von der Mittellinie ein Längsriss sichtbar, der sich von der Mitte der Länge aus allmählich nach hinten und vorn verlängert und zugleich verbreitert (a b in Fig. 12, Blatt III), ganz ähnlich wie beim vorigen Pfeiler. Nach 21 Min. endlich erreicht die Temperatur seitwärts in der Mitte 300°C . Jener Riss wird immer breiter und länger. Nach 26 Min. schwaches Krachen, das sich gleich darauf wiederholt. Aus dem Riss der oberen Fläche steigt Rauch auf, ein Zeichen, dass der ihm entsprechende Spalt durch die ganze Dicke des Pfeilers hindurch geht. Nach $26\frac{3}{4}$ Min. stärkeres Krachen und Stoss, die Wagschale sinkt; ein schief auswärts nach links laufender Zweigriss entsteht neben jenem Längsriss und von ihm ausgehend ohngefähr in der Mitte auf der oberen Fläche. Nach 29 Min. löst sich aus der Mitte der linken Seitenfläche, da, wo jener Zweigriss in sie einmündet, ein kurzes aber tiefes Stück ab.

Der Längsriss wird breiter und länger; die Temperatur seitwärts in der Mitte ist noch nicht 400°C . Nach $31\frac{3}{4}$ Min. fällt wieder ein grösseres Stück ab. Nach $33\frac{1}{2}$ Min. entsteht ein zweiter Längsriss auf der oberen Fläche, rechts vom ersten, ohngefähr ebenso weit von der rechten oberen Kante entfernt, als jener von der linken; dieser zweite Riss erweitert und verlängert sich rasch. Nach $34\frac{1}{2}$ Min. ist die Temperatur seitwärts in der Mitte 400°C . Nach $34\frac{3}{4}$ Min. fallen grosse Eckstücke rechts und links von den beiden Längsrissen ab, die Wagschale sinkt und nach 35 Min. erfolgt beim Nachpumpen der Bruch in dem Querriss e f. Nach $35\frac{3}{4}$ Min. wird zu spritzen begonnen, wobei der Stein keinerlei Erscheinungen zeigt. Nach $40\frac{1}{2}$ Min. Ende des Spritzens. Die Pfeilerreste werden skizzirt (Fig. 12, Blatt III).

26. Versuch, am 19. Januar 1885.

Pfeiler Nr. 20 aus gelblichgrünem feinkörnigen Grünsandstein von Abbach (Fig. 10, Blatt III); $30 \times 30\text{ cm}$ im Querschnitt, 150 cm lang. Bruchzeit unbekannt. An dem gleichen Tage wie der vorige von demselben Platze in den Hof des Laboratoriums gebracht und von da in den Saal. Mit 9 t oder 10 kg pro qcm Belastung auf die gleiche Weise eingespannt, wie der vorige Pfeiler. Das Lager läuft vertikal oder schief.

Um 4 Uhr 43 Min. wird das Feuer angezündet; 2 Min. darnach beginnt der Hebel der Wage zu steigen, die Libellenblase bewegt sich lebhaft, wie bei den letzteren Pfeilern. Nach 5 Min. ein schwacher Stoss, die Wagschale sinkt, von der untern rechten Kante fällt ein grosses Stück ab. Nach $6\frac{3}{4}$ Min. wieder ein Stoss; auf der linken Seite fällt ein gleiches Stück ab, wie vorhin auf der rechten. Nach 7 Min. fällt hinten links unten ein grosses Eck ab, das noch ganz kalt ist. Nach 8 Min. fallen auf der hinteren Seite unten ca. 10 cm dicke Platten ab, gleich darauf auch in der Mitte und der ganzen Länge nach; so fallen grössere und kleinere Stücke noch fort und fort ab. Nach $9\frac{1}{2}$ Min. wiederholtes vernehmliches Krachen, begleitet vom Herabfallen ca. 8 cm dicker Stücke von der unteren Seite der vordern Hälfte. Nach $10\frac{1}{2}$ Min. lösen sich links und rechts die unteren Kanten ab; $\frac{1}{4}$ Min. darauf wiederholte Stösse und erneuertes Abfallen von Stücken. Nach $12\frac{1}{2}$ Min. wiederholtes Krachen und Ablösen von Stücken. Auf der untern Seite löst sich der ganzen Länge nach eine grosse Platte ab. Nach 14 Min. ist seitwärts in der Mitte die Temperatur noch kleiner als 300°C ; es fallen fortwährend noch kleinere und grössere Stücke ab. Nach 15 Min. stärkeres Krachen; Stoss; die Wagschale sinkt. Abfallende Stücke, sogar dünne Platten können zwischen den Fingern gehalten werden. Unten fällt wieder ein grosses Stück ab. Das Feuer brennt schlecht, wegen der vielen herabgefallenen Stücke die immer herausgeholt werden müssen. Nach $17\frac{1}{2}$ Min. neuer Stoss und Sinken der Wagschale. Die Temperatur ist seitwärts in der Mitte immer noch nicht 300°C . Nach $18\frac{1}{2}$ Min. fällt in der ganzen vordern Hälfte unten ein grosses Stück ab, das im Querschnitt die Gestalt eines Kreisabschnittes, nach oben (innen) convex, hat. Auch nach 23 Min. ist seitwärts in der Mitte die Temperatur von 300° noch nicht erreicht; das Feuer brannte bisher wegen der vielen herabgefallenen Stücke schlecht, fängt aber jetzt an, lebhafter zu brennen. Stücke fallen fort und fort ab; nach 25 Min. endlich ist seitwärts in der Mitte die Temperatur von 300°C erreicht. Der Pfeiler ist in der Mitte bis auf die Hälfte seiner Dicke geschwächt. Nach $27\frac{1}{2}$ Min. fällt vorn rechts wieder ein grosses Stück ab, gleich darauf noch mehrere, die Wagschale sinkt; nach 29 Min. ein Krach und neues Sinken der Wagschale; an der linken Seitenfläche entsteht hinten ein Sprung, die Temperatur ist seitwärts in der Mitte noch nicht 400°C . Nach 32 Min. fällt das Stück unterhalb jenes Sprunges ab; auch in der Mitte löst sich links seitwärts ein Stück ab, wodurch die linke Seitenfläche in der Höhe bis fast auf ein Viertel der früheren verschwächt wird. Doch werden die 9 t Belastung noch getragen. Nach $35\frac{1}{2}$ Min. entsteht auf der oberen Fläche ein Längsriss a b (Fig. 10,

Blatt III), der sich vom hintern Ende bis ohngefähr in die Mitte erstreckt. Nach $36\frac{1}{2}$ Min. bildet sich der Querriss c d durch die Mitte der oberen Fläche; die Wagschale sinkt, kann aber wieder gehoben werden. Nach $37\frac{1}{2}$ Min. ist die Temperatur an der bekannten Stelle immer noch nicht 400°C ; neuer Stoss und Sinken der Wage, unten fällt eine Platte ab. Nach $38\frac{1}{2}$ Min. verzweigt sich obiger Querriss in der Mitte nach hinten zu; nach $39\frac{1}{2}$ Min. neuer Stoss und Krach; der Querriss verzweigt sich auch nach vorn zu; der Pfeiler hebt sich in der Mitte und bricht in jenem Querriss durch. Die Temperatur ist seitwärts in der Mitte immer noch nicht 400°C . Die oberen Platten A, B stützen sich in der Mitte gegeneinander, unten ist eine grosse Platte abgefallen. Nach $41\frac{1}{4}$ Min. Beginn des Spritzens; am Stein keine Erscheinung dabei. Nach $46\frac{1}{2}$ Min. ist das Feuer gelöscht.

27. Versuch, am 20. Januar 1885.

Pfeiler Nr. 21 aus Keuper-Sandstein von Bodenwöhr, weiss mit gelben Lagerstreifen, ziemlich grobkörnig (Fig. 11, Blatt III); $29,5 \times 30,5$ cm Querschnitt, 140 cm lang. Bruchzeit unbekannt. An den gleichen Tagen wie der vorige von demselben Platz in den Hof des Laboratoriums und von da in den Saal gebracht. Mit 9 t oder 10 kg pro qcm belastet und auf die gleiche Weise eingespannt wie die vorigen Pfeiler. Die Lagerflächen liegen vertikal.

Um 11 Uhr 12 Min. Beginn des Heizens. Nach $1\frac{1}{2}$ Min. Aufsteigen des Wagehebels in lebhafter Bewegung, wie bei den vorigen Pfeilern. Nach $5\frac{1}{3}$ Min. Nachgeben an der Wage, links unten fällt ein grosses Stück auf der Vorderseite ab. Auf der oberen Fläche bildet sich, ungefähr längs der Mittellinie derselben, ein Längsriss a b, der sich nach und nach erweitert und von der Mitte der Länge aus nach beiden Enden hin allmählich verlängert, so dass er sich nach 8 Min. bis an die Endflächen erstreckt; nach 9 Min. dringt Rauch aus ihm heraus; hinten links und auch an anderen Stellen lösen sich Stücke ab. Die Temperatur ist seitwärts in der Mitte noch nicht 300°C . Nach 12 Min. fallen rechts hinten von der unteren Seite weitere Stücke ab; der Riss auf der oberen Fläche ist in der Mitte ungefähr $\frac{1}{2}$ cm weit. Nach 16 Min. sind seitwärts in der Mitte 300°C erreicht; das Feuer brennt gut; die herabgefallenen Stücke sind nicht so zahlreich, wie beim vorigen Pfeiler; auch die Wage ist ruhiger. — Nach 18 Min. ein kleiner Stoss; die Wagschale sinkt etwas. Nach $18\frac{1}{2}$ Min. wiederholter schwacher Krach; die Wagschale sinkt wieder; aus dem Spalt der oberen Fläche dringt dichter weisser Rauch; die Temperatur ist seitwärts in der Mitte noch nicht 400°C . Nach $19\frac{3}{4}$ Min. wieder

ein Krach. Nach $21\frac{3}{4}$ Min. Nachgeben der Wage, ein neuer Längsriss c d entsteht auf der oberen Fläche, rechts vom ersten; er erweitert sich rasch und klafft bald weiter als jener. Nach $22\frac{3}{4}$ Min. fallen sämtliche Stücke rechts vom zweiten Längsriss ab; ebenso die linke vordere Ecke auf der unteren Seite, und eine Minute später löst sich von unten wieder ein grosses Stück ab. Die Wage gibt nun immer mehr nach, es muss stets etwas nachgepumpt werden, um den Druck zu erhalten. Nach 25 Min. fällt links in der Mitte ein grosses Stück ab. Nach $27\frac{1}{2}$ Min. sinkt die Wagschale stärker, die Temperatur an den Seitenflächen ist niedrig in Folge der vielen herabgefallenen Stücke und Entblössung des noch kalten Innern. Nach $28\frac{1}{2}$ Min. entsteht ungefähr in der Mitte ein Querriss c f, der vom ersten Längsriss aus nach links läuft; das Feuer brennt schlecht in Folge der vielen herabgefallenen Stücke, die nicht genügend entfernt werden können. Nach $31\frac{1}{4}$ Min. leiser Krach, Nachgeben an der Wage. Nach $31\frac{1}{2}$ Min. neuer leiser Krach; in der vorderen Hälfte der oberen Fläche entsteht ein zweiter Querriss g h, vom Mittelriss aus nach rechts gehend. Nach 33 Min. leiser Krach und Nachgeben der Wage; letzteres wird immer stärker, nach 36 Min. ein Stoss, die Wagschale sinkt, es erfolgt der Bruch durch Ausbiegen nach oben. Die Temperatur beträgt seitwärts in der Mitte nicht 400° C.

Nach $37\frac{3}{4}$ Min. wird zu spritzen begonnen; keinerlei Erscheinungen am Stein; nach 42 Min. ist das Feuer gelöscht.

Die herabgefallenen, im Feuer gelegenen Steinstücke sind intensiv roth gefärbt.

