Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 25/26 (1895)
Heft: 21

Artikel: Das Verhalten des Eisens bei abnorm niedriger Temperatur
Autor: Steiner, Friedr.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-19327

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

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

INHALT: Das Verhalten des Eisens bei abnorm niedriger Temperatur. — Die neue Tonhalle in Zürich. III. — Miscellanea: Dampfverbrauch einer Laval'schen Turbine von 100 P. S. Centrale St. Pankras in London. Hundertundzwanzig Kilometer Fahrgeschwindigkeit. Betriebseinstellung der elektrischen Strassenbahn in Genua. Elektrische Strassenbahn in Luzern. Untersuchung der Wasserverhältnisse der Schweiz. — Konkurrenzen: Denkmal zur Erinnerung an die Begründung der Republik Neuenburg. Provinzialmuseum in Hannover. — Litteratur: Berner-Bauten. — Vereinsnachrichten: Zürcher Ingenieur- und Architekten-Verein. Stellenvermittelung.

Hierzu eine Tafel: Neue Tonhalle in Zürich. Eingang von der südwestlichen Terrasse nach dem Pavillon.

Das Verhalten des Eisens bei abnorm niedriger Temperatur.

Von Professor *Friedr. Steiner* in Prag.[1])

Gestatten Sie den zu besprechenden Stoff zunächst von einem weiteren Gesichtspunkte aus behandeln und die Wirkung ausserordentlich niedriger Wärmegrade auf die Metalle überhaupt, in Betracht ziehen zu dürfen; Wärmegrade, bei welchen die lange als permanent betrachteten Gase flüssig werden. Ich wage mit dieser erweiterten Aufgabe an Sie heranzutreten, da die Ergebnisse der neuesten bezüglichen Untersuchungen ganz ausserordentlich interessant sind und die grossen Fortschritte auf dem Gebiete der Kälteindustrie, sowie die Verwendung verflüssigter Gase, als Kraftspeicher sehr bald an die Praxis mit der Aufgabe herantreten dürften, ihr für ausserordentlich niedrige Temperaturen zweckentsprechende Konstruktions-Materialien zu beschaffen. Der berühmte Genfer *Pictet* und der ausgezeichnete Londoner Gelehrte Professor *Dewar* sind es, welche in neuester Zeit bezügliche Versuche, ersterer auf physiologischem, der andere auf physikalischem Gebiete angestellt haben. Wir beschäftigen uns mit dem letzteren. Ich bemerke, dass bei —182° C. flüssiger Sauerstoff bei freiem Atmosphärendruck kocht, dass bei —197° C. der flüssige Sauerstoff bei 25 bis 30 *mm* Quecksilberdruck zu kochen beginnt, bei —210° C. die Luft eine gallertartige Masse bildet.

Da die chemischen Wirkungen bei sehr niedrigen Temperaturen sämtlich aufhören, erschien es *Dewar* von grosser Wichtigkeit, das Verhalten der Kohäsion näher zu studieren.[2]) In diesem Falle kommen einerseits die Kräfte, welche die Moleküle der festen Körper zusammenhalten, anderseits jene Kräfte in Betracht, welche die chemische Vereinigung ungleichartiger Atome bewirken. Die Grenzen der Anziehungssphären entziehen sich sinnlichen Wahrnehmungen. Tolver Preston sagt in seiner Physik des Aethers: Die Erscheinungen der Kohäsion, der chemischen Verbindung etc., beziehungsweise die allgemeinen Erscheinungen des Aggregatzustandes der Moleküle, hängen von den Vibrationen der Moleküle als physikalische Ursache ab.

Wir dürften hieraus schliessen, dass Aenderungen in der Energie der Bewegung der kleinsten Teile, also Aenderungen der Temperatur einen grössern Einfluss auf diese Erscheinungen haben, als dieser thatsächlich gefunden wurde und dass auch die Wirkung aufhört, wenn die physikalische Ursache zu existieren aufhört, mithin bei absoluter Nulltemperatur, also der Abwesenheit jeder innern Bewegungsenergie auch die allgemeinen Erscheinungen der Kohäsion, einschliesslich jener der chemischen Vereinigung zu *existieren* aufhören. Wenn diese Theorie richtig wäre, müssten bei —274° C. die Körper einen trüben, nebelhaften oder pulverartigen Zustand annehmen.

Die Experimente Dewars bestätigen nun diese Schlüsse in *keiner* Weise. Bei der niedrigsten Temperatur, welche er mit ungefähr —210° erzielte und bei welcher er die Durchbiegungen beobachtete, die ein, an einem oder beiden Enden unterstützter aus „fusible metal" (Lothmetall) hergestellter Stab unter bestimmten Belastungen erlitt, zeigte sich im Vergleiche zu jenen Erscheinungen, welche bei normaler Temperatur eintraten, dass der Young Modulus (Elasticitätsmodulus) auf das Vier- bis Fünffache des Wertes, welchen er bei normaler Temperatur besitzt, gewachsen war. In derselben Weise lässt sich zeigen, dass der Rigiditätsmodulus grossen Aenderungen unterliegt. Eine Spiralfeder aus Metall, welche von einer Unze Gewicht, bei gewöhnlicher Temperatur zur Geraden ausgezogen wird, trägt bei —182° C. ein paar Pfunde, und vibriert wie eine Stahlfeder. Eine Stimmgabel aus Loth-Metall giebt bei —180° metallische Töne. Wenn zwei Stimmgabeln identischen Ausmasses genommen werden und man die eine auf 182° abkühlt, so kann man die Vibrationen als verschieden unterscheiden.

