

Zeitschrift für angewandte Chemie

Seite 353—368

Aufsatzteil

13. Juni 1913

Über eine Explosion beim Granulieren von Aluminium.

VON M. BAMBERGER UND H. V. JÜPTNER.

Aus den Laboratorien für anorganische Experimentalchemie und chemische Technologie anorganischer Stoffe an der K. K. Technischen Hochschule in Wien.

(Eingeg. 14./5. 1913.)

Vor zwei Jahren ereignete sich in einem Stahl- und Eisenwerke in Niederösterreich eine Explosion beim Granulieren von Aluminium. Die Vff. dieser Mitteilung hatten als ge-

Arbeitern mit einer Zange gefaßt und zur Granulierungsvorrichtung gebracht. Letztere besteht aus einem Sieb aus feuerfestem Material, welches über einem Fasse mit ca. 250 l Wasser befestigt ist. Das auf das Sieb gegossene flüssige Aluminium fließt durch die Löcher desselben in das Wasser, wobei die einzelnen Tropfen sofort erstarren.

Leichtes Schlagen mit einem Hammer an das Sieb erleichtert wesentlich die Tropfenbildung. Durch wiederholtes Erneuern des Wassers in dem Bottich wird gesorgt, daß ein wesentliches Erwärmen desselben nicht eintritt. Diese Art, das Aluminium zu granulieren, wurde seit August

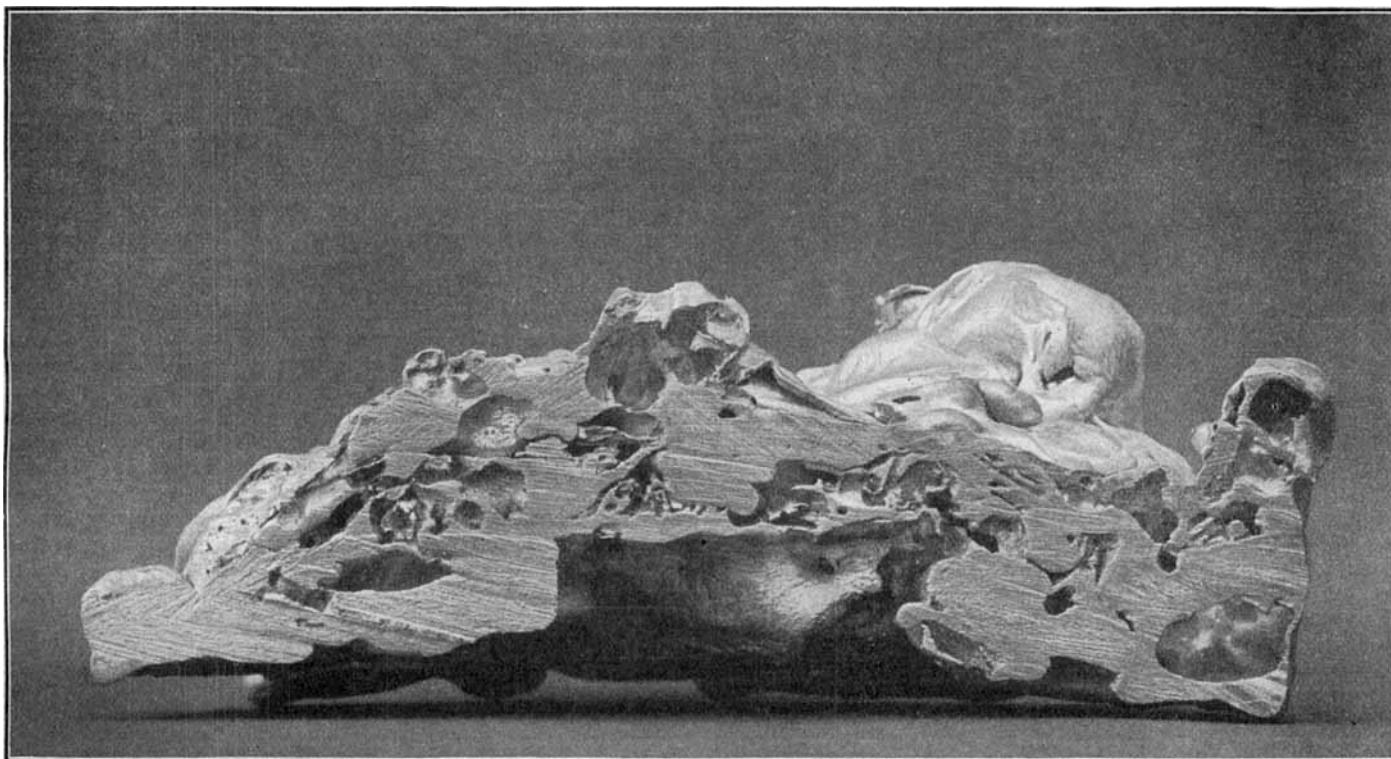


Fig. 1.