Aus vorstehenden Versuchen mit Steinsäulen und Pfeilern folgt, dass unter allen Materialien, die geprüft wurden, Beton aus Portland-Cement am besten ausgehalten hat. Der Pfeiler Nr. 23 widerstand einer $\frac{7}{4}$ stündigen Einwirkung des Feuers vollkommen. Fast ebenso gut hielten sich die Pfeiler aus gewöhnlichem Ziegelmauerwerk oder aus Trottoirplatten (Klinker) mit Portland-Cement-Mörtel (Nr. 24 und 25). Bei denselben litt eigentlich nur der Verputz aus Roman-Cement-Mörtel, was ja auch leicht begreiflich erscheint. — Keiner der natürlichen geprüften Steine: Granit, Kalksteine, Sandsteine widerstand dem Feuer. Relativ am besten noch Granit, dann Tuff. Kalksteine, dann Sandsteine, sowohl solche mit thonigem, als solche mit kalkigem Bindemittel werden rasch zerstört: der Kalk wird gebrannt und folglich mürbe; der Thon schwindet und verliert seine Bindekraft.

Natürlich können die Versuche mit Steinsäulen mit den von mir durchgeführten nicht als abgeschlossen betrachtet werden. Aber die Beschaffung des Materials für solche Versuche ist zum Theil so kostspielig, dass es den Interessenten anheim gegeben werden muss, in einzelnen Fällen sich von der Feuersicherheit eines Materials Ueberzeugung zu verschaffen. Zwar liegt der Gedanke nahe, dass dies mit viel weniger Kosten auch dadurch geschehen könne, dass man kleinere Stücke des betreffenden Materials dem Feuer aussetzt und dann rasch abkühlt. Ich habe solche Versuche ebenfalls angestellt mit 2—3 *cdm* grossen Stücken von allen den Säulen und Pfeilern aus natürlichen Steinen, die ich im Ganzen und unter Druck geprüft habe. Diese Stücke wurden an Drähten in das Holzfeuer gehängt, das in einem der, bei jenen Versuchen gebrauchten Heizkörbe angezündet worden war. Sie blieben im Feuer, bis ihr unterer Theil gut glühend geworden war, was ohngefähr 6 bis 10 Minuten dauerte, wurden dann an den Drähten herausgenommen und in einen Kübel mit kaltem Wasser getaucht.

Dabei zeigten die Keuper- und Grünsandsteine schon bald, noch vor dem Glühen, Risse auf der unteren Seite, nach denen dann, jedoch erst beim Eintauchen in das Wasser, Stücke abfielen, die mehr oder weniger mürbe, zerreiblich waren, am wenigsten beim Grünsandstein der unteren Lage von Abbach (Nr. 19). Beim Buntsandstein entstand erst nach dem Beginn des Glühens am unteren Theil unter einem Krach ein Sprung in einer vertikal stehenden Lagerfläche, und nach dem Eintauchen in Wasser zerfiel das Probestück nach diesem und ähnlichen kleinen Sprüngen in Stücke, die noch ziemlich hart und fest waren. Aehnliche Erscheinungen zeigten sich beim Tuff (Nr. 13) und beim Pappenheimer Dolomit (Nr. 14). Die im Wasser abgefallenen Stücke jenes Materials waren grösstentheils weich und zerreiblich, diejenigen des letzteren noch ziemlich hart und fest. Der Salzburger Marmor (Nr. 12) und der sog. Rosenheimer Granitmarmor (Nr. 15) bekamen im Feuer keine Sprünge (wenigstens waren sie nicht sichtbar), wohl aber durch das rasche Abkühlen, ohne dass jedoch in den Rissen der Zusammenhang ganz gelöst worden wäre; das geschah erst nach Ertheilung einiger schwacher Schläge. Der Granit hielt circa 8 Minuten im Feuer aus, ohne Sprünge zu bekommen; auch beim Abkühlen zeigten sich keine solchen; das Versuchsstück blieb vollständig intakt.

Derartige Versuche können also kaum einige Anhaltspunkte für die Vergleichung verschiedener Materialien bezüglich ihres Verhaltens im Feuer und bei plötzlicher Abkühlung liefern, noch viel weniger aber geben sie ein Bild von den Vorgängen, wie sie in Wirklichkeit bei Feuersbrünsten vorkommen können. Dazu müssen grössere

Versuchsobjekte, welche unter der ihnen bei ihrer Verwendung zukommenden Belastung stehen, der Wirkung des Feuers und der plötzlichen Abkühlung ausgesetzt werden. Am besten dürften sich hierzu Pfeiler von der Grösse und Gestalt der von mir geprüften Nr. 16—18 aus Buntsandstein eignen, von circa 22×22 cm Querschnitt und 250 cm Länge. Die Seitenflächen derselben brauchen nur roh bearbeitet zu sein, die Stirnflächen aber müssen gut eben und senkrecht zu den Seitenkanten zugerichtet werden.

München, im Januar 1885.

Die zu den Versuchen verwendeten gusseisernen Säulen Nr. 1—5 auf Blatt II waren von mir selber auf dem Lagerplatz der Kustermann'schen Eisengiesserei ausgewählt worden und zwar zum Theil unter ausgeschossenen Exemplaren. Die mit Nr. 1 und 2a bezeichneten mit so sehr ungleicher Wandstärke waren solche ausgeschossene Säulen, die aber, da derartige Fehler in Wirklichkeit vorkommen, absichtlich zu den Versuchen beigezogen wurden.

Berichtigungen:

S. 13	linke	Spalte,	Zeile 3	von unten	lies:	hintere	statt	„vordere.“
S. 14	„	„	„	8	„	oben	„	dritten „ „vierten“.
S. 14	„	„	„	9	„	„	„	zweiten „ „dritten“.
S. 14	„	„	„	16	„	„	„	dritten „ „vierten“.
S. 17	„	„	„	19	„	„	„	v „ „h“.
S. 17	„	„	„	27	„	„	„	v „ „h“.

XIV.

Vergleichende Versuche über die Schweissbarkeit des Fluss- und Schweisseisens.

Versuche über die Schweissbarkeit von Flusseisen sind in der k. mechanisch-technischen Versuchsanstalt in Berlin*) und von Herrn W. Hupfeld in Prevali**) angestellt worden. Diese Versuchsreihen gaben ein sehr verschiedenes Resultat. Die Berliner Versuche fielen sehr ungünstig, die in Prevali ausserordentlich günstig für die Schweissbarkeit des Flusseisens aus.

Erstere wurden mit je sechs ungeschweissten und 9 geschweissten Rundstäben von ca. 18 mm Durchmesser aus härterem und weicherem Flusseisen, und der Vergleichung halber auch noch mit ebenso viel ungeschweissten und geschweissten Stäben von gleicher Form und Grösse aus Schweisseisen angestellt. Die Hauptresultate derselben sind in folgender Zusammenstellung enthalten.

1) Härteres Oberhauser Siemens-Martin-Flusseisen:

	Streckgrenze <i>k</i> pro <i>qcm</i>	Zugfest. <i>k</i> pro <i>qcm</i>	Dehnung auf 200 mm Proc.	Contraction Proc.	Kohlenstoff Proc.	Silicium Proc.	Phosphor Proc.	Mangan Proc.
ungeschweisst (im Mittel aus 6 Versuchen):	2810	5070	20,8	34,9	0,21	0,017	0,112	0,38
geschweisst:	—	2840	1,1	1,1				
	—	1750	1,4	—				
	2950	4700	7,6	7,6				
	2910	2990	1,7	1,1				
	2720	4820	7,8	7,6				
	—	1750	1,1	—				
	2910	4360	6,0	7,6				
	—	2100	1,5	2,2				
	—	1170	0,7	—				

2) Weicheres Oberhauser Siemens-Martin-Flusseisen:

	Streckgrenze <i>k</i> pro <i>qcm</i>	Zugfest. <i>k</i> pro <i>qcm</i>	Dehnung auf 200 mm Proc.	Contraction Proc.	Kohlenstoff Proc.	Silicium Proc.	Phosphor Proc.	Mangan Proc.
ungeschweisst (im Mittel aus 6 Versuchen):	2560	4540	25,1	44,7	0,11	0,023	0,093	0,20
geschweisst:	—	1710	0,8	1,1				
	2530	3930	6,5	9,7				
	2720	4080	10,1	22,8				
	2640	4160	11,4	10,7	0,12	0,019	0,132	0,24
	—	3500	3,9	12,8				
	2570	3690	5,1	15,9				
	2570	3730	6,1	15,9				
	—	1520	0,0	1,1				
	—	2640	2,1	4,4				

*) Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbflusses in Preussen 1883. S. 146.

**) Oesterr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1884 Nr. 8 und daraus in „Stahl und Eisen“ 1884. Heft 5.

3) Gewöhnliches schlesisches Handeisen (Schweisseisen) der Königs- und Laurahütte:

	Streckgrenze <i>k</i> pro <i>qcm</i>	Zugfest. <i>k</i> pro <i>qcm</i>	Dehnung auf 200 <i>mm</i>	Contraction	Kohlenstoff*)	Silicium	Phosphor*)	Mangan
			Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.
ungeschweisst (im Mittel aus 6 Versuchen):	2280	4070	22,2	39,5	0,05	0,17	0,26	0,04
geschweisst:	—	2730	1,2	3,6				
	2380	3750	12,5	25,4				
	2310	3370	6,1	8,6				
	2450	4100	13,2	17,6	0,02	0,16	0,37	0,12
	2140	2690	6,8	9,6				
	2260	3890	17,7	30,2				
	2280	3630	8,2	19,6				
	2420	3120	2,9	5,4				
	2250	2540	1,2	6,4	0,10	0,06	0,33	0,16

Ueber die Art und Weise, wie beim Schweissen verfahren wurde, ist nichts Näheres gesagt. Es heisst nur: „Die Schweissungen sind mit ausserordentlicher Sorgfalt unter Aufsicht der Commissions-Mitglieder in der Borsig'schen Fabrik zu Moabit durch einen und denselben erfahrenen Arbeiter unter möglichst gleichen Umständen, aber stets unter Berücksichtigung des durch die Vorproben bereits festgestellten geeignetsten Wärmegrades für jede einzelne Eisenart ausgeführt worden.“

Die Versuche in Prevali wurden an 22 ungeschweissten und 27 geschweissten Stäben, Rundstäben von 15 *mm* Durchmesser und 350 *mm* Länge aus gewöhnlichem Bessemer-eisen vom Härtegrad VI der österreichischen Scala, wie es vom Stahlwerk zu Prevali für Secundärschienen erzeugt wird, angestellt. Bei 5500—6000 *kg* Belastung, entsprechend 3600—4000 *kg* pro *qcm*, machte sich bei sämtlichen Proben, geschweissten wie ungeschweissten, eine plötzliche Dehnung von 4—7 *mm* bemerklich, das Ueberschreiten der Elasticitätsgrenze (Streckgrenze) scharf markirend. Als Mittelwerthe aus 22, bezw. 27 Versuchen ergaben sich

		für Zugfest.	Dehnung	Contr.
	<i>k</i> pro <i>qcm</i>			Proc.
bei den ungeschweissten Stäben:	5530	18,8	57,5	
„ „ geschweissten „	5460	19,1	55,4	

Die niedrigsten und bezw. höchsten erhaltenen Werthe waren

bei den ungeschweissten Stäben:	
für die Zugfestigkeit:	5050 und 6150 <i>k</i> pro <i>qcm</i>
„ „ Dehnung:	16,0 „ 21,5 %
„ „ Contraction:	49,3 „ 60,9 %
bei den geschweissten Stäben:	
für die Zugfestigkeit:	5080 und 6080 <i>k</i> pro <i>qcm</i>
„ „ Dehnung:	13,0 „ 22,5 %
„ „ Contraction:	39,8 „ 64,6 %

„Der Bruch erfolgte immer unter Bildung einer sehr starken localen Einschnürung mit einem convexen Kopf,

dem eine 1½ bis 2 *mm* tiefe Höhlung des andern Theils entsprach. Der äussere Befund der geschweissten und ungeschweissten Stäbe war sowohl vor als nach dem Zerreißen ein ganz gleicher. Schweissnähte konnten weder vor noch während des Probirens bemerkt werden und ebensowenig an dem Zerreißenquerschnitt, der in Folge der geringen Dicke und der starken Contraction niemals ein krystallinisches, sondern ein mattes, sammtgraues Aussehen hatte. Es ist das jedenfalls der starken mechanischen Bearbeitung zu verdanken, der die Probestücke unterworfen waren, ehe sie auf die Drehbank gelangten.“

Die Schweissungen wurden in folgender Weise ausgeführt:

„Bei jeder Charge wurden zwei Probe-Ingots abgegossen, mit 70 *mm* Seite und 300 *mm* Länge, die nicht bedeckt wurden. Der eine diente für die Schweissprobe, der andere für den Versuch mit ungeschweisstem Material.