Die einfachste Methode, um die Veränderungen der Kohäsion bei niedriger Temperatur zu studieren, besteht in der Vornahme von Dehnungs- und Zerreiss-Versuchen mit Metallen und Legierungen bei normaler und anormaler Temperatur. Die einzige Schwierigkeit lag für Dewar in der Beschaffung grösserer Quantitäten flüssiger Luft oder Sauerstoff, welche notwendig sind, um gleichzeitig die Einspannvorrichtungen der zu zerreissenden Drähte abzukühlen.

Die Versuche wurden in einem versilberten Vacuumgefäss vorgenommen, welches flüssigen Sauerstoff enthielt und so gross war, dass kein Teil der Drahteinspannvorrichtung mit ihm in Berührung kam, wenn der Draht riss. Die Versuchsstücke waren 2 1/2 *mm* starke, 2 Zoll (51 *mm*) lange Drähte. Die Zerreissvorrichtung enthielt ausserdem einen Apparat, welcher eine rohe Messung der Längenänderung gestattete. Der Versuch wurde erst dann durchgeführt, wenn die ganze Vorrichtung mit den Versuchsstücken vollständig abgekühlt war. Die angegebenen Resultate sind jedes einzelne das Mittel von je vier bis sechs Versuchsergebnissen.

Nachstehend folgt die Bruchspannung in Pfunden eines Metall-Drahtes von 0,098 Zoll Durchmesser, nach dem Original.[1])

	15° C.	—182° C.
Stahl weich	420	700
Eisen	320	670
Kupfer	200	300
Messing	310	440
Neusilber	470	600
Gold	255	340
Silber	330	420

Drähte, welche auf —182° abgekühlt und nachher wieder auf normale Temperatur gebracht wurden, zeigten keine Veränderung der Bruchfestigkeit. Eine zweite Serie von Experimenten wurde mit gegossenen Versuchsstücken von Metall und Legierungen gemacht. Die Versuchsstücke wurden sämtlich in derselben Form gegossen, waren 2 Zoll lang, mit 1/2zölligen sphärischen Enden. Der cylindrische Teil besass 0,2 Zoll Durchmesser. Die sphärischen Enden der Versuchsstücke kamen in entsprechend geformte Backen der Zerreissmaschine. Kristallinische Metalle ergaben Gusstücke, welche ausserordentlich von einander variierten und es war sehr schwer, halbwegs übereinstimmende Resultate bei

[1]) Vortrag gehalten am 10. September a. c., in der Aula des eidg. Polytechnikums zu Zürich, bei Anlass des Kongresses zur Vereinbarung einheitlicher Prüfungsmethoden für Bau- und Konstruktionsmaterialien.

[2]) Professor Dewar: Scientific uses of liquid air. The chemical News London April *1895* No. 1847, 1848. Vol. 71.

[1]) Oder in Metermass umgewandelt

$d = 2{,}49\ mm$; $F = 4{,}87\ mm^2$,

das giebt auf die Flächeneinheit bezogen *in kg für den mm²*

	bei +15° C.	—182° C.
Stahl weich	39	65
Eisen	30	62
Kupfer	19	28
Messing	29	41
Neusilber	44	56
Gold	23,5	32
Silber	31	39

Metallen wie Zink, Wismut und Antimon zu erhalten. Nachfolgend Dewars Original-Resultate.[1])

Bruchspannung in Pfunden gegossener Metallversuchsstücke von 0,2 Zoll Durchmesser und 2 Zoll Länge.

	15° C.	—182° C.
Zinn	200	390
Blei	77	170
Zink	35	26
Quecksilber	—	31
Wismut	60	30
Antimon	61	30
Solder	300	645
Fusible metal (Woods)	140	450

Während bei „fusible metal" die Zerreissfestigkeit auf das Dreifache, bei Zinn, Blei und Solder auf das Doppelte des normalen Wertes gestiegen sind, erscheinen die Resultate für Zink, Wismut und Antimon exceptionell. Bei niedriger Temperatur wird die Festigkeit geringer. Nach Ansicht Dewar's ist die Festigkeitsabnahme dieser kristallinischen Metalle vielleicht darin zu suchen, dass bei der Abkühlung die Spannungen in den Spaltflächen der Kristalle sich vermindern, wodurch das Zerreissen begünstigt wird.

Die prozentuelle Verlängerung ist in den vorstehenden Tabellen nicht gegeben, weil so kurze Drahtstücke verlässliche Messungen nicht gestatteten, doch sind die allgemeinen Resultate immerhin interessant. Während Blei und Zinn sich bei normaler Temperatur ungefähr vor dem Bruche um gleichviel verlängerten, zeigte Zinn bei —182° kaum irgend eine Verlängerung, hingegen wies Blei unter denselben Bedingungen bei 15° C. wie bei —182° dieselbe Verlängerung auf.