richtliche Sachverständige bei der Untersuchung dieses Unfalles zu fungieren und glauben, daß die Publikation der näheren Umstände, unter welchem derselbe eingetreten ist, von Interesse für die Industrie ist, nachdem es nicht ausgeschlossen erscheint, daß solche Explosionen bereits auch an anderen Orten vorgekommen sind. Vielleicht gibt diese Mitteilung den Anlaß, daß ähnliche Unfälle bekannt gemacht werden¹⁾.

Das granulierten Aluminium, das beim Gießen des Martinstahles Verwendung findet, wird in dem genannten Hüttenwerke in nachstehender Weise hergestellt:

In großen Graphitschmelztiegeln werden je ca. 10 kg Aluminium in Stücken eingesetzt und dieselben samt Inhalt in den Schmelzofen gestellt. Das Metall ist in ca. 15–20 Minuten geschmolzen, und es werden hierauf die Tiegel von

¹⁾ In einer Aluminiumgießerei im Stadtteile Roquette in Paris brach am 17./2. in Brand aus. Bei den Löscharbeiten kam es zu einer Explosion, durch die 13 Feuerwehrleute und Schutzleute verletzt wurden. (Chem.-Ztg. 37, 271 [1913].)

In der Aluminiumfabrik von E. Fröhlich in Paris ereignete sich ein erheblicher Unfall durch Explosion von flüssigem Metall. Mehrere Arbeiter erlitten schwere Verletzungen. (Chem.-Ztg. 37, 334 [1913].)

1910 regelmäßig in dem Eisenwerke durchgeführt ohne daß jemals ein Unfall zu verzeichnen war.

Im März 1911 erfolgte jedoch bei der in Rede stehenden Operation eine Explosion, welche eigentlich aus zwei Explosionsstößen bestand und nicht unbedeutende Zerstörungen in dem Hüttenwerke veranlaßte. Von den bei der Granulation befindlichen Arbeitern wurden vier schwer verletzt, von denen zwei ihren Wunden erlagen.

Die eigentliche Ursache des Unfalles kann nur in einer plötzlichen Dampfbildung gesucht werden; eine Knallgasexplosion ist völlig ausgeschlossen, da Aluminium bei den hier in Frage kommenden Temperaturen reines Wasser so gut wie nicht zerlegt. Eine Wasserstoffentwicklung wäre nur dann denkbar, wenn das Wasser stark alkalisch reagiert hätte — wenn also zum Granulieren sozusagen Lauge verwendet worden wäre, was aber wohl ausgeschlossen erscheint.

Eine Dampfexplosion hingegen ist sehr gut möglich, obwohl der Schmelzpunkt des Aluminiums ziemlich niedrig ist. Er liegt nach Holmann, Lawrence und Barr bei 660°, nach Heycock und Neville bei 654,5°, nach Callendar bei 654,5°, nach Holborn und Day bei 657,3°, nach Waidner, Burgeß bei 658,0°.