„Unter einem Dampfhammer von 200 *k* Fallgewicht wurde dann der eine Probe-Ingot in zwei Stücke zerschrotet und jedes derselben auf 35 *mm* Seite bei 150 *mm* Länge ausgeschmiedet und an dem einen Ende mit einem Zangengriff versehen. Die stärkeren Ende wurden abgeschärft, erhielten in demselben Schmiedefeuereine schnelle saftige Hitze unter Anwendung gewöhnlichen Schweissandes, wurden dann auf dem Amboss 70 *mm* weit mit den schrägen Flächen übereinander gelegt und mit dem Handhammer geschweisst. Nach einer zweiten gelinden Hitze kam das geschweisste Stück unter den Dampfhammer und wurde zunächst auf 20 *mm* und dann im Gesammt auf 18 bis 19 *mm* bei 350 *mm* Länge ausgeschmiedet. Die Schweissstelle war immer in der Mitte des Probestabes.

*) Wedding hat hier in seinem Aufsatz: „Einfluss der chemischen Constitution auf die Schweissbarkeit des Eisens“ (Mittheilungen aus den k. technischen Versuchsanstalten zu Berlin 1883, 2. Heft, S. 70) die Kohlenstoff- und Phosphorgehalte verwechselt.

„Auf der Drehbank wurden alle Stäbe auf ca. 15 mm Stärke abgedreht und aufs sorgfältigste poliert und genau cylindrisch hergestellt. An jedem Ende wurde zum Einschrauben in die Backen der Zerreißmaschine ein Gewinde eingeschnitten mit 16 mm kleinstem Durchmesser.“

Den grossen Unterschied zwischen seinen Resultaten und denen der Berliner Versuche vermag sich Hupfeld nicht zu erklären und hält es für leicht möglich, dass die Ausführung der Schweissproben auf dem Eisenwerke in Moabit eine nicht entsprechende gewesen ist, dass nämlich die Schmiede das Stahlschweissen nicht verstanden. In der Schmiede in Prevali werden jährlich Tausende von Schweissungen vorgenommen und hat das Personal eine grosse Uebung erlangt.

Aber man darf doch wohl nicht übersehen, dass die Schweissungen in Prevali in einer Weise hergestellt wurden, wie sie für gewöhnlich bei Schmieden und Schlossern nicht angewendet werden kann. Dort wurden die Stücke von 35 mm Seite in einer ersten Hitze mit dem Handhammer geschweisst und nach einer zweiten Hitze unter dem Dampfhammer auf 18—19 mm ausgeschmiedet. Für gewöhnlich können die beiden zusammen zu schweisenden Stücke an den zu vereinigenden Enden nur etwas aufgestaucht werden und sind dann während des Schweissens oder in einer zweiten Hitze auf den ursprünglichen Querschnitt herabzuschmieden. So ist das wahrscheinlich auch bei den Berliner Probestücken in Moabit geschehen.

Die folgenden Untersuchungen wurden im hiesigen Laboratorium auf Anregung von Herrn F. S. Kustermann's Eisenhandlung und Eisengiesserei dahier hauptsächlich zu dem Zwecke angestellt, um nähere Aufschlüsse über die Schweissbarkeit des gewöhnlichen Handelsflusseisens, Stangeneisens, verschiedenen Querschnitts, das ja immer mehr das Schweisseisen auch im Kleingewerbe zu verdrängen sucht, zu erhalten. Die Urtheile der Consumenten darüber waren bisher sehr verschieden ausgefallen; während bei den einen das Schweissen sehr gut gelungen war, konnten es die andern gar nicht oder nur sehr mangelhaft zu Stande bringen.

Die Versuche wurden mit sog. „Prima schweisbarem Flusseisen“ des Eisenwerkes Peine in Hannover und zwar zunächst mit 9 verschiedenen Querschnitts-Formen und -Grössen angestellt. Von jeder Stange wurden zwei oder drei 50 cm lange Stücke nebeneinander abgehauen, von denen das eine im ungeschweissten, das andere oder die andern im geschweissten Zustande geprüft wurden. Die von einer und derselben Stange abgehauenen Stücke wurden mit der gleichen Nummer versehen und durch Beifügen der Buchstaben a, b, c unterschieden. Die Stücke a

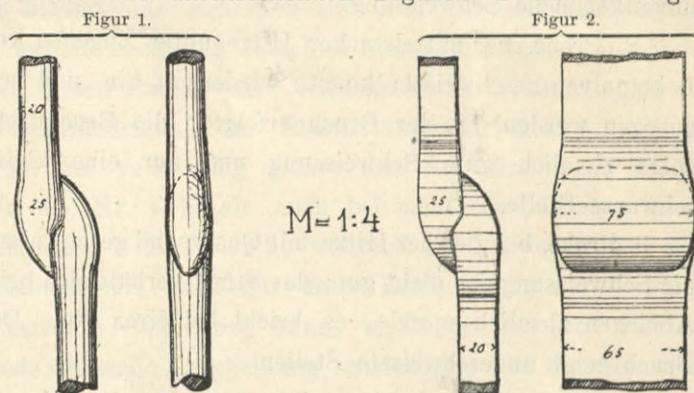
wurden sämmtlich im ungeschweissten Zustande probiert. Die ausgewählten Querschnitte waren folgende:

Nr. 1	Flacheisen	80/30 mm
„ 2	„	80/25 mm
„ 3	„	45/22 mm
„ 4	„	34/15 mm
„ 5	„	32/14 mm
„ 6	Quadrateisen	30/30 mm
„ 7	Rundeisen	28 mm
„ 8	„	20 mm

Der Vergleichung halber wurden ganz gleiche Versuche mit Schweisseisen und zwar mit „Prima Nassauer Schweisseisen“ von Ww. Ernst Haas und Sohn, Neuhoffnungshütte bei Herbauer in Nassau, von folgenden Querschnitten angestellt:

Nr. 9	Flacheisen	83/18 mm
„ 10	„	65/27 mm
„ 11	„	42/12 mm
„ 12	„	34/16 mm
„ 13	Quadrateisen	26/26 mm
„ 14	Rundeisen	26 mm

Die auf Schweissbarkeit zu prüfenden Stücke b oder b und c wurden in der Mitte kalt auseinander gehauen, dann warm um 5 bis 10 mm, je nach der Stärke, aufgestaucht und auf dem Amboss in die Formen gebracht, wie sie die untenstehenden Figuren 1 und 2 zeigen.



Nachdem sie die passende Schweisshitze erhalten hatten, wurden sie so übereinandergelegt, wie aus denselben Figuren zu ersehen, und dann auf dem Amboss mit dem Handhammer oder unter dem Dampfhammer weiter bearbeitet, wie es des Näheren weiter unten bei den Resultaten angegeben ist.

Die Schweissungen wurden unter Aufsicht und theilweiser Mithilfe des Werkmeisters des Laboratoriums von einem geübten Schmied nebst Helfer, welche Herr Kustermann aus seinen Werkstätten zur Verfügung stellte, ausgeführt, und zwar die mit den Stücken kleineren Querschnitts im Laboratorium selbst, die andern, für welche ein Dampfhammer und grösseres Feuer nöthig war, in der Werkstätte der Kustermann'schen Lagerhäuser.

Um zunächst Vorstudien über das beste Schweissverfahren und das geeignetste Schweissmittel für Flusseisen

zu machen, wurde von der Rundstange mit 20 mm Durchmesser (Nr. 8) eine grössere Anzahl von Stücken abgehauen, deren jedes in der Mitte auseinander gebrochen und dann wieder geschweisst wurde. Die Güte der Schweissung wurde dabei nur so probirt, dass man das betreffende Stück mit dem einen Ende bis nahe zur Schweissstelle in den Schraubstock spannte, über das andere Ende ein Rohr steckte und nun mit diesem Hebel das eingespannte Stück an der Schweissstelle umbog so weit es ging, oft bis weit über einen rechten Winkel und dann wieder zurück und auf die entgegengesetzte Seite etc. bis der Bruch erfolgte. Die Resultate dieser sämtlich im Laboratorium angestellten und mit dem Handhammer ausgeführten Versuche waren folgende:

Das Feuer der gebrauchten Schmiede erwies sich im Allgemeinen etwas zu schwach; der Ventilator lieferte nicht Wind genug; die Stücke mussten zu lange im Feuer liegen, um die nöthige Hitze zu erhalten.

Holzkohlen ergaben keine genügende Hitze, auch Coaks mit Steinkohlen gemischt nicht; die Stücke mussten zu lange im Feuer bleiben. Reines Steinkohlenfeuer genügte. Dieses wurde daher ausschliesslich angewendet.

1. Probe, bei mittelstarker Hitze mit Schweisspulver geschweisst: konnte bis circa 90° umbogen werden, wo dann der Bruch erfolgte; die Bruchfläche zeigt theilweise unvollkommene Schweissung.

2. Probe, bei mittelstarker Hitze unter Zugeben von Lehpulver geschweisst: konnte wiederholt hin- und hergebogen werden, bis der Bruch erfolgte; die Bruchfläche zeigt ziemlich gute Schweissung und nur eine kleine schwarze Stelle.

3. Probe, bei gleicher Hitze mit Quarzsand geschweisst: die Schweissung ist nicht gut; das Stück verhält sich beim Abbiegen ziemlich spröde, es bricht bei circa 90°. Der Bruch zeigt ungeschweisste Stellen.

4. Probe, ganz wie die vorige angestellt: die Schweissung ist gut gelungen; das Stück verhält sich beim Abbiegen sehr zähe.

5. Probe, zwei Probestücke ganz wie die vorigen geschweisst: das erste vorzüglich gelungen, beim Abbiegen sehr zähe; das zweite Stück, ebenfalls zähe, zeigte einen blanken, glatten Bruch, ist also weniger gut geschweisst.

6. Probe, zwei Stücke in stärkerer Hitze bei Coaks- und Steinkohlenfeuer mit Lehpulver geschweisst: beide Schweissungen unvollkommen; die Stücke zeigen sich beim Abbiegen ziemlich spröde, das eine zeigt einen porösen schlackigen Bruch, das andere eine grössere blanke Stelle im Bruch.

7. Probe, ein Stück bei stärkerer Hitze im Steinkohlenfeuer mit Lehpulver geschweisst: die Schweissung scheint gut, aber das Stück verhält sich beim Abbiegen ziemlich spröde.

8. Probe, zwei Stücke bei mittlerer Hitze im Steinkohlenfeuer mit Lehpulver geschweisst: eines derselben ist fehlerhaft, das andere gut, verhält sich aber beim Abbiegen in Folge zu langen Liegens im Feuer zu spröde.

9. Probe, ein Stück bei mittlerer Hitze im Steinkohlenfeuer mit Lehpulver geschweisst; die Theile wurden auf eine Länge von 12 cm übereinander gelegt und stark ausgestreckt: verhält sich beim Abbiegen ziemlich zähe, bis es bricht; aber vom Bruche ausgehend hat sich die Schweissfuge geöffnet.

10. Probe, ein Stück bei stärkerer Hitze mit Lehpulver geschweisst, dann stark ausgeschmiedet, bis 7 mm Durchmesser herab: verhält sich ziemlich zähe; doch zeigt der Bruch einen der Schweissfuge entsprechend verlaufenden Spalt.

11. Probe, ein Stück bei stärkerer Hitze im Steinkohlenfeuer mit Quarzsand geschweisst: verhält sich ziemlich spröde, zeigt einen kleinen Fehler aussen, sonst recht gut geschweisst.

Der Vergleichung halber wurden nun auch noch 4 ebensolche Vorproben mit Schweisseisenstücken von 20 mm Durchmesser angestellt.

1. Probe, zwei Stücke bei mittlerer Hitze im Steinkohlenfeuer mit Quarzsand geschweisst: Schweissung ganz fehlerfrei; die Stücke verhalten sich beim Abbiegen sehr zähe.

2. Probe, zwei Stücke bei guter mittlerer Hitze im Steinkohlenfeuer mit Schweisspulver geschweisst: kleine Fehler im Bruch, sonst gut gelungen, zähes Verhalten beim Abbiegen.

3. Probe, ein Stück bei guter Hitze mit Lehpulver geschweisst: Bruch kurz, ziemlich spröde, aber die Schweissung ohne Fehler; der Stab in einer Entfernung von 5 cm vom Bruch gespalten.