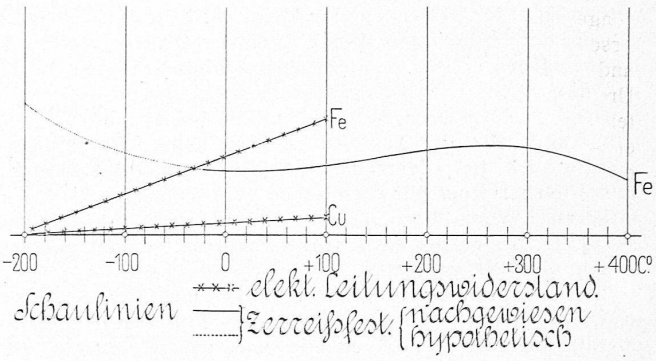
Solder und „fusible metal" strekten sich weniger und der Bruchquerschnitt war bei —182° gegenüber jenem bei 15° ein wesentlich geringerer. Die vorstehenden Bemerkungen führt Dewar ausdrücklich als Ergebnisse von Vorversuchen ausführlicher Arbeiten an, welche die thatsächlichen Verhältnisse klarstellen müssen. Insbesondere sind vollständige Versuchsreihen nötig, welche sich auf die Ermittelung des Joungmodulus und des Rigiditätsmodulus bei Siedetemperatur der flüssigen Luft auszudehnen haben. *Fusible metal* zeigte zunächst, dass beide Koefficienten bei sich vermindernder Temperatur wachsen. Es würde hieraus zu schliessen sein, dass auch der Widerstand gegen Zerdrücken bei —182° C. in einem ähnlichen Verhältnis wachsen dürfte. Werden Kugeln aus Eisen, Zinn, Blei oder Elfenbein auf —182° abgekühlt und von einer bestimmten Höhe auf eine massive Eisenplatte fallen gelassen, wächst in allen Fällen der Rückstoss. Wird eine Bleikugel von derselben Höhe fallen gelassen, so beträgt die Fläche des bleibenden Eindruckes bei niedriger Temperatur nur etwa ein Drittel von jener, welcher bei normaler Temperatur entsteht.

Von ausserordentlichem Interesse sind weiters die Forschungen, welche der berühmte Gelehrte hinsichtlich des magnetischen Momentes permanenter Magnete anstellt. Die Experimente zeigten, dass die Kühlung ein Wachsen des Magnetismus um 30 bis 40° hervorruft und das Wiedererhitzen keinen Verlust des ursprünglichen magnetischen Momentes bedingt. Die ausserordentlich bemerkenswerte Alteration der Kräfte wird von Dewar als ein Mittel der Temperaturmessung für ausserordentlich niedrige Wärmegrade vorgeschlagen und es eröffnet sich hiemit ein neues Feld der physikalischen Forschung.

Schon früher hatte Dewar den elektrischen Leitungswiderstand verschiedener Metalle bei ausserordentlich niedriger Temperatur untersucht und gefunden, dass derselbe mit fallender Temperatur abnimmt, bei vielen Metallen auf Null sinkt, wenn sich die Temperatur mehr oder weniger dem Nullpunkte der absoluten Temperatur (—274° C.) nähert. Es sinkt z. B. bei Eisen der elektrische Leitungswiderstand bei —197° C. auf den 14. Teil jenes Wertes, den das genannte Material bei Null Grad aufweist. Eine ganz ausserordentlich wichtige Rolle spielt hiebei die chemische Beschaffenheit des Materials und es ist der elektrische Widerstand in ganz ausserordentlichem Masse von Verunreinigungen und Beimengungen abhängig. So gab reiner Nickeldraht bei —182° etwa 6737 elektromagnetische Einheiten, ein anderer Nickeldraht bei derselben Temperatur nur 1900. Bei Kohle wächst der Widerstand mit der Temperaturabnahme. Die Schaulinien (Temperatur als Abscisse, Leitungswiderstand als Ordinate) zeigen stetige flache Kurven ohne Zwischenmaxima, bei einigen Metallen direkte gerade Linien, es bietet also auch, wie dies schon Siemens, Puluj u. a. gezeigt, der Leitungswiderstand ein Mittel zur Messung niederer Temperaturgrade.

Untersuchungen von Rudeloff haben für Schweisseisen und Martinstahl hinsichtlich der Zerreissfestigkeit für höhere Temperaturgrade Schaulinien ergeben, welche wellenförmig verlaufen und zwischen +200 und +300° ein Maximum, in der Nähe von Null ein Minimum aufweisen. Treffen die Dewar'schen Versuche auch für Rudeloffs Materialien zu, so dürfte der Temperatureinfluss auf die Zerreissfestigkeit des Eisens etwa durch eine Schaulinie untenstehender Art charakterisiert erscheinen (Fig. 1), wobei jedoch ganz ausdrücklich bemerkt wird, dass der punktierte Teil lediglich als hypothetische Linie aufzufassen ist und es keineswegs ausgeschlossen erscheint, dass auch hier ein wellenförmiger Verlauf eintritt, da Versuche für die Zwischenstufen bisher fehlen. Der Umstand, dass die genau erforschte Schaulinie des elektrischen Widerstandes innerhalb derselben Grenze für die untersuchten Materialien solche Wellen nicht zeigt, lässt vielleicht die gezeichnete Annahme als nicht ganz unberechtigt erscheinen, zudem Versuche von Andern und mir bei Temperaturen von —50 bis 60° ergeben haben, dass die Festigkeit gegenüber jener bei Null Grad wesentlich zunimmt.

Fig. 1.