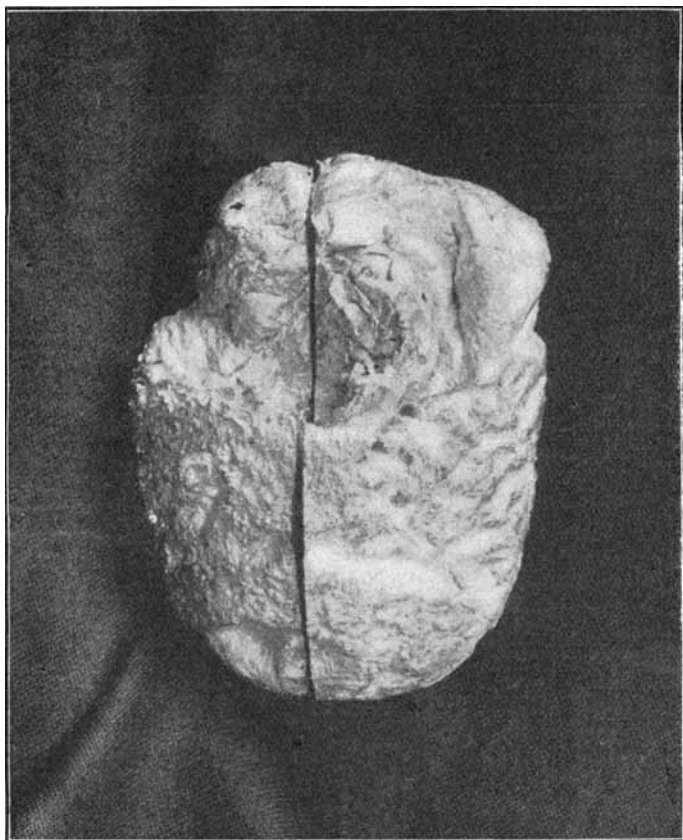


Fig. 2.

Hingegen ist die latente Schmelzwärme des Metalles, sowie seine spezifische Wärme sehr groß. Die reine latente Schmelzwärme von (1 kg) Aluminium beträgt 80 Calorien, und 1 kg Aluminium gibt bei seiner Abkühlung von 625° bis 0° C. 239,4 Calorien ab. (Pionchon.)

Da 1 kg Wasser von 99,81° nach Favre und Silbermann zu seiner Verdampfung 535,77 Calorien, ferner zu seiner Erwärmung von 15° bis zum Siedepunkte 85 Calorien also zusammen 620 Calorien benötigt, kann 1 kg geschmolzenes Aluminium 0,386 kg Wasser von Zimmertemperatur verdampfen, wobei 650 l Dampf von Atmosphärendruck gebildet werden. 10 kg geschmolzenes Aluminium liefern somit unter diesen Umständen 6500 l Dampf, und wenn die Dampfentwicklung momentan erfolgt, im Augenblicke des Verdampfens eine Dampfspannung von 1600 Atmosphären.

Dazu kommt noch, daß das Aluminium eine ungewöhnlich hohe spezifische Wärme besitzt, weshalb die Abkühlung des geschmolzenen Metalles nur langsam erfolgt²⁾, so daß überhitztes Metall lange Zeit braucht, um gußfähig zu sein. Wird derartiges überhitztes Metall in Wasser gegossen, so entwickelt es daher bedeutend größere Dampfmenen.

Es möge hier darauf hingewiesen werden, daß geschmolzenes Eisen oder Stahl, trotz seines viel

höheren Schmelzpunktes bei seiner Erstarrung und Abkühlung auf 0° weit weniger Wärme abgibt wie Aluminium (etwa 20–32 Cal.)³⁾, also pro Kilogramm nur 0,032 bis 0,051 kg Wasser (entsprechend 55,3 bis 98 l Dampf), daß also das Granulieren von Eisen und Stahl ganz ungleich weniger gefährlich ist, als jenes von Aluminium.

Für die Annahme einer derartigen Dampfexplosion infolge des plötzlichen Einbringens großer Mengen flüssigen (und vielleicht überhitzten) Aluminiums in das Granuliergefäß sprechen aber auch noch folgende Umstände:

1. Es wurde das Auftreten einer Flammenerscheinung von den meisten Zeugen direkt in Abrede gestellt, von anderen nicht als sicher hingestellt, und auch wirkliche Brandwunden scheinen nicht vorgekommen zu sein; die von dem einen Arzte konstatierte Rotfärbung der Haut eines Arbeiters kann wohl auch auf eine Verbrühung durch den gebildeten Dampf hervorgerufen worden sein.

2. Die schwersten Beschädigungen traten an der unteren Hälfte der Beine, sowie an den oberen Teilen des Körpers auf; namentlich sind die Wunden an den unteren Extremitäten durch eingedrungene Holzsplitter (offenbar vom Fasse) charakteristisch, während die mittleren Partien der verletzten Körper keine oder doch nur geringe Verletzungen erlitten haben.

Hieraus geht hervor, daß die Entwicklung der Gas- oder Dampfspannung, welche den Unfall hervorrief, einerseits wirklich eine augenblickliche war, andererseits aber in den unteren Partien des Granulierfasses vor sich gegangen sein muß. So muß es aber auch wirklich geschehen, wenn eine große Menge flüssiges Metall in Wasser eingegossen wird: Es wird in ziemlich kompakter Masse auf den Boden des Gefäßes gelangen, und erst dort wird eine intensive plötzliche Dampfentwicklung eintreten können.