4. Probe, ein Stück bei guter Hitze mit Lehm geschweisst, die Theile auf eine Länge von 15 cm übereinander gelegt: verhält sich beim Abbiegen sehr zähe, Bruch fehlerfrei, gute Schweissung.

Nach diesen Vorversuchen ergab sich keine Veranlassung, von dem gewöhnlich gebrauchten Schweissmittel: Quarzsand abzugehen. Dieser wurde daher bei den Hauptversuchen durchgehends angewandt.

Für Schweisseisen wurde die gewöhnliche Schweiss-hitze, Weissgluth, gebraucht, für Flusseisen eine etwas geringere, am Uebergang von Roth zu Weiss stehende als am besten erkannt.

Da sich, wie schon oben gesagt, das Feuer im Laboratorium als etwas zu schwach erwiesen hatte, so wurden in demselben nur die Schweissungen mit den Stücken kleineren Querschnittes Nr. 4—8 und Nr. 11—14, und zwar durchweg auf dem Amboss mit dem Handhammer

gemacht. Die anderen Stücke Nr. 1—3 und Nr. 9—11 wurden in einem stärkeren Steinkohlenfeuer der Kustermann'schen Werkstätte unter dem Dampfhammer geschweisst.

Die Prüfung der geschweissten Stücke bei diesen Hauptproben, sowie die des Materials an den ungeschweissten Stücken geschah mittelst der Zugprobe, für welche sämtliche Stücke in den bekannten und geeigneten Formen vorbereitet wurden: die von ursprünglich kreisförmigen und quadratischen Querschnitten in Rundstab-Form, diejenigen von rechteckigem Querschnitt in Lamellenform. An diesen Stücken wurden Elasticitätsmodul und Elasticitätsgrenze und meistens auch die Streckgrenze mittelst meines Spiegelapparates bestimmt, wobei erstere Grenze als Proportionalitätsgrenze genommen und letztere Grenze dahin gelegt wurde, wo die Scalen rasch durch die Gesichtsfelder der Fernrohre liefen. Ferner wurde die Bruchgrenze oder die Zugfestigkeit, die Dehnung nach dem Bruch für ursprünglich 250 cm Länge und die Querschnitts-Contraction gemessen auf die gewöhnliche Weise mit den bekannten Mitteln.

Die Resultate dieser Versuche sind in Tab. I enthalten, welche hiernach keiner weiteren Erläuterung mehr bedarf.

Man sieht aus dieser Tabelle, wenn man zunächst nur die Zugfestigkeiten in Vergleich zieht, dass die in dem kräftigen Feuer der Schmiede in der Kustermann'schen Werkstätte und unter dem Dampfhammer gemachten Schweissungen alle gelungen sind, während die im schwächeren Feuer des Laboratoriums unter dem Handhammer ausgeführten mehrere mehr oder wenig misslungene (Nr. 6 b, Nr. 7 b und c, Nr. 8 b) ergaben. Ob jenes günstigere Resultat dem stärkeren Feuer, also dem weniger langen Liegen der Stücke in demselben, oder den stärkeren Schlägen des Dampfhammers zuzuschreiben ist, suchte ich dadurch zu entscheiden, dass ich von fünf Stangen mit den Querschnitten:

Nr. 15	Flacheisen	32/12 mm	} Flusseisen
„ 16	Quadratischeisen	19/16 mm	
„ 17	Rundeisen	26 mm	
„ 18	„	23 mm	
„ 19	„	26 mm	Schweisseisen

je drei 50 cm lange Stücke abhauen liess, von denen das eine, a, ungeschweisst geprüft wurde, während die beiden anderen auseinander gehauen und in dem stärkeren Feuer der Kustermann'schen Schmiede geschweisst wurden, und zwar das eine, b, mit dem Handhammer auf dem Amboss, das andere, c, unter dem Dampfhammer. Die Tabelle II gibt die Resultate dieser zweiten Versuchsreihe.

Wiederum sind alle die unter dem Dampfhammer vorgenommenen Schweissungen vollständig gelungen,

während die unter dem Handhammer vorgenommenen einige mehr oder wenige misslungene (Nr. 17 b, dann auch Nr. 16 b und 19 b) aufweisen, wenn auch nicht so ganz misslungen, wie die im schwächeren Feuer gemachten.

Hiernach dürfte für das Schweissen des Flusseisens ausser der schon oben ausgesprochenen Vorschrift, dass die Wärme nicht zu hoch, am Uebergang von der Roth- zur Weissglühhitze, höchstens am Anfang der Weissgluth gehalten werden dürfe, noch die weitere, die eigentlich selbstverständliche folgen: Kräftiges Feuer, damit die Stücke nicht zu lange darin liegen müssen, und starke, rasch aufeinander folgende Schläge, d. h. schnelles Arbeiten während der eigentlichen Schweissoperation, damit die Stücke, welche ohnehin nicht so warm sind, wie beim Schweisseisen, nicht zu sehr erkalten. Je mehr diese Vorschrift befolgt wird, desto sicherer erreichen die Schweissungen bei Flusseisen denselben Grad der Güte, wie beim Schweisseisen, welches bekanntlich, und wie die Resultate in den Tabellen I und II zeigen, auch nicht immer vollkommen gute Schweissstellen gibt.

Die Elasticitäts- sowohl als auch die Streckgrenze wird durch das Schweissen in der Regel erniedrigt, bei Flusseisen und bei Schweisseisen. Wo sie erhöht scheint, da kommt das sicherlich nur von Ungleichmässigkeiten innerhalb einer und derselben Stange her, die sich gerade bei diesen Zahlen am deutlichsten zu erkennen geben. Die Erniedrigung der Elasticitätsgrenze kommt vor sowohl bei vollständig gelungenen Schweissungen, z. B. Nr. 4 b, Nr. 13 b, als auch bei mehr oder weniger misslungenen, z. B. Nr. 8 b, während bei Schweissungen der letzteren Art auch gar keine Erniedrigung der Elasticitätsgrenze vorkommen kann, z. B. bei Nr. 7 c. Die in Rede stehende Erscheinung scheint also von der Schweissung an sich unabhängig zu sein und lediglich von dem dabei stattfindenden Ausglühen des Stückes und zum Theil vielleicht auch vom Hämmern desselben herzurühren; deshalb zeigte sie sich auch nicht immer, sondern nur bei solchen Stücken, die wahrscheinlich nach dem Walzen nicht mehr ausgeglüht, oder rasch abgekühlt wurden, kurz, bei welchen die Elasticitätsgrenze auf künstlichem Wege erhöht worden war.

Die Dehnung nach dem Bruche bleibt bei den geschweissten Stücken immer hinter derjenigen der ungeschweissten zurück: sie wird um so grösser, je besser die Schweissung gelungen ist, erreicht aber die des ungeschweissten Materials niemals wieder, auch dann nicht, wenn der Bruch ausserhalb der Schweissstelle erfolgt und die Festigkeit des geschweissten Materials ebenso gross ist, als des ungeschweissten (s. z. B. Nr. 4 b, dann Nr. 3 b).

Dies gilt aber, wie die Resultate in Tab. I und II zeigen, ebenso gut für Schweisseisen wie für Flusseisen und lässt sich auch leicht erklären: das Material wird durch die Operation des Schweissens vor Allem ungleichartiger; dann aber auch an der Schweissstelle und in deren Nähe härter, spröder, wie schon das Aussehen der Brüche in der Schweissstelle zeigt. Daher ist auch die Querschnitts-Contraction bei solchen Brüchen stets kleiner, als beim ungeschweissten Material, und zwar ebensowohl wieder beim Schweisseisen als beim Flusseisen. Nur wenn der Bruch ausserhalb der Schweissstelle erfolgt, wie bei 4 b, 5 c, 15 b und c ist, wie natürlich, die Querschnitts-Contraction des geschweissten Stücks gleich der des ungeschweissten. (Bei den gleichfalls hierher gehörigen Fällen Nr. 18 c und 19 c rührt die Verriegerung der Querschnitts-Contraction von den Fehlern an der Bruchstelle, bei 18 c, wo die Bruchstelle nur 11 mm von der Schweissstelle entfernt ist, z. Th. vielleicht auch von zu grosser Nähe derselben an der Schweissstelle her.)

Der Kohlenstoffgehalt des hier untersuchten Fluss-eisens, Stangeneisen, das im Kleingewerbe das Schweisseisen ersetzen soll, ist natürlich ein sehr geringer. Ich habe, um Anhaltspunkte für den Einfluss der chemischen Zusammensetzung auf die Schweissbarkeit zu bekommen, drei Analysen machen lassen, eine von Nr. 4, das so vorzüglich schweisste, die zweite von Nr. 6, das schlecht

schweisste, und die dritte von einer Stange Nr. 0 mit dem Querschnitt 40/14 mm, von welcher ein Stück so schlecht schweisste, dass es gar nicht geprüft wurde. *)

Die Resultate dieser Analysen sind folgende:

	Nr. 4	Nr. 6	Nr. 0
Kohlenstoff	0,086%	0,101%	0,057%
Schwefel	0,043%	0,049%	0,061%
Silicium	0,0047%	0,0116%	0,0156%
Phosphor	0,106%	0,129%	0,077%

Es hatte also, im Widerspruche mit Wedding's Schlussfolgerung (Mittheilungen aus den k. techn. Versuchsanstalten zu Berlin, 1883, 2. Heft, S. 74) gerade das am besten schweisende Flusseisen Nr. 4 den geringsten Siliciumgehalt.

Mir scheint übrigens, dass ein gutes Gelingen des Schweissens bei Flusseisen von der Art, wie es als Handels- oder Stangeneisen anstatt Schweisseisen zur Verwendung kommt, weniger von seiner chemischen Zusammensetzung als von einer genauen Befolgung der oben (S. 35) ausgesprochenen Vorschriften bei der Operation des Schweissens selbst abhängt.

*) Es war zu warm geworden und konnte durch kein anderes Probestück derselben Stange ersetzt werden, da diese mittlerweile verbraucht worden war. Ich bemerke übrigens ausdrücklich, dass diese und die in den Tabellen bei 2 c, 9 b und 15 c aufgeführten Schweissungen die einzigen sind, die schon ihrem Ansehen nach verworfen würden.

München, im Februar 1885.

Tabellen.

Nr.	Des urspr. Querschnitts		Exemplar	Verfahren beim Schweißen und Beobachtungen dabei	Querschn. d. Probestückes		
	Form	Dimensionen mm			Form	Dimensionen cm	Grösse qcm

A. Fluss-

1	□	80 × 30	a	Ungeschweisst	□	5,56 × 1,83	10,17
	□	80 × 30	b	Bei starkem Steinkohlenfeuer in der Schmiede der Kustermann'schen Werkstätte mit einer Hitze unter dem Dampfhammer geschweisst	□	5,68 × 1,81	10,28
	□	80 × 30	c	Im gleichen Feuer mit einer ersten Hitze unter dem Dampfhammer und einer zweiten schwächeren auf dem Amboss geschweisst. Schweissung nicht so gelungen wie bei b	□	5,79 × 1,80	10,42
2	□	80 × 25	a	Ungeschweisst	□	5,51 × 1,83	10,08
	□	80 × 25	b	Im gleichen Feuer w. d. v. mit einer Hitze unter dem Dampfhammer geschweisst	□	5,53 × 1,84	10,17
	□	80 × 25	c	Im gleichen Feuer w. d. v. mit einer Hitze unter dem Dampfhammer geschweisst. Das Stück hatte vorher wegen zu schwacher Hitze schlecht geschweisst; es wurde deshalb abgehauen und die umgekehrten Theile wieder zusammengeschweisst. Schweissung sehr gut	□	5,16 × 1,78	9,19
3	□	45 × 22	a	Ungeschweisst	□	2,50 × 1,84	4,60
	□	45 × 22	b	Im gleichen Feuer w. d. v. mit einer Hitze zuerst auf dem Amboss geheftet und dann unter dem Dampfhammer geschweisst	□	2,70 × 1,77	4,78
	□	45 × 22	c	Ganz so w. d. v. Stück behandelt	□	2,75 × 1,77	4,87
4	□	34 × 15	a	Ungeschweisst	□	1,48 × 1,49	2,20
	□	34 × 15	b	In dem schwächeren Steinkohlenfeuer des Laboratoriums in zwei Hitzen mit dem Handhammer geschweisst; schweisst gut bei nicht zu scharfer Hitze	□	1,62 × 1,37	2,22
5	□	32 × 14	a	Ungeschweisst	□	1,40 × 1,40	1,96
	□	32 × 14	b	In dem gleichen Feuer w. d. v. in zwei Hitzen mit dem Handhammer geschweisst; die zweite Hitze etwas stärker als die erste, die nicht genügte	□	1,33 × 1,35	1,79
	□	32 × 14	c	(Von einer anderen Stange.) In dem gleichen Feuer w. d. v. in zwei Hitzen mit dem Handhammer geschweisst; schweisst besser als das vorige	□	1,56 × 1,37	2,13
6	□	30 × 30	a	Ungeschweisst	○	d = 1,79	2,52
	□	30 × 30	b	Im gleichen Feuer w. d. v. in zwei Hitzen mit dem Handhammer geschweisst	○	d = 1,79	2,52
7	○	d = 28	a	Ungeschweisst	○	d = 1,79	2,52
	○	d = 28	b	Im gleichen Feuer w. d. v. in zwei Hitzen mit dem Handhammer geschweisst	○	d = 1,79	2,52
	○	d = 26	c	(Von einer andern Stange.) In dem gleichen Feuer w. d. v. in zwei Hitzen mit dem Handhammer geschweisst	○	d = 1,50	1,77
8	○	d = 20	a	Ungeschweisst	○	d = 1,11	0,968
	○	d = 20	b	Im gleichen Feuer w. d. v. in zwei Hitzen mit dem Handhammer geschweisst	○	d = 1,11	0,968
	○	d = 20	c	Ganz w. d. v. behandelt	○	d = 1,12	0,985