Indem ich nunmehr das Gebiet jener Temperaturen betrete, welchen unsere Konstruktionen in Praxi ausgesetzt sein können, will ich bemerken, dass die ausserordentlich zahlreichen Ursachen, welche das Verhalten des Materials bedingen, die specielle Wirkung niedriger Temperaturen nur dann erkennen lassen können, wenn entweder eine ausserordentlich grosse Anzahl von Beobachtungen vorliegt, welche mit Rücksicht auf den Faktor Temperatur geschieden werden können, und dann in den Mittelzahlen Differenzen aufweisen, oder wenn wir den zu untersuchenden Faktor in

---

[1]) Oder in Metermass umgewandelt und auf die Flächeneinheit bezogen:

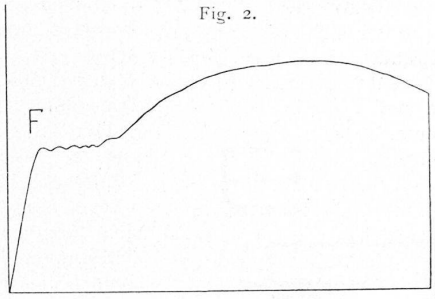
$$d = 5{,}08\ mm; \quad F = 20{,}3\ mm^2,$$

mithin *in kg für den mm²*

	bei +15° C.	—182° C.
Zinn	2,5	8,7
Blei	1,7	3,8
Zink	0,78	0,58
Quecksilber	—	0,69
Wismut	1,3	0,67
Antimon	1,35	0,67
Solder	6,7	14,4
Fusible metal (Woods)	3,1	10,0

seiner Wirkung etwas steigern, den Verlauf der Erscheinung *über* die praktisch verlangte Grenze hinaus zu untersuchen trachten. In ersterer Hinsicht sei auf die Mitteilungen des Centralinspektors Rotter aufmerksam gemacht, wonach alle im Eisenbahnbau verwendeten Materialsorten nach den Ergebnissen der Radreifenbruch-Statistik in den kalten Monaten eine wesentlich höhere Schadenziffer als in den warmen

Fig. 2.



Monaten aufweisen. So betrug bei Tiegel-, Martin-, Bessemer- und anderem Flusstahl die durchschnittliche Anzahl der Schäden nach den statistischen Aufschreibungen für die Berichtsjahre 1887—1891 im Monate Januar 31,6 %, in den Monaten Juni, Juli, August und September je 2,1 % der Gesamtsumme. Für Puddelstahl, Feinkorneisen und sehniges Schweisseisen stellen sich die diesbezüglichen Ziffern für den Monat Januar auf nur 13,6 %, auf die andern vier genannten Monate auf rund 6,5 %. Die ungünstige und verschiedenartige Einwirkung niedriger Temperaturen auf das Verhalten des Materials scheint hierdurch als sehr wahrscheinlich, wenn auch zugegeben werden muss, dass die geringere Elasticität des gefrornen Bodens die Wirkung der Stösse erhöht und dies und anderes ebenfalls als Ursache obiger Erscheinung angeführt werden kann.

Den zweiten Grundsatz, bei der Prüfung des Materials etwas niedrigere Temperaturen anzuwenden, als sie in Praxi vorkommen, wurde um 1891 von der französischen Regierung zur Anwendung gebracht, welche gehärtete und nicht gehärtete Probestücke aus Stahl verschiedenen Prüfungen bei Temperaturen von —56° bis —73° unterworfen hat. Diese Wärmestufe erreichte man, indem man die Stücke in ein Bad aus fester Kohlensäure und Schwefeläther tauchte. Die leider in deutschen Fachblättern nur unvollständig mitgeteilten Resultate ergaben folgendes:

1. Die Dehnung nimmt mit fallender Temperatur, wenn auch unregelmässig, ab;

2. die Elasticitätsgrenze rückt um 10 % hinauf. Die Bruchgrenze rückt bei ungehärtetem Material um 3 %, die Proportionalitätsgrenze bei gehärtetem um 6 % hinauf; die Dehnung des ungehärteten Stabes ging um 12 %, jene des gehärteten um 14 % herunter. Die Kontraktion wurde geringer.

3. Sämtliche Erscheinungen schwanden, wenn die Stäbe die gewöhnliche Temperatur wieder erreichten.

4. Schlagproben zeigten, dass die Anzahl der Schläge, welche das Material zu Bruche brachten (5,9), bei niedriger Temperatur eine wesentlich geringere, als jene bei normaler Temperatur (14,6) war.

5. Stark verarbeitetes Material scheint weniger unter Temperaturänderungen zu leiden, doch bedarf dieses Ergebnis der Bestätigung.

Ohne diese Versuche zu kennen, habe ich mich 1891 bis 1892 als Mitglied einer Kommission, welche von der k. k. Statthalterei in Prag eingesetzt worden war, um die Frage der Anwendung von Flusseisen und Stahl im Brückenbau zu studieren, veranlasst gesehen, im Vereine mit Professor Gollner und andern Ingenieuren Versuche mit Probestücken anzustellen, welche mit fester Kohlensäure auf —50 bis —70° abgekühlt wurden und zu verwandten Ergebnissen führten.

Am zweckmässigsten erwies sich damals, die Temperatur direkt mittels eines Schwefel-Kohlenstoff-Thermometers zu bestimmen.

Die Versuche erstreckten sich auf Zerreiss- und Biegeproben.