Die Verletzungen in den oberen Körperpartien, namentlich an Armen, Brust und Kopf, können teils von Trümmern des Siebes und seiner Fassung, teils vielleicht auch von dem plötzlich herausgeschleuderten Wasser (eine Art Wasserschub), teils endlich auch von nach oben geschleuderten Trümmern des Fasses oder des Tiegels herrühren.

Wie aber die große Menge von Aluminium auf einmal in das Faß gelangte, läßt sich freilich nur vermuten. Einen Fingerzeig hierfür geben die Angaben, daß der Unfall gegen Ende der Schicht erfolgte, und daß zuerst eine schwächere, in kurzer Frist darauf aber die starke Explosion auftrat.

³⁾ Weißes Gußeisen 33 Cal. (Gruner). Graues Gußeisen 23 Cal. (Gruner). Stahl nach Schätzungen E. D. Campbells ca. 20 Cal.

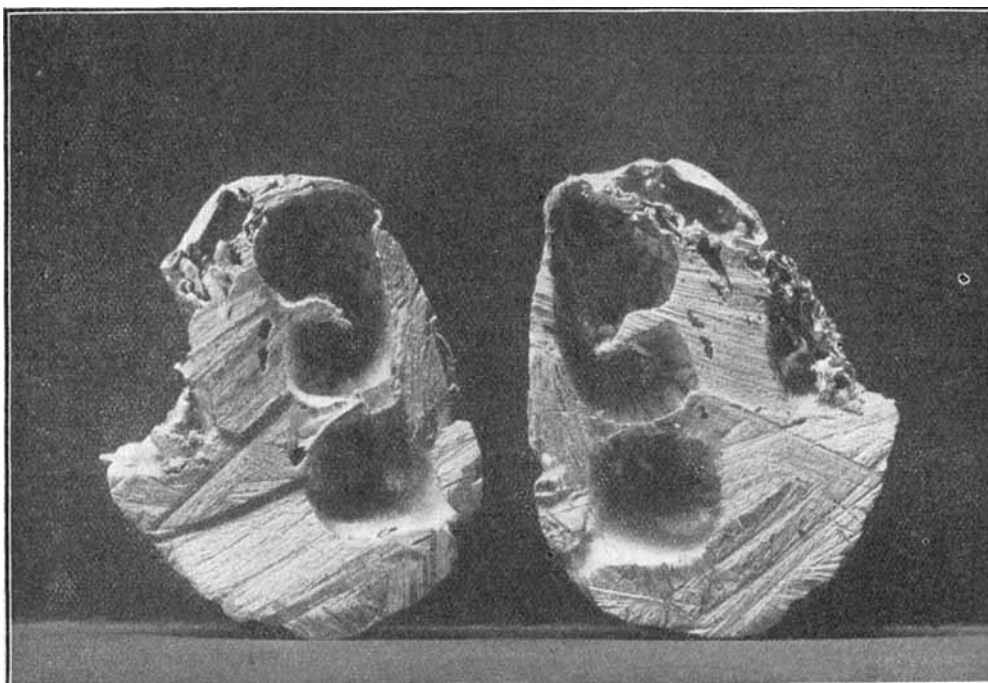


Fig. 3.

²⁾ Wird geschmolzenes Aluminium etwas abkühlen gelassen und hierauf mit einem Metallstab durchgerührt, so kann man es auf diese Weise leicht granuliert erhalten. Diese Methode ist übrigens bereits Gegenstand einer Patentanmeldung gewesen.

Offenbar waren die Arbeiter durch die erste kleine Explosion erschreckt worden und haben dann irgendeine Unvorsichtigkeit begangen, welche ein Entleeren des Tiegels oder ein Hineinfallen desselben samt dem Aluminium unmittelbar in das Granulierwasser verursachte.

Um ein Bild über die Vorgänge beim Granulieren von geschmolzenem Aluminium zu gewinnen, wurden einige Versuche angestellt. Letztere konnten wegen der etwa auftretenden Explosionen natürlich nur mit geringen Quantitäten von Aluminium vorgenommen werden.

Zuerst wurden Mengen von ca. 200 bis 250 g Aluminium im Graphittiegel geschmolzen und das flüssige Metall in ein mit Wasser gefülltes Holzgefäß von ca. 5,25 l Inhalt gegossen. Die Granulierung ging anstandslos vonstatten, und es ergab sich auch kein Unterschied, wenn stark überhitztes, geschmolzenes Metall in Wasser gegossen wurde⁴).