B. Schweiss-

9	□	83 × 18	a	Ungeschweisst	□	6,07 × 1,80	10,93
	□	83 × 18	b	In dem starken Steinkohlenfeuer der Kustermann'schen Werkstätte unter dem Dampfhammer geschweisst. Das Stück schweisste das erste Mal nicht; es musste nochmals gestaucht und noch zweimal Hitze gemacht werden	□	6,00 × 1,51	9,06
10	□	65 × 27	a	Ungeschweisst	□	4,17 × 1,84	7,67
	□	65 × 27	b	Im gleichen Feuer w. d. v. in einer Hitze unter dem Dampfhammer geschweisst. (Beim Abhauen sehr zäh.) Sehr gut geschweisst	□	4,19 × 1,76	7,37
11	□	42 × 12	a	Ungeschweisst	□	2,14 × 1,20	2,57
	□	42 × 12	b	Im schwächeren Steinkohlenfeuer des Laboratoriums in zwei Hitzen mit dem Handhammer geschweisst	□	2,18 × 1,10	2,40
12	□	34 × 16	a	Ungeschweisst	□	1,46 × 1,62	2,36
	□	34 × 16	b	Im gleichen Feuer w. d. v. in zwei Hitzen mit dem Handhammer geschweisst	□	1,76 × 1,47	2,59
13	□	26 × 26	a	Ungeschweisst	○	d = 1,50	1,77
	□	26 × 26	b	Im gleichen Feuer w. d. v. in zwei Hitzen mit dem Handhammer geschweisst	○	d = 1,50	1,77
14	○	d = 26	a	Ungeschweisst	○	d = 1,50	1,77
	○	d = 26	b	Im gleichen Feuer wie die vorigen in zwei Hitzen mit dem Handhammer geschweisst. Sehr zäh; schweisst sehr gut	○	d = 1,49	1,74

Elast. Modul. at	Elast. Grenze at	Streck-Grenze at	Zug-Festigk. at	Dehnung auf urspr. 250 mm Proc.	Querschnitt-Contract. Proc.	Aussehen des Bruches etc.
------------------	------------------	------------------	-----------------	---------------------------------	-----------------------------	---------------------------

Eisen.

2°270000	2060	2750	4350	31,3	59	Sehnig, mit aufgezo-genem Rand.
2°290000	2240	2900	4360	18,7	21	Bruch an der Schweissstelle, ziemlich grobkörnig, mit Gussfehler und kurzem Spalt nach der Schweissfuge; nach dieser äusserlich an einer Kante aufgerissen.
2°270000	2210	2500	3930	6,9	7	Bruch an der Schweissstelle; sehr grobkörnig; nach der Schweissfuge abgesetzt.
2°240000	2280	2480	4190	28,2	56	Sehnig, mit aufgezo-genem Rand.
2°250000	2260	2650	4280	11,7	15	Bruch an der Schweissstelle; grobkörnig, mit einem Lappen nach der Schweissfuge; äusserlich nach dieser etwas aufgerissen.
2°270000	2280	2720	4520	13,4	12	Bruch ähnlich dem vorigen; etwas feiner; der Lappen etwas kleiner.
2°180000	2500	3000	4870	23,1	42	Sehnig, mit vielen Gussblasen.
2°260000	2510	3200	4870	11,4	12	Bruch an der Schweissstelle; grobkörnig, etwas zerrissen in Folge der Schweissung; äusserlich, wie scheint auch in Folge der Schweissung, etwas aufgerissen.
2°290000	2670	3100	5080	14,8	19	Bruch an der Schweissstelle; im Korn wie vorhin, aber mit langen Lappen nach der Schweissfuge.
2°240000	2620	3070	4860	24,7	52	Sehnig, mit aufgezo-genem Rand.
2°180000	2140	>2700	4840	17,2	48	Bruch ausserhalb der Schweissstelle, sehnig mit einer glitzernden Stelle.
2°180000	2680	3000	4600	29,8	65	Sehnig, mit aufgezo-genem Rand.
2°090000	1820	>2200	4190	12,6	67	Bruch ausserhalb der Schweissstelle, ganz wie der vorige.
2°150000	1760	>2700	4340	18,2	69	Alles wie vorhin bei b.
2°260000	3180	3280	4920	22,8	42,5	Ziemlich feinkörnig, glitzernd, mit einer grösseren und vielen kleineren Gussblasen.
2°210000	1780	2600	2820	0	0	Bruch an der Schweissstelle, grösstentheils durch schlecht geschweisste Stellen; im Uebrigen grobkörnig.
2°100000	1790	2380	4330	11,9	15	Ziemlich grobkörnig, mit sehniger Stelle am Rand; äusserlich aufgerissen.
—	—	—	800	—	—	Bruch an der Schweissstelle; durchweg durch schlecht geschweisste und verbrannte Stellen.
2°180000	1850	2500	3220	0,9	6	Bruch an der Schweissstelle, grösstentheils schief nach der Schweissfuge verlaufend; ausserdem ziemlich grobkörnig.
2°170000	2690	3100	4700	23,2	67	Bruch fehnig mit aufgezo-genem Rand
2°110000	1960	2700	3980	6,5	15	Bruch an der Schweissstelle, grösstentheils schief nach der Schweissfuge verlaufend, ausserdem z. Th. ziemlich feinkörnig, z. Th. sehnig.
2°120000	2230	2800	4210	10,9	20	Bruch ganz ähnlich dem vorigen, ohne körnige Stellen.

Eisen.

2°250000	1740	2300	3700	26,1	42	Hell und dunkel ziemlich grob geschichtet; stellenweise gespalten.
2°220000	1210	1700	3520	13,4	23	Bruch a. d. Schweissstelle, ähnlich wie bei a; in der Mitte nach der Schweissfuge abgesetzt; äusserlich aufgerissen, besonders an den Enden der Schweissstellen.
2°340000	1170	>1600	3520	28,5	45	Bruch ähnlich wie bei 9 a, etwas dunkler.
2°180000	1020	1600	3520	20,9	34	Bruch a. d. Schweissstelle, nahe an deren einem Ende, wo ein äusserster Lappen nach der Schweissfuge reisst; äusserlich stark aufgerissen, besonders am anderen Ende der Schweissstelle.
2°160000	1170	1950	3600	11,4	18	Bruch ausserhalb der 250 mm, fehnig, feingeschichtet, mit krystallinischen Stellen.
2°290000	940	1600	3440	8,1	14	Bruch an der Schweissstelle, nächst dem einen Ende, fehnig und feingeschichtet wie bei a, aber viel heller und ohne krystallinische Stellen.
2°200000	1490	2000	4000	24,3	42	Sehr fehnig und feingeschichtet, gespalten.
2°160000	1260	1900	3900	15,3	—	Bruch in der Mitte der Schweissstelle, grösstentheils schief nach der Schweissfuge verlaufend, sonst sehr fehnig und feingeschichtet. Contraction nicht zu messen wegen des ausseren Lappens.
2°145000	1550	2100	3870	21,5	39	Bruch fehnig, hell und dunkel unregelmässig gemischt, mit kleinen krystallinischen Stellen.
2°155000	1410	2000	3960	15,6	17	Bruch grösstentheils schief nach der Schweissfuge verlaufend, ausserdem grobkörnig.
2°125000	1410	2100	4290	18,3	36	Bruch sehr fehnig, mit breiten sehr hellgrauen und dunkeln schmalen Schichten; spaltig und unregelmässig.
2°170000	1440	1900	3560	9,2	16	Bruch an der Schweissstelle, dem vorigen ziemlich ähnlich, aber körnige Stellen enthaltend.

Nr.	Des urspr. Querschnitts		Exemplar	Verfahren beim Schweißen und Beobachtungen dabei	Querschn. d. Probestückes		
	Form	Dimensionen mm			Form	Dimensionen mm	Grösse qcm

A. Fluss-

15	□	32 × 12	a	Ungeschweisst	□	2,05 × 1,04	2,13
	□	32 × 12	b	In dem starken Feuer der Schmiede der Kustermann'schen Werkstätte bei einer mittleren Hitze mit dem Handhammer geschweisst; schweisst sehr gut	□	2,08 × 0,92	1,92
	□	32 × 12	c	Im gleichen Feuer in einer gleichen Hitze unter dem Dampfhammer geschweisst; schweisst gut; zwei vorher auf gleiche Weise geschweisste Stücke wurden verworfen, da sie nach dem Erkalten Schiefen zeigten.	□	2,04 × 0,88	1,795
16	□	19 × 19	a	Ungeschweisst	○	d = 1,09	0,933
	□	19 × 19	b	Im gleichen Feuer bei einer mittleren Hitze mit dem Handhammer geschweisst; schweisst gut	○	d = 1,09	0,933
	□	19 × 19	c	Im gleichen Feuer in einer gleichen Hitze unter dem Dampfhammer geschweisst; schweisst gut	○	d = 1,09	0,933
17	○	d = 26	a	Ungeschweisst	○	d = 1,50	1,77
	○	d = 26	b	Im gleichen Feuer bei einer mittleren Hitze mit dem Handhammer geschweisst; schweisst sehr gut	○	d = 1,48	1,72
	○	d = 26	c	Im gleichen Feuer in einer gleichen Hitze unter dem Dampfhammer geschweisst; schweisst sehr gut	○	d = 1,48	1,72
18	○	d = 23	a	Ungeschweisst	○	d = 1,30	1,33
	○	d = 23	b	Im gleichen Feuer bei einer mittleren Hitze mit dem Handhammer geschweisst; schweisst gut	○	d = 1,30	1,33
	○	d = 23	c	Im gleichen Feuer bei einer gleichen Hitze unter dem Dampfhammer geschweisst; schweisst gut	○	d = 1,30	1,33

B. Schweiss-

19	○	d = 26	a	Ungeschweisst	○	d = 1,48	1,72
	○	d = 26	b	Im gleichen Feuer bei einer gewöhnlichen Schweisshitze mit dem Handhammer geschweisst; schweisst sehr gut	○	d = 1,48	1,72
	○	d = 26	c	Im gleichen Feuer bei einer gewöhnlichen Schweisshitze unter dem Dampfhammer geschweisst; schweisst sehr gut	○	d = 1,48	1,72

le II.

Elast. Modul. at	Elast. Grenze at	Streck-Grenze at	Zug-Festigk. at	Dehnung auf urspr. 250 mm Proc.	Querschn.-Contract. Proc.	Aussehen des Bruches etc.
------------------	------------------	------------------	-----------------	---------------------------------	---------------------------	---------------------------

Eisen.