Die Zerreissproben wurden nach zwei verschiedenen Arten vorgenommen: Nach der ersten Methode wurde der gewöhnliche Versuchsstab vor dem Einspannen in einen Sammtbeutel gebracht; dieser Sammtbeutel, oben und unten mit Schnüren, dicht an der Einspannungsstelle des Stabes, befestigt und, nachdem der Stab eingespannt war, wurde durch eine in der Mitte angebrachte schlauchartige Oeffnung des Sammtbeutels die flüssige Kohlensäure eingelassen, welche hiebei zum Teil in den schneeartigen, festen Zustand überging. Das Thermometer wurde durch eine zweite, kleinere schlauchartige Oeffnung eingebracht. Die Flasche mit flüssiger Kohlensäure wurde bei den im Sommer vorgenommenen Versuchen mit Eis gekühlt, im Winter direkt verwendet.[1])

Der Zerreissversuch wurde an demselben Stabe bei den späteren verlässlichen Untersuchungen erst unternommen, nachdem das Probestück durch eine halbe Stunde im Frostsacke abgekühlt worden war, indem von Zeit zu Zeit flüssige Kohlensäure nachgeblasen wurde. Zerreissversuche wurden sowohl auf der Zerreissmaschine von Mohr & Federhoff, als auf der neuen Zerreissmaschine von R. Fernau & Cie. — beide Maschinen dem Kladnoer Werke gehörig — vorgenommen.[2])

Die wichtigsten Ergebnisse der Zerreissversuche sind in nachstehender Tabelle zusammengestellt.

Untersuchung der Temperatur-Einflüsse.

Versuche mit Rundstäben von 17—18 *mm* Durchmesser.

Laufende Nummer	Bezeichnung der Probe und des Materials	Entfernung der Marken vor dem Zerreissen *mm*	Lineare Dehnung in %	Temperatur in ° C.	Fliessbeginn-Inanspruchnahme per *mm*² in *kg*	Maximal-Inanspruchnahme per *mm*² in *kg*	Kontraktion des Querschnittes in %
1	Schweisseisen	200	18,5	+18,5	27,1	41,3	48,9
2	»	200	15,0	−50,0	32,8	42,4	51 0
3	Martin-Eisen	200	30,5	+25,0	24,8	40,1	62,3
4	»	200	30,5	+25,0	26,7	41,2	64,0
5	»	200	26,0(?)	−23(?)	26,4	40,7	61,2
6	»	200	—	—40(?)	27,2	42,2	62,6
7	»	200	17,0	—40,0	31,8	43,7	60,0
8	Thomas-Eisen	200	30,5	+25,0	26,2	38,1	69,4
9	»	200	27,0	+25(?)	25,4	37,9	69,1
10	»	200	20,0	—50[3])	27,3	40,1	67,6
11	»	200	17,0	—50,0	32,8	40,9	67,7
12	Aluminis-Thomaseisen	200	26,0	+6,0	30,0	43,4	66,5
13	»	200	22,0	−60,0	36,5	46,6	64,7

Die Proben wurden je einer Charge und demselben Ingot entnommen. Die Abkühlung erfolgte durchaus im Frostbeutel mit fester Kohlensäure.

Die Tabelle zeigt, dass bei erniedrigter Temperatur die Zugfestigkeit wächst, die Dehnung abnimmt. Das Material versteift sich. Thomas-Eisen und Martin-Eisen verhalten sich diesbezüglich nahezu gleich. Böhmisches Schweisseisen erwies sich diesbezüglich minder empfindlich. Als Versuchsstäbe wurden durchaus cylindrische Stäbe gewählt.

[1]) Vide Schweiz. Bauztg. Bd. XVIII S. 60.

[2]) Zerreissversuche mit der Mohr-Federhoff-Maschine ergeben für Flusseisen und manche Schweisseisensorten Diagramme obenstehender Art (Fig. 2), wobei die Abscissen die Dehnungen und die Ordinaten die Spannungen des Stabes sind; bei *F* tritt ein Stillstand, event. ein kleiner Abfall des Gewichtshebels der Maschine ein; diese Spannung wird in Kladno als Elasticitätsgrenze eingetragen, ist es jedoch nicht in dem Sinne, als welche sie sonst vielfach als Grenze, bis zu welcher nach Aufhören der Spannung keine bleibenden Formänderungen entstehen, aufgefasst wird. Wir haben die dem *F* entsprechenden Werte als Fliessbeginn bezeichnet. Da alle 13 Versuche in gleicher Weise vorgenommen wurden, gestattet diese Grösse jedenfalls relative Vergleiche. Das untersuchte Kladnoer Schweisseisen zeigt dem steirischen gegenüber meist wesentlich höhere Festigkeit.

[3]) Bruch excentrisch.

Die Temperatur nahm während des Zerreissversuches, der ungefähr 20 Minuten in Anspruch nahm, etwas zu.

Es betrug z. B. im Versuchsfalle 13 die Temperatur bei Beginn des Versuchs —71°, am Ende des Versuchs —67°. In einem Falle, wo die Kohlensäure ausgegangen war, konnte nur eine Abkühlung von etwa —30° erzielt werden, was in der Tabelle ersichtlich ist. Die Abkühlung erwies sich abhängig von der Aussentemperatur. Die Winterproben gestatteten eine tiefere Abkühlung, als die im Sommer vorgenommenen. Es spielt hiebei offenbar das Wärmeleitungsvermögen des Sammtes und der Umgebung eine Rolle. Die Wärmeleitung, der Einfluss der Abkühlungzeit u. s. w. lassen überhaupt die Temperaturangaben nur als Näherungswerte erscheinen.

Nach einer zweiten Methode wurden Kälte-Versuche vorgenommen, indem über den cylindrischen Eisenstab ein Glascylinder gestülpt wurde, der oben offen und unten mit einem in Fischleim getauchten Korkstöpsel verschlossen war.

