

welche zur vollkommenen Verbrennung des Generatorgases erforderlich ist, wird bei diesem Ofen erst bei u zugeführt. Dadurch erhält man unter der Muffelsohle eine scharfe Flamme von hoher Temperatur, und kann die Muffel dort am stärksten beheizen, wo die stärkste Wärmezufuhr notwendig ist.

Es ist ohne weiteres klar, daß man durch die stufenweise Zuführung der Sekundärluft, welche sich in der Praxis sehr gut durchführen läßt, sehr lange Flammen mit gleichbleibendem oder mit gesteigertem Hitzegrade erzielen kann. Zweifellos kann man derartige Effekte mit der direkten Feuerung, namentlich mittels geringwertiger Brennstoffe, niemals erzielen. Die Generatorfeuerung bietet also auch in derartigen Fällen nicht nur einen, sondern viele sehr erhebliche Vorteile.

✓ Die Herstellung von Eisen und Stahl auf elektrischem Wege.

VON ALBERT NEUBURGER, Berlin.

Die Versuche, Eisen und Stahl auf elektrischem Wege herzustellen, sind, trotzdem sie bereits in den siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts ihren Anfang nahmen und seitdem ununterbrochen fortgesetzt wurden, bis vor etwa drei Jahren im ganzen und großen ziemlich erfolglos verlaufen. In den Bestrebungen, eine Elektrometallurgie des Eisens zu schaffen, bedeutet das Jahr 1900 einen Wendepunkt. Im Verlaufe desselben sind verschiedene Anlagen in Betrieb gesetzt worden, welche mit überraschend guten Ergebnissen arbeiten: Nicht nur ist das von ihnen erzielte Produkt ein außerordentlich reines, es hat auch, je nach den örtlichen Verhältnissen noch den weiteren Vorzug einer mehr oder minder großen, ja teilweise sogar überraschenden Billigkeit. Es kommen also auch hier die Vorzüge, welche die elektrophysikalischen und elektrochemischen Methoden vor den rein chemischen im allgemeinen auszeichnen, voll zur Geltung.

Die Verfahren, welche dazu dienen, Eisen und Stahl, sowie verschiedene Eisenlegierungen auf elektrischem Wege zu gewinnen, sind fast durchweg ziemlich einfache. Wenn es trotzdem solange währte, bis sie so weit durchgebildet waren, daß nach ihnen ein erfolgreiches Arbeiten