Da die Annahme nicht von der Hand zu weisen ist, daß sich in dem Granulierfasse nur sehr wenig Wasser befand, — es konnte vergessen worden sein, neues Wassereinzufüllen, es konnte aber auch das Faß undicht sein — oder man hatte unterlassen, den unteren Wasserhahn zu schließen — wurden zahlreiche Versuche angestellt, um die Einwirkung von geschmolzenem Aluminium auf sehr wenig Wasser zu studieren.

Beim Eingießen von ca. 200 g geschmolzenem Aluminium in einen kleinen Tontiegel, der einige Kubikzentimeter Wasser enthielt, konnten bei drei Versuchen überaus heftige Explosionen beobachtet werden. Das geschmolzene Metall wurde aus dem Tiegel herausgeschleudert und sammelte sich am Fußboden in ganz dünnen Platten an. Die Explosion war so heftig, daß Aluminiumpartikel bis an das Gesimse des Hörsaales für Chemie, das ca. 7 m vom Boden entfernt ist, geschleudert wurden.

Um nun die Versuche genauer verfolgen zu können, insbesondere aber, um die Einwirkung des überhitzten geschmolzenen Aluminiums auf sehr wenig Wasser zu studieren, wurde mit Hilfe eines Thermoelementes die Temperatur des geschmolzenen und überhitzten Aluminiums festgestellt, und eben geschmolzenes Aluminium, sowie überhitztes Aluminium von den Temperaturen 750, 800, 900, 950, 1000, 1050° auf sehr wenig Wasser (zwischen 1–10 ccm) einwirken gelassen. Es gelang aber nicht mehr, eine auch nur annähernd so heftige Explosion zu erhalten, wie früher erwähnt wurde.

Es müssen bei den eingangs erwähnten Experimenten Einflüsse mitgewirkt haben, die bei den späteren Versuchen fehlten.

Beim Granulieren des Aluminiums wurde mit einem Hammer an das Sieb geschlagen, offenbar deswegen, damit das Aluminium leichter durch die Löcher des Siebes durchgehe. Das letztere bestand, wie den Sachverständigen beim Lokalaugenschein mitgeteilt wurde, aus einem abgeschnittenen, unten perforierten Graphittiegel. Durch das wiederholte Anschlagen an dieses Sieb konnte dasselbe einen Sprung bekommen, und der ganzen Masse des Aluminiums war dann Gelegenheit geboten, auf einmal in den Bottich mit Wasser zu fließen. Aber auch die Möglichkeit ist vorhanden, daß das in Rede stehende Sieb durch irgendwelche Unvorsichtigkeiten beim vorletzten Granulieren etwas feucht wurde — beim Hineingießen des flüssigen Metalles in dasselbe konnte die heftige Reaktion eintreten, die bei den früher geschilderten Laboratoriumsversuchen beobachtet wurde. Es ist aber auch nicht ausgeschlossen, daß die Arbeiter das ganze Sieb samt Inhalt in den Bottich fallen ließen. Vielleicht ließen dann die Arbeiter, welche den Tiegel mit flüssigem Metall hielten, aus Schreck über die erste Explosion den ganzen Tiegel in das Faß mit Wasser fallen.

Den Sachverständigen wurde gelegentlich des Lokalaugenscheines ein Graphittiegel vorgewiesen, der vermutlich vor dem Unfälle beim Schmelzen des Aluminiums verwendet wurde. Bei genauer Besichtigung des Tiegels ergab sich, daß es nicht unwahrscheinlich ist, daß derselbe beim Ausgießen des flüssigen Metalles zerbrochen ist, denn es ließ sich der Austritt von Schlacke über die zerbrochene Wandung des Tiegels nachweisen.

⁴) Das zu den Versuchen verwendete Aluminium enthielt 99,395% Aluminium.

Aber auch die Möglichkeit ist nicht abzuweisen, daß in dem mit Wasser gefüllten Bottich von der letzten Granulierung her etwas Metall zurückgeblieben wäre, das sich im Fasse etwa in der aus Zeichnung⁵) Fig. 1 ersichtlichen Weise angeordnet hätte. Beim weiteren Aufgießen von Aluminium wären so die Bedingungen geschaffen, daß etwas Wasser vor dem flüssigen Metall eingeschlossen wurde, und das letztere konnte nach dem Erstarren durch die hohe Spannung des entstandenen Wasserdampfes zerrissen werden.