Ausserdem wurde noch eine Schicht Fischleim, der mit etwas Chromchlorid versetzt wurde, gegeben, um eine elastische Dichtung zu erzielen. In diesem Glascylinder wurde das Thermometer neben dem Stabe angebracht und der Cylinder mit Aether gefüllt, dessen Temperatur durch Auflösen fester Kohlensäure um denselben auf —60° herabgedrückt war. Während des Versuches wurde löffelweise feste Kohlensäure eingebracht, welche sich rasch löst und die Temperatur immer wieder herabmindert. Letztgenannter Versuch ergab das interessante Resultat, dass der Riss an jener Stelle eintrat, wo der Flüssigkeitsspiegel sich befand, also die grösste Temperaturänderung auftrat. Ein Gemisch von Aether und fester Kohlensäure ermöglicht es, überhaupt in sehr bequemer Weise, Flüssigkeiten, die sich besonders zur Abkühlung von Stäben eignen, für jede beliebige Temperatur von etwa 0 bis —80° herzustellen.

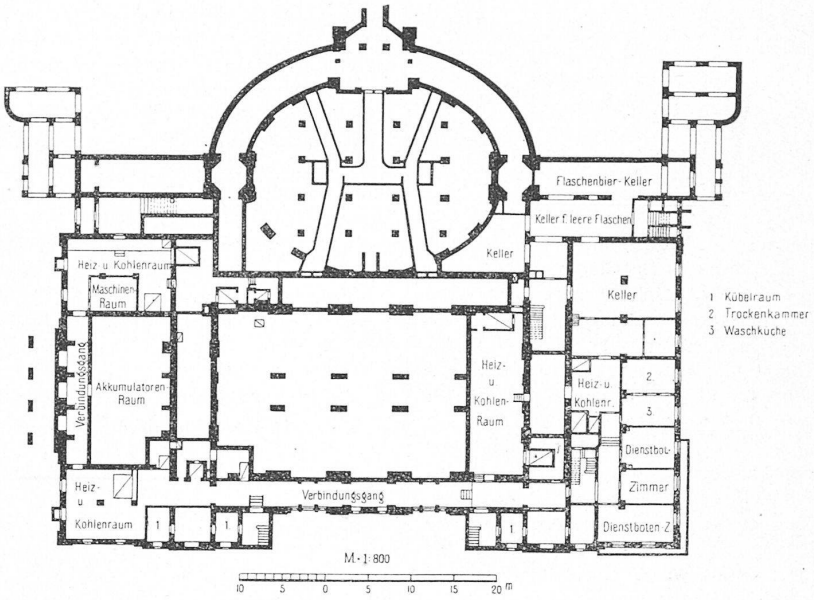
Im Sommer 1891 wurden Biegeproben unternommen, die bereits an anderer Stelle besprochen wurden und im Dezember 1891 in Kladno ihre Fortsetzung fanden.

Diese Versuche zeigten, dass Flusseisen- und auch manche Schweisseisen Sorten bei niedriger Temperatur im verletzten Zustande geradezu glasbrüchig wurden, im unverletzten Zustande sind wesentlich günstigere Resultate zu erzielen. Ganz besonders ungünstig erwiesen sich verletzte Quadrateisenstäbe.

Zu bemerken ist, dass die Stäbe einer Serie unter Hammerschlägen gleichen Gewichtes und gleicher Fallhöhe durchgeführt wurden, mithin in einer direkten Vergleichung standen.

Die Abkühlungsversuche zeigten ferner, dass der Einfluss der Temperatur-Erniedrigung umso ungünstiger wird, je weniger Walzarbeit das Material aufgenommen hat. Draht aus Flusseisen konnte, im unverletzten Zustande auf —70° abgekühlt, anstandslos um 180° gebogen werden und gestattete auch bei verletzter Oberfläche relativ grössere Biegungswinkel als Kaliber geringerer Walzarbeit. Quadratische Stäbe, wie sie zur Darstellung gebracht sind, zerbrachen im verletzten Zustande unter dem ersten Schlage, während sie im unverletzten Zustande bei gewöhnlicher Temperatur um 180° gebogen werden konnten.

Neue Tonhalle in Zürich.



Grundriss vom Untergeschoss.

In letzter Zeit gelang es nach einem Vorschlage des Herrn Chemiker Wald in Kladno, die Bruchflächen zu erhalten, indem der gebrochene gekühlte Stab, der sich sofort mit Reif bedeckt, in absoluten Alkohol geworfen wurde.

Ob eine molekulare Umlagerung bei derart niedrigen Temperaturen im Flusseisen stattfindet wie die Bruchflächen zu zeigen scheinen, muss offen gelassen werden. Je näher wir aber der Grenze einer solchen molekularen Umlagerung kommen, umso kritischer ist eben das Material nach dieser Hinsicht.

Der Umstand, dass tief, auf —70° abgekühlte Stücke, welche wieder aufgetaut wurden, ungünstige Veränderungen nicht erkennen liessen, lassen eine vollständige molekulare Umwandlung fraglich erscheinen.

Die ganzen Temperatur-Differenzen 60 bis 70° waren gegenüber den Temperatur-Differenzen, welche nach aufwärts für gewisse Prozesse des Härtens u. s. w. in Betracht kommen, relativ so klein, dass ebenfalls eine derartige Umlagerung als zweifelhaft erscheinen muss.

Zerreissversuche der Chargen, die unter Zusatz von Aluminuim gegossen waren, ergaben, dass das Material an Festigkeit gewonnen, dass die Streckgrenze hinaufgerückt ist, dass die Dehnung nicht wesentlich gelitten hat.