2'180000	2465	3000	4790	23,9	66	Sehr feinschnig.
2'185000	2210	3320	4800	15,7	66	Bruch ausserhalb der Schweissstelle; Aussehen wie vorhin; an der Schweissstelle ein klein wenig aufgerissen.
2'200000	2370	3340	5000	20,9	62,5	Bruch ausserhalb der Schweissstelle, welche vollkommen intakt bleibt; Aussehen wie vorhin.
2'220000	2470	3210	4660	21,7	68	Sehr feinschnig, mit aufgezogenem Rand.
2'210000	2250	3110	4340	9,1	9	Bruch an der Schweissstelle, grösstentheils schief längs der Schweissfuge; sonst schnig.
2'170000	2140	2800	4610	13,0	36	Bruch an der Schweissstelle; etwas schief, aber nicht in der Schweissfuge; schnig mit kleinen Gussblasen; an den Enden der Schweissnaht äusserlich aufgerissen.
2'185000	2330	2970	4410	22,9	63	Feinschnig mit aufgezogenem Rand.
2'105000	1090	1750	1920	0,1	1	Bruch an der Schweissstelle in der Schweissfuge, die zum Theil schwarz ist.
2'220000	2030	2330	3340	6,9	18	Bruch an der Schweissstelle, zum Theil nach der Schweissfuge verlaufend, die sich bei 3500 at scharf an der Oberfläche abzeichnet und einerseits öffnet.
2'200000	3385	3460	4890	23,0	62	Sehr feinschnig, mit kantigen Strahlen und aufgezogenem Rand.
2'150000	2710	3160	4850	15,8	28,5	Bruch an der Schweissstelle, die sich bei 4500 at zu öffnen beginnt; z. Th. nach der Schweissfuge, zum andern Theil ziemlich grobkörnig mit Gussblase.
2'150000	2410	3160	4810	14,8	20	Bruch ausserhalb der Schweissstelle, gerade durch, ziemlich grobkörnig, mit Gussblase; Schweissstelle beginnt sich zu öffnen.

Eisen.

2'020000	1310	1750	3900	23,1	41	Gleichmässig schnig, ein wenig gespalten.
2'110000	1310	1750	3430	9,9	10,5	Bruch an der Schweissstelle, schief, aber nur zum kleinsten Theil in der Schweissfuge verlaufend, mit krystallinischer Stelle.
2'010000	1310	1900	3550	12,7	35	Bruch an einer schiefen Stelle ausserhalb der Schweissung, äusserlich stark aufgerissen, aber Schweissung völlig intakt.

XIII. Über das Verhalten gußeiserner, schmiedeiserner und steinerner Säulen im Feuer und bei rascher Abkühlung [Anspritzen].

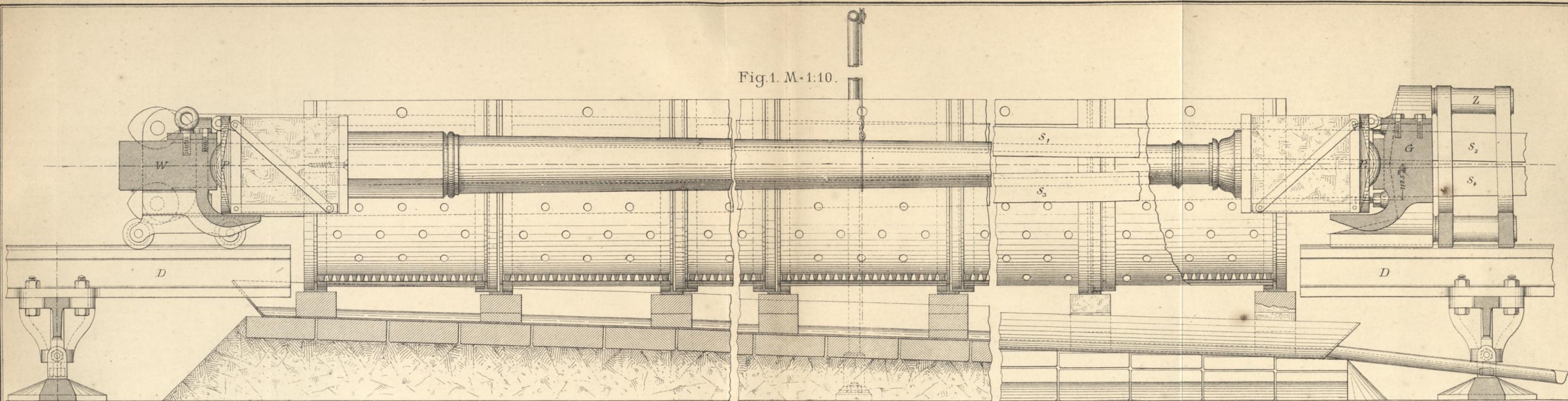


Fig. 1. M-1:10.

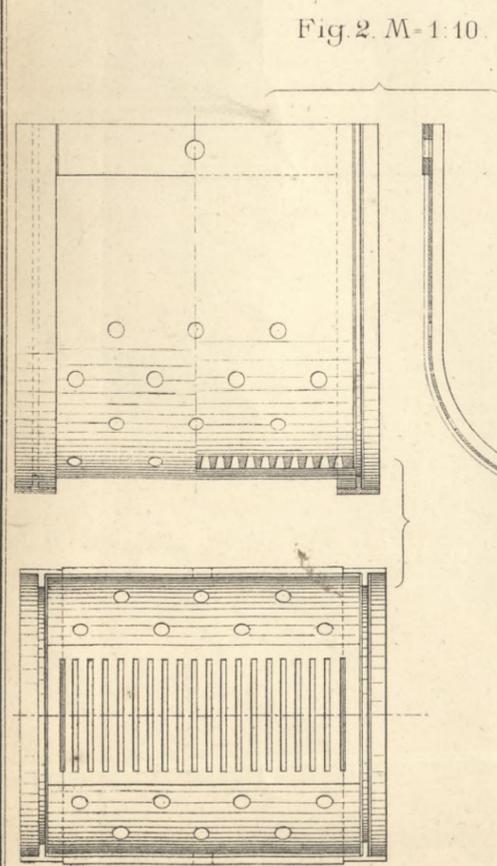


Fig. 2. M-1:10.

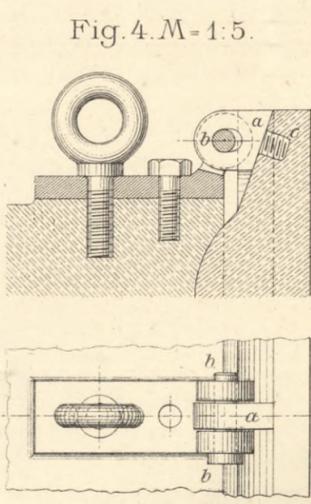
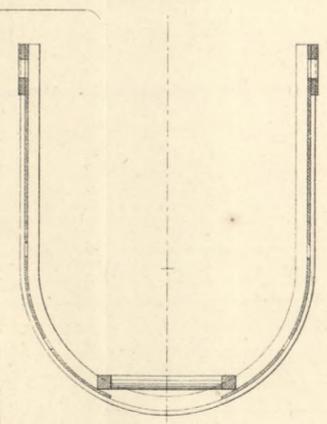


Fig. 4. M-1:5.

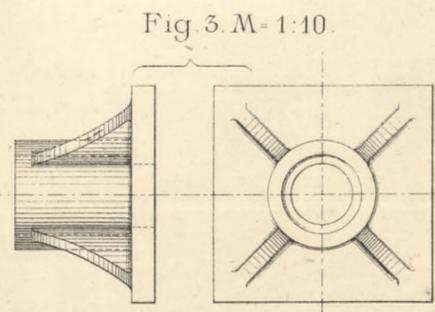


Fig. 3. M-1:10.

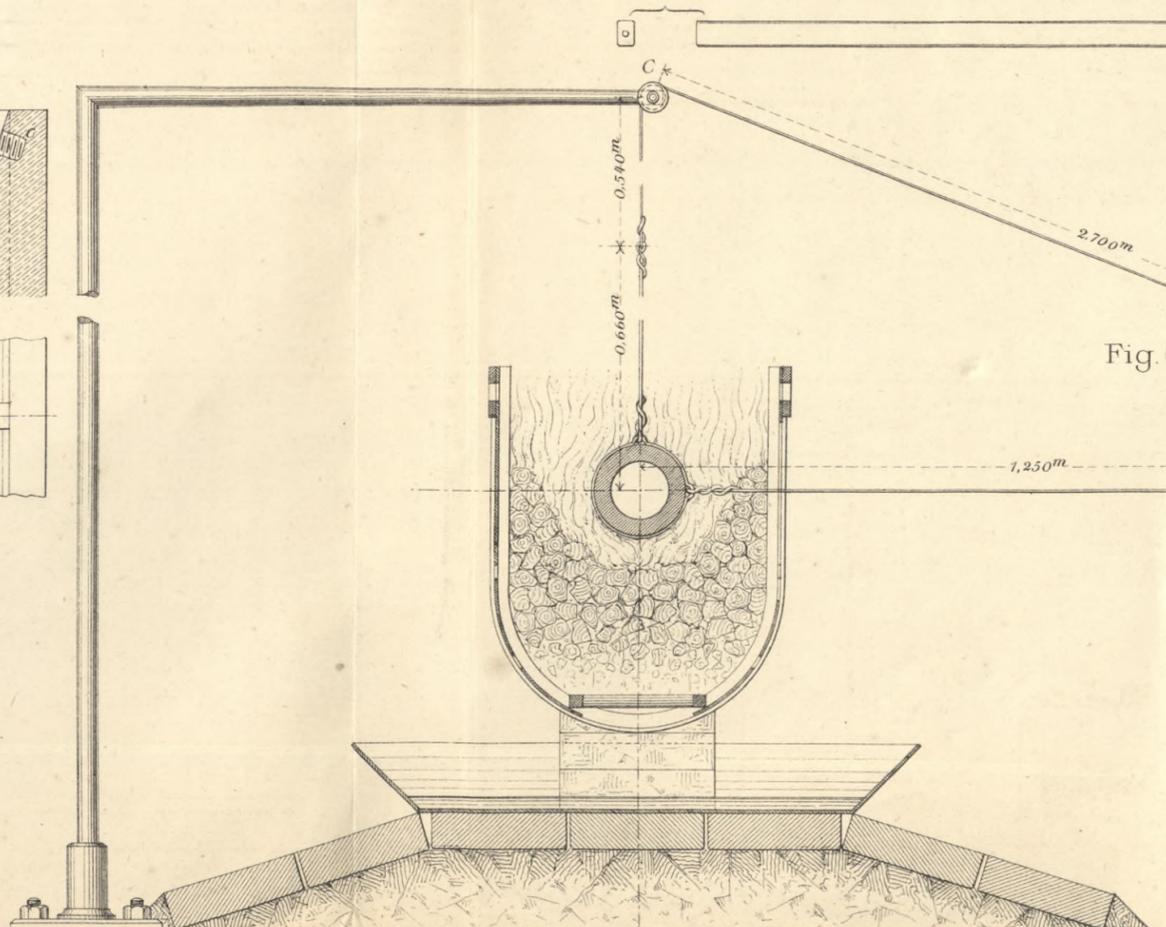
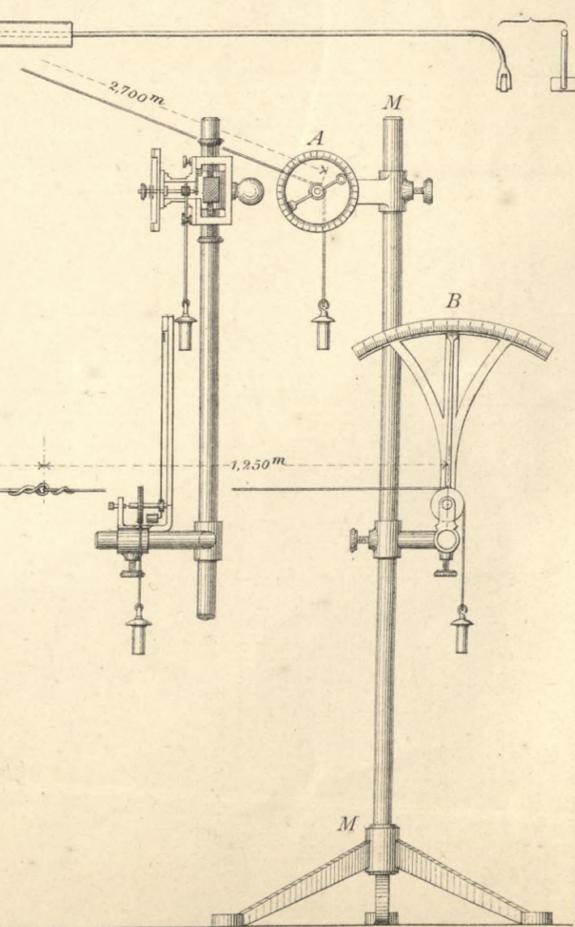
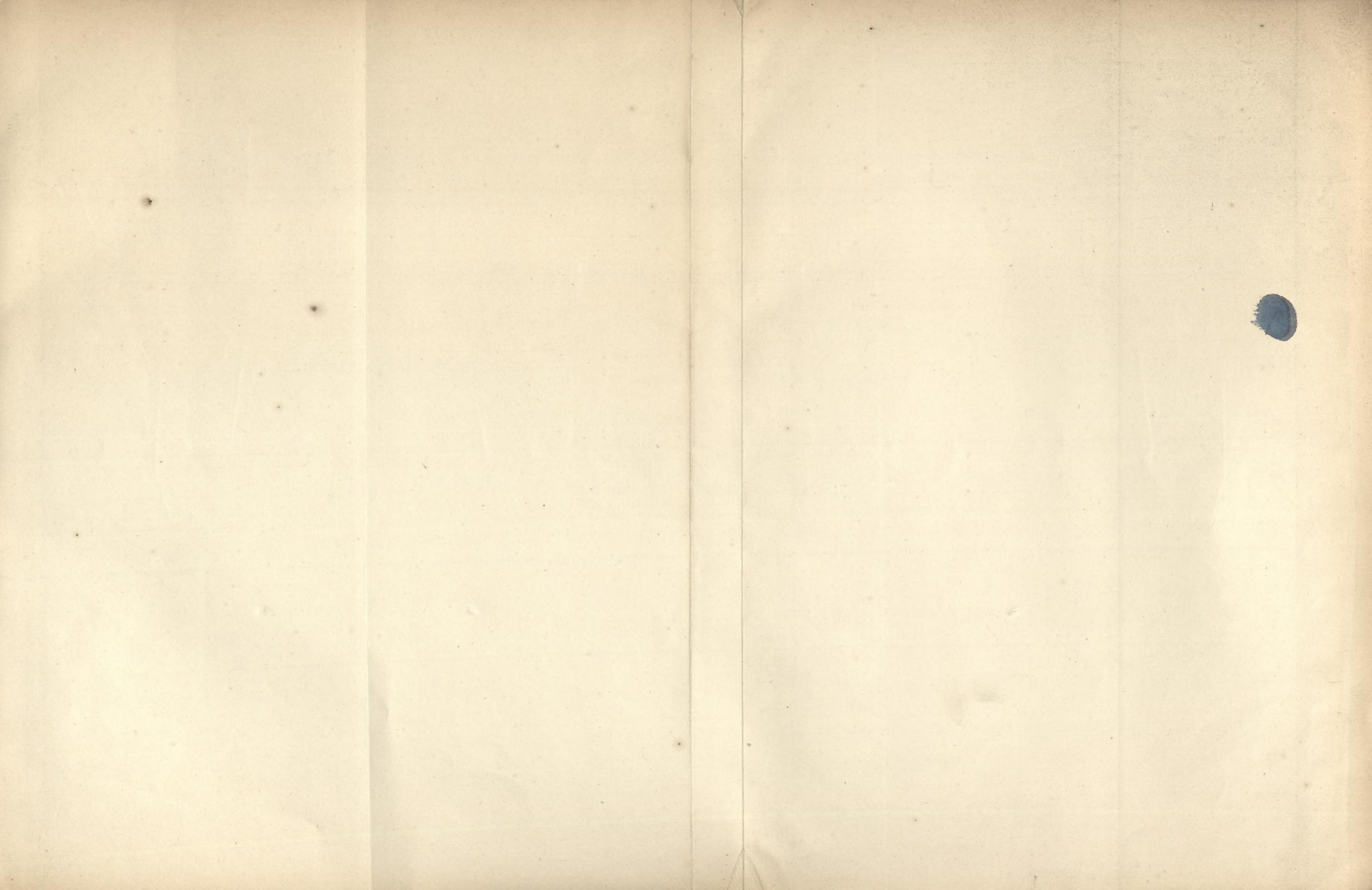