Die Aluminiumschmelzprobe nach Fig. 2 wurde in der Weise hergestellt, daß geschmolzenes Aluminium in einen kleinen mit wenig Wasser gefüllten Tontiegel gegossen wurde. Es fand nach sehr kurzer Zeit ein Steigen des Metalles im Tiegel statt, und in der Abbildung Fig. 2 ist der auf die beschriebene Weise gewonnene Aluminiumregulus von eiförmiger Gestalt ersichtlich. Nach dem Durchschneiden des letzteren treten die in demselben befindlichen Hohlräume deutlich hervor. (Siehe Fig. 3.)

Infolge des Leidenfrostschen Phänomens findet die Dampfbildung des Wassers sehr langsam statt, so daß das Aluminium, während der entwickelte Wasserdampf durch kleine Spalten und Öffnungen ohne wesentlichen Überdruck entweichen kann, Zeit findet, zu erstarren. Kühlt sich das Metall so weit ab, daß das Leidenfrostsche Phänomen nicht mehr andauert, so findet plötzliche überaus heftige Dampfbildung statt.

Die aus Fig. 1 und 2 ersichtliche Anordnung ließe sich mit einer Mine vergleichen, die aus einer Aluminiumhülse mit Wasserdampf als Sprengladung besteht. Im Innern dieser Hohlräume können außerordentlich hohe Spannungen herrschen.

Vorauszusehen war der Unfall um so weniger, als das Verfahren schon seit Monaten in Anwendung stand, und der Obermeister in einem der größten Eisenwerke Österreichs Gelegenheit hatte, sehr große Mengen von Stahl (7000 bis 8000 kg) durch direktes Eingießen in Wasser granulieren zu sehen⁶). Da der Schmelzpunkt von Stahl zwischen 1200 und 1500°, jener des Aluminiums aber etwa bei 650° liegt, mußte das Granulieren des Aluminiums natürlich als eine viel harmlosere Operation angesehen werden. Überdies war der Betriebsleiter bei der Einführung des Granulierverfahrens sehr vorsichtig vorgegangen und hatte sich dabei von der Ungefährlichkeit desselben zu überzeugen geglaubt.

Herrn Hofrat Dr. J. M. Eder, der die große Güte hatte, die schwierigen photographischen Aufnahmen der Gußproben auszuführen, sagen wir den verbindlichsten Dank.

Ebenso sind wir Herrn Privatdozenten Dr. F. Böck, sowie Herrn Assistenten Dr. G. Weissenberger für die Mithilfe bei Ausführung der Experimente zu Danke verpflichtet. [A. 109.]

Leuchtgas, Kokerei, Generatorgas im Jahre 1912.

VON DR. ARTHUR FÜRTH.

(Schluß von Seite 351.)

H. Rehnann¹⁷⁸) erreicht die gleichmäßige Beschickung durch einen in der Höhe verstellbaren, durch Kugeln nach allen Seiten schwingbar gelagerten Verteiler- und Abschußkegel. Eine eingehende Beschreibung des Heller-Generators, sowie der mit ihm erreichten Betriebsergebnisse bringt Kropf¹⁷⁹). Heller¹⁸⁰) hat sich ein neues Vergasungsverfahren für seinen Generator schützen lassen: Die Zufuhr des Dampfes und der Luft erfolgt in zwei unmittelbar übereinander liegenden Zonen, so zwar, daß in der unteren Zone, wo ein stark exothermischer Prozeß (Verbrennung des Kohlenstoffs zu Kohlensäure) vor sich geht,

⁵) Fig. 1 zeigt den Durchschnitt durch eine Gußprobe.

⁶) Im Eisenwerk Aktiebolaget Bofors-Gullspång in Bofors, Schweden, entstand, indem Wasser mit geschmolzenem Eisen in Berührung kam, eine Explosion, bei der ein Arbeiter schwer verletzt wurde. (Chem.-Ztg. 36, 825 [1912].)

¹⁷⁸) D. R. P.-Anm. R. 33 379; Angew. Chem. 25, 1590.

¹⁷⁹) Österr. Z. f. Berg- u. Hüttenw. 60, 614–617; Angew. Chem. 26, II, 93.

¹⁸⁰) Österr. Pat. 56 386.