Die Versuche mit Aluminium-Material liessen weiters erkennen, dass ein quadratischer Stab aus Schweisseisen und Eisen aus Versuchscharge III unverletzt bei 70° ein gleiches Verhalten zeigte. Es ist mithin durchaus nicht ausgeschlossen, dass Aluminium thatsächlich einen günstigen Einflusss hinsichtlich des Verhaltens genannter Materiale bei niedriger Temperatur zu bieten vermag. Die Versuche sind jedoch noch viel zu wenig umfangreich, als dass es irgendwie bereits gestattet wäre, einen sichern Schluss diesbezüglich zu ziehen.

1893 hatte ich Gelegenheit drei Stäbe aus hartem Stahl zu brechen. Bei 21° C. betrug die Bruchspannung 1040 Atmosphären, der Biegungspfeil des gebrochenen Stückes 23 *mm*, die beiden auf 50° abgekühlten Stücke gaben übereinstimmend 1160 Atmosphären Bruchspannung. Der Biegungspfeil war jedoch nur 3 *mm*. Auch hier fand sich die Erscheinung bestätigt, dass bei niedriger Temperatur der untersuchte Stahl fester, jedoch wesentlich spröder geworden war. [1]) Besonders möchte ich darauf aufmerksam machen, dass sich bei allen von mir untersuchten Eisensorten der Einfluss *der Verletzung* bei niedriger Temperatur als besonders verhängnisvoll erwies und scheint es insbesondere in dieser Richtung höchst wünschenswert, eingehendere Versuche anzustellen.

Bei diesen letzten Versuchen machte ich die Erfahrung, dass sich feste Kohlensäure von schlechten Wärmeleitern umgeben stundenlang zu erhalten vermag. Es ist daher besser den Kohlensäureschnee für sich zu erzeugen und die jedesmalige Probe direkt in einen Beutel mit derartigem Schnee zu bringen.

Zu ganz anderen Ergebnissen kamen Prof. Mertens und Kinzle, welche Versuche mit jenem Thomas-Flusseisen

[1]) Näheres siehe «Technische Blätter» XXVI. Jahrgang, 1. Heft.

vornahmen, welches für die Brücke von Fordon zur Verwendung gekommen ist. Ihre Biegeproben mit unverletzten Stücken zeigten, dass selbst bei einer Temperatur von —60° C. das Material nichts von jener Widerstandsfähigkeit verloren hat, welche es bei normaler Temperatur aufweist. Da die hochinteressanten und wichtigen Versuche Mertens in der Zeitschrift „Stahl und Eisen" ausführlich publiziert sind, will ich bei der vorgerückten Zeit nicht näher auf dieselben eingehen. In streng wissenschaftlicher Weise haben ferner die Herren Köpcke und Hartig in Dresden im Jahre 1892 eingehende Versuche vorgenommen. Sie sind zu dem Resultate gelangt, dass das Flusseisen gegen den härtenden Einfluss grosser Kälte, welche auch diese Forscher mit fester Kohlensäure erzeugten, etwas empfindlicher als Schweisseisen sei, von einer gefährlichen Sprödigkeit aber nicht gesprochen werden könne, da es in allen Fällen sich mehr durchbog als Schweisseisen. Ein Probestab aus saurem Bessemerstahl erwies sich für Schläge in abgekühltem Zustande ungünstiger als im Normalen. Die äusserst interessanten Versuche sind ausführlich im Civilingenieur XXXVIII. Band, 3. Heft mitgeteilt.

Die letztgenannten Versuche lehren, dass es Flusseisensorten giebt, welche wesentliche Aenderungen bei sehr niedriger Temperatur nicht erleiden. Versuche mit verletzten Stücken wurden von den letztgenannten Autoren nicht mitgeteilt. Ich habe schon 1892 (Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereins), wo meine Versuche ausführlicher mitgeteilt sind, erklärt, dass allgemeine Schlüsse auf alle Flusseisensorten, derzeit nicht gezogen werden dürfen und das Gebiet als ein interessantes Feld weiterer Forschung betrachtet werden müsse. Jedenfalls ist die heutige Eisenindustrie bereits in der Lage, auch in dieser Hinsicht ein vollkommen einwurfsfreies Material erzeugen zu können. Der specielle Einfluss aber, den die chemischen Bestandteile und Bearbeitungs-, sowie Erzeugungsmethoden auf das Verhalten der einzelnen Eisensorten bei abnorm niedrigen Temperaturen ausüben, ist jedoch keineswegs so klar gestellt, wie dies für normale und hohe Temperaturen bereits der Fall ist und erscheint es mir dringend erwünscht, dass diesbezügliche weitere Studien unternommen werden. Sollten meine Anregungen an dieser internationalen Stelle auf fruchtbaren Boden fallen, so würde ich dies mit grossem Danke begrüssen.[1])

[1]) Die knappbemessene Zeit gestattete nicht beim Kongresse den Vortrag in jener Ausführlichkeit zu bringen, in welcher er hier gegeben ist. Wenn ich mir erlaubte, auf die in Kladno von anderen und mir gemachten Versuche, trotzdem selbe bereits in der Zeitschrift des österr. Ing.- und Arch.-Vereins publiziert sind, zurückzukommen, geschah dies deshalb, weil sich mir während der Besprechung mit Fachgenossen die Ueberzeugung aufdrängt, dass wohl die in der Wochenschrift desselben Vereins 1891 publizierten Ergebnisse einer kleinen Versuchsreihe, keineswegs jedoch die eingehenderen Versuche bekannt zu sein scheinen. Diese Versuche sind durch die Gefälligkeit des Eisenwerkes ermöglicht worden und machen keinen Anspruch auf strenge Wissenschaft, wie sie im Laboratorium erzielbar ist. Derartige Versuchsreihen anzustellen, erscheinen wohl nur jene ausgezeichneten Fachmänner berufen, welche mit den entsprechenden Apparaten für die Feinmessung, wie solche Berlin, Wien, Zürich, München, Stuttgart, Prag u. s. w. und andere Anstalten nicht deutscher Zunge besitzen, ausgestattet sind. Insbesondere wäre es erwünscht, wenn die schönen Berliner Versuche von Martens und Rudeloff in ähnlicher Weise, wie sie für die Einwirkung hoher Temperaturen bereits vorgenommen wurden, auch nach abwärts ergänzt würden. *F. Steiner.*

Die neue Tonhalle in Zürich.

Erbaut von *Fellner & Helmer*, Architekten in Wien.

(Mit einer Tafel und zwei Grundrissen.)

III.

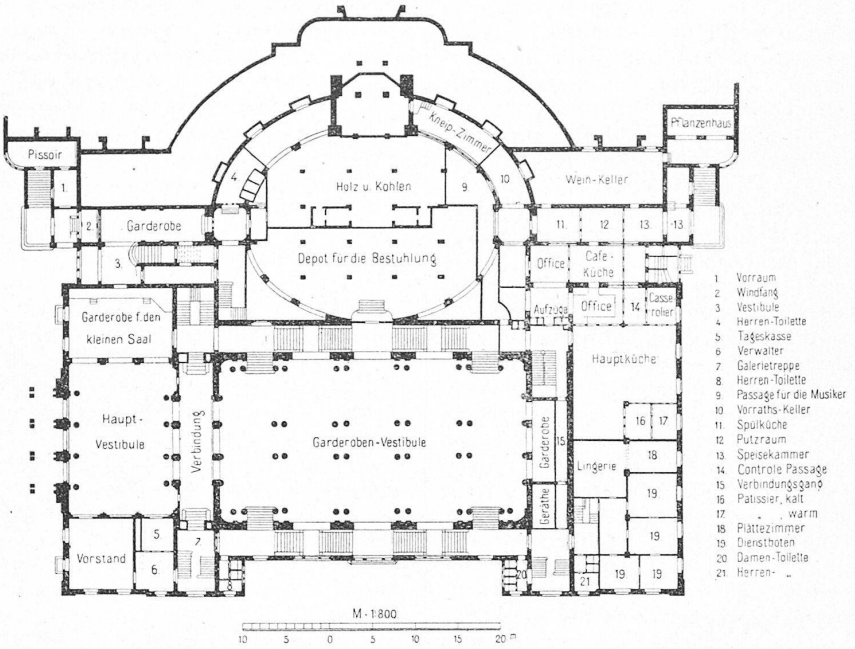
Den begleitenden Worten, welche wir den beiden Tafeln in Nr. 17 und 18 beigegeben haben, möge nun ein näheres Eintreten auf das kürzlich vollendete Bauwerk folgen.

Die Vorgeschichte des Baues ist eine ziemlich lange und sie ist nicht in allen Teilen erfreulich; den meisten unserer Leser ist sie bekannt, weshalb wir uns auf eine kurze Uebersicht beschränken können.

Eigentümlich ist, dass der Schöpfer der *alten* Tonhalle auch zuerst den Gedanken an einen Neubau ausgesprochen hat. Im Jahre 1873 erschien eine Schrift, betitelt: „Einige Gedanken betreffend die Zukunft der zürcherischen Tonhalle, den Behörden und Freunden des Tonhalle-Institutes zur Beherzigung mitgeteilt." Der Verfasser derselben war der verstorbene Professor *Karl Keller*, der sich um die Förderung der musikalischen Bestrebungen in Zürich grosse Verdienste erworben hat. Seinem energischen Vorgehen war es vornehmlich zu verdanken, dass, nachdem das alte Stadt-Kasino anderen Zwecken dienstbar gemacht wurde, der Umbau des alten Kornhauses in eine Tonhalle erfolgte. So sehr man sich damals über den mit Geschick durchgeführten Umbau freute, so sehr war es dem weitblickenden Geiste Kellers klar, dass dies nur ein vorübergehender Zustand sein könne. Sein neues, in grossen Verhältnissen gedachtes Projekt wollte er ungefähr auf den Platz verlegen, auf dem heute die neue Tonhalle steht. Damit trat er mit seinen Freunden im Tonhalle-Vorstand, die damals schon mit Zähigkeit an dem alten Platz und an einem Umbau der alten Tonhalle festhielten, in Widerspruch.

Als das Quai-Projekt seiner Verwirklichung entgegenrückte, trat die Tonhalle-Frage wieder in den Vordergrund. Im Quai-Vertrag von 1881 war im Seegebiet der Gemeinde Enge die Anlage einer Insel mit einem Sommer-Konzerthaus aufgenommen, wodurch der Tonhalle eine gefährliche Konkurrenz geschaffen worden wäre. Dies gab den Anstoss zu neuen Verhandlungen im Tonhalle-Vorstand und zu einem Auftrag an den damals bei Herrn Stadtbaumeister *Geiser* angestellten, zur Zeit in Mannheim wohnenden Herrn Arch. *Karch* für ein Umbau-Projekt der alten Tonhalle, das dem

Neue Tonhalle in Zürich.



Grundriss vom Erdgeschoss.