Fig. 6. M-1:10.

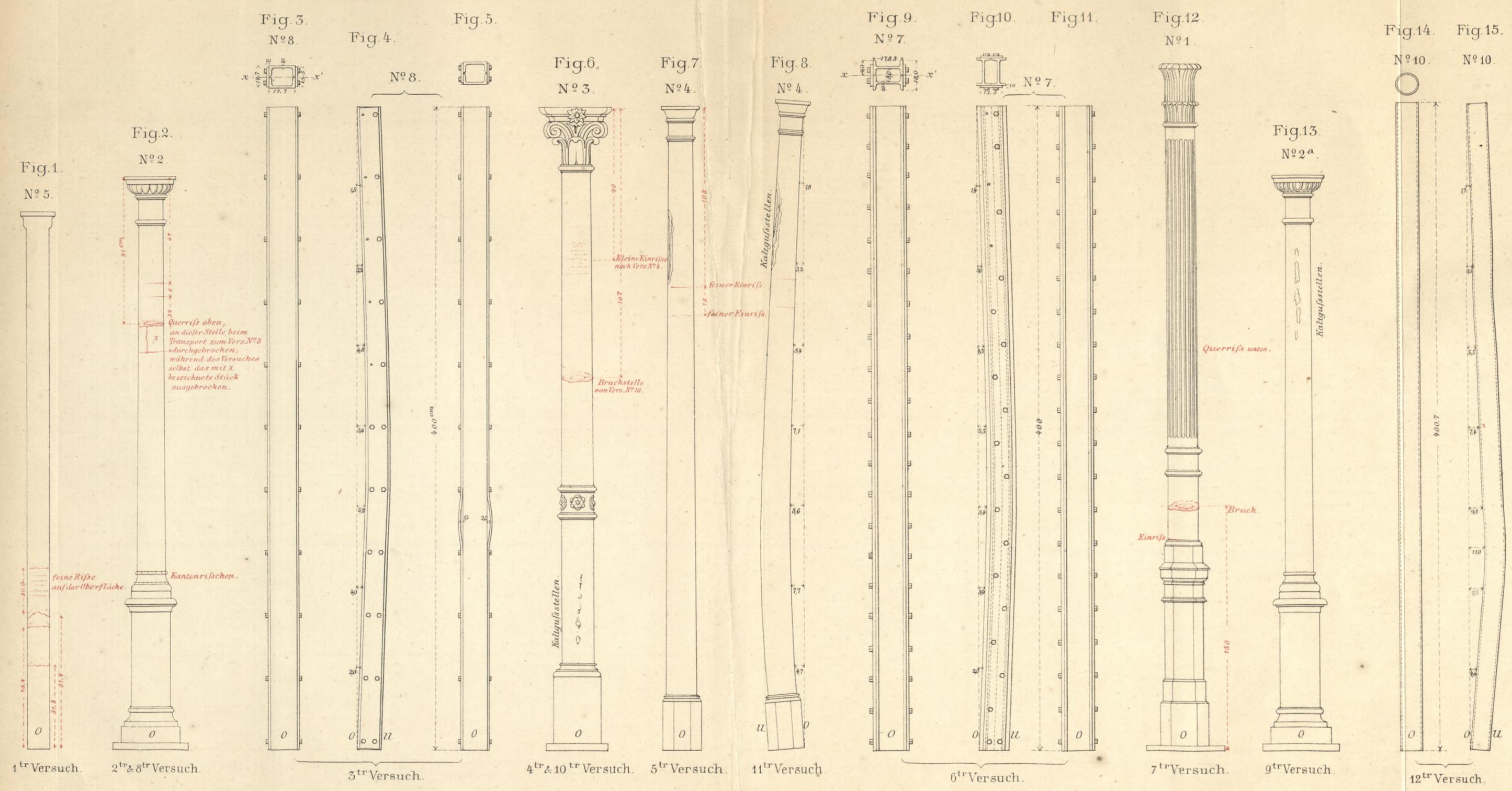
Fig. 5. M-1:10.



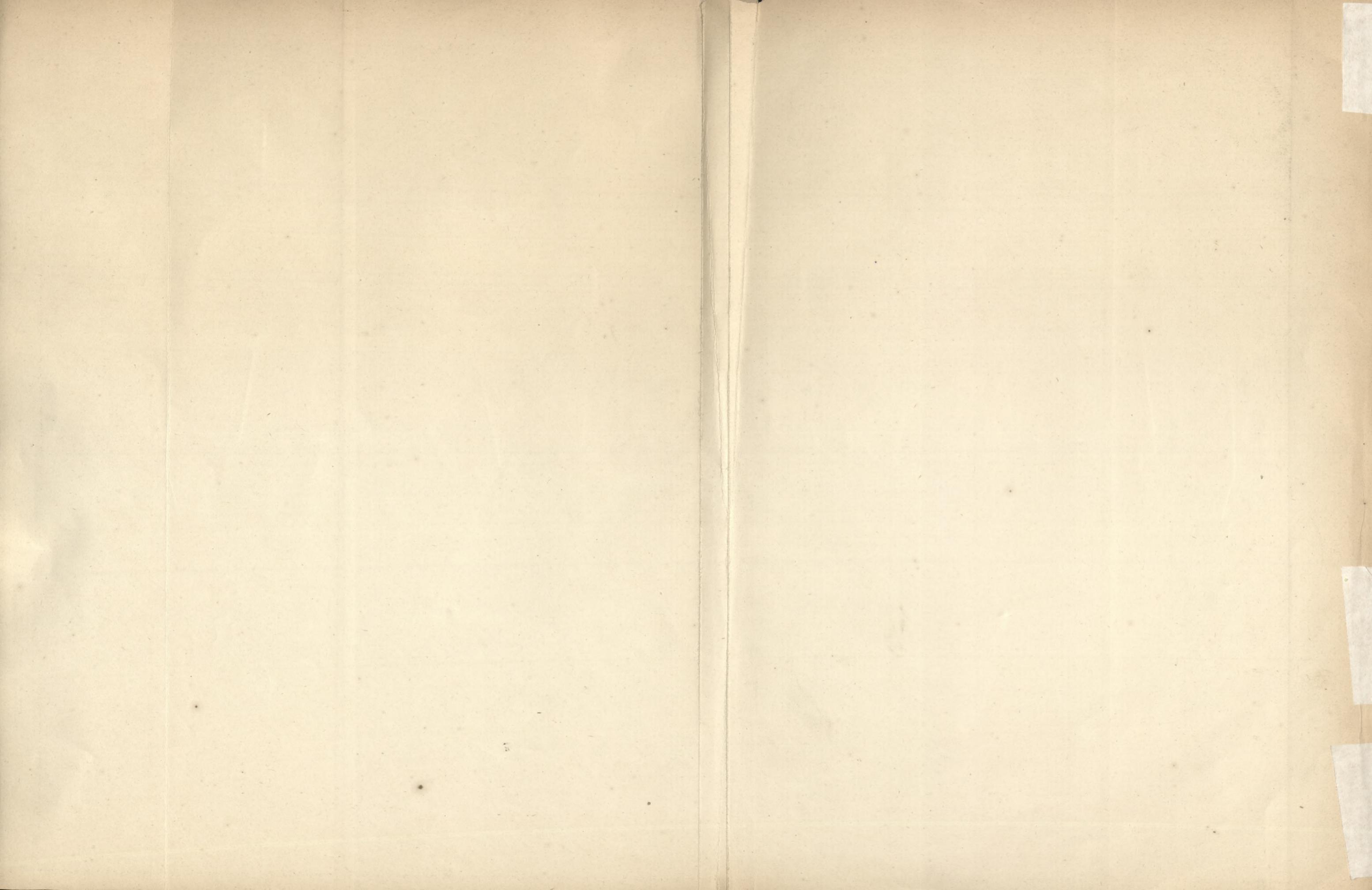


XIII. Über das Verhalten gusseiserner, schmiedeiserner und steinerner Säulen im Feuer und bei rascher Abkühlung [Anspritzen].

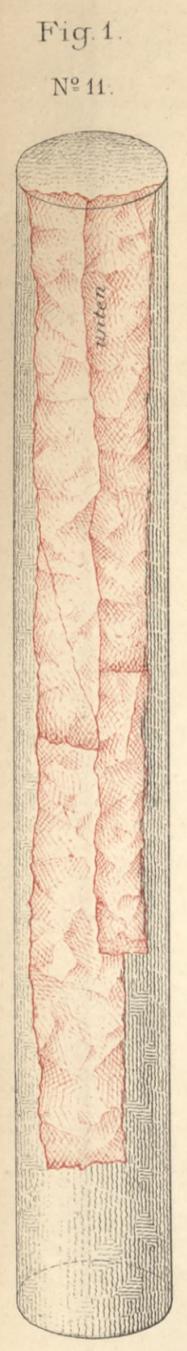
Gusseiserne und schmiedeiserne Säulen.



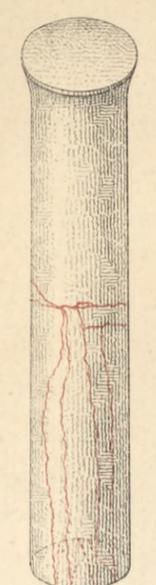
Maafs 1:20.



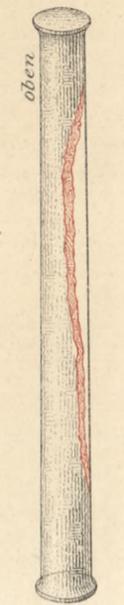
XIII. Über das Verhalten gußeiserner, schmiedeiserner und steinerner Säulen im Feuer und bei rascher Abkühlung [Anspritzen].



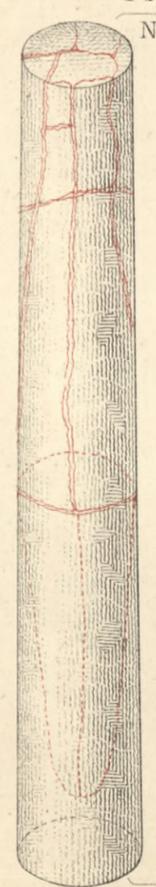
13^{ter} Versuch.



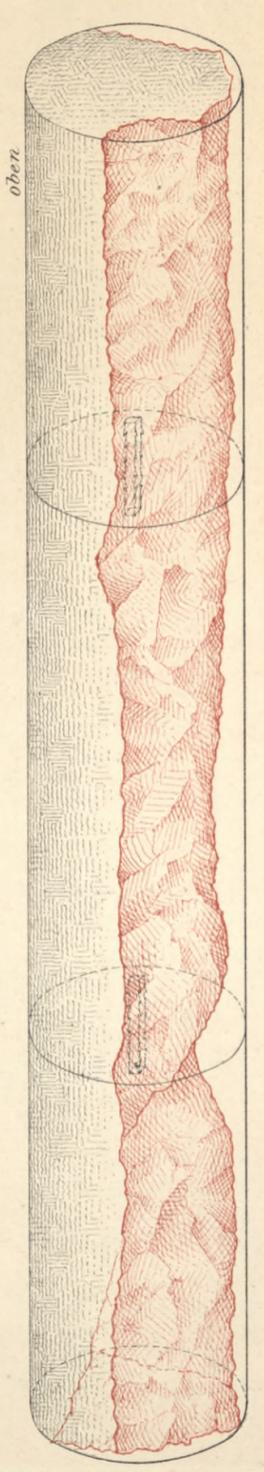
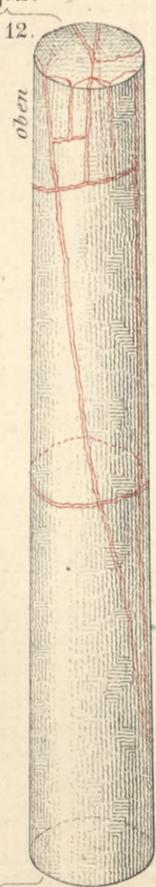
16^{ter} Versuch.



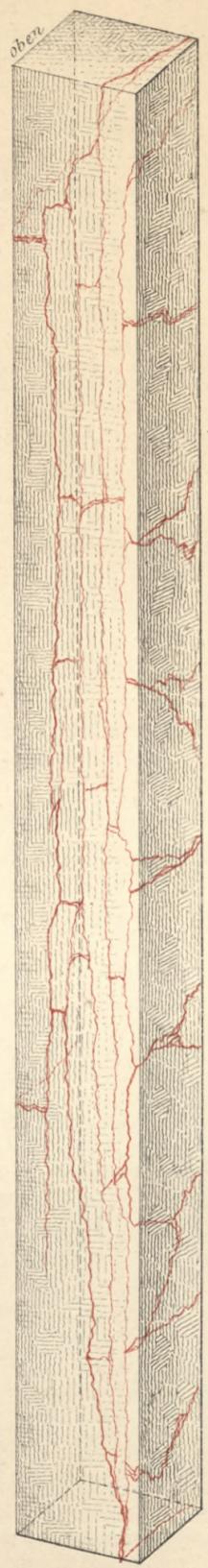
17^{ter} Versuch.



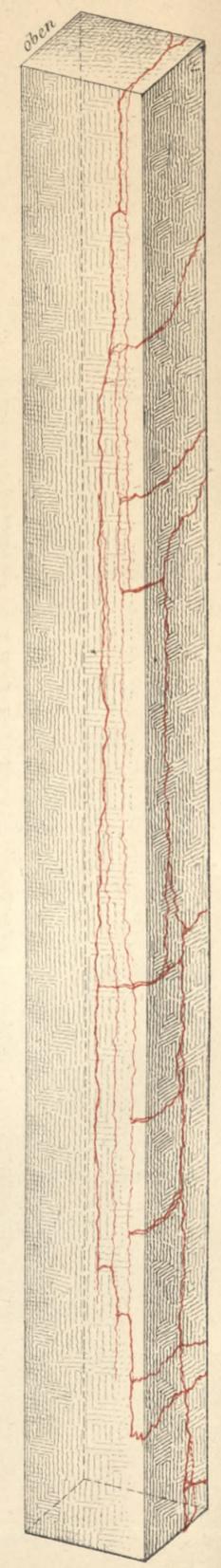
14^{ter} Versuch.



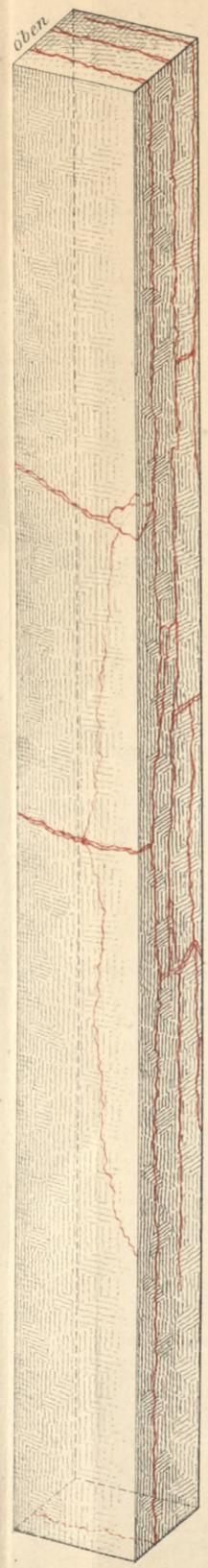
15^{ter} Versuch.



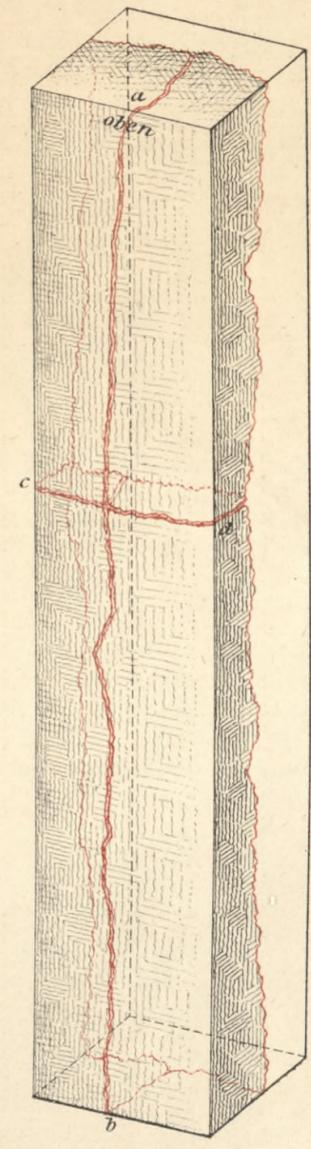
18^{ter} Versuch.



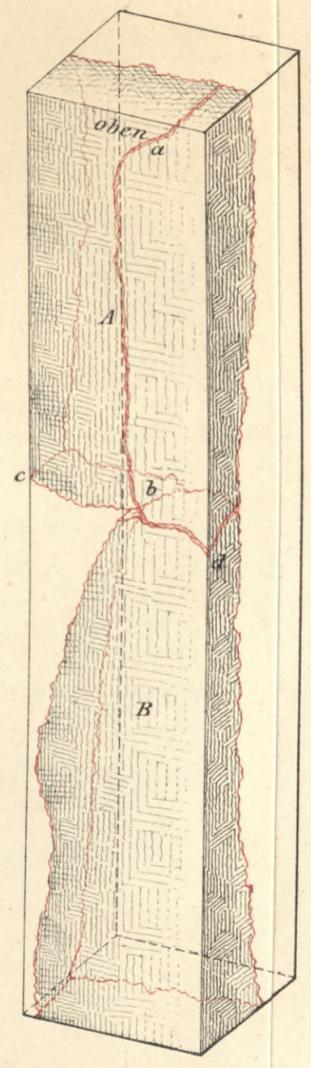
20^{ter} Versuch.



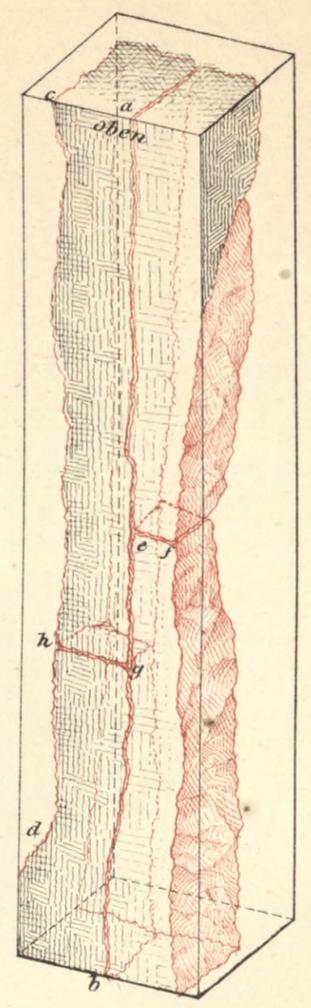
21^{ter} Versuch.



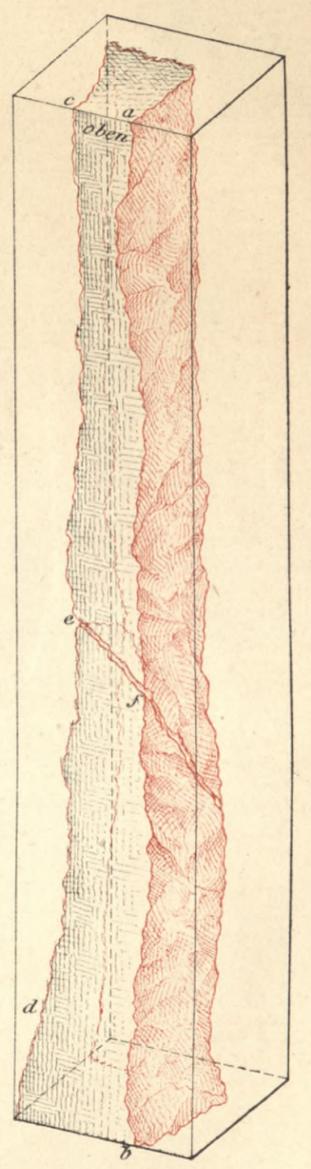
24^{ter} Versuch.



26^{ter} Versuch.



27^{ter} Versuch.



25^{ter} Versuch.

Maafs. = 1:10.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000315040

1884

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000315041

1885

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000315042

1886

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000315043

1887

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000315044

1888

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000315045

1889

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000315046

1891

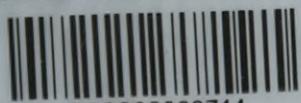
Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000315047

1892

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300714

1883

Biblioteka PK

J.X.47

/ 1883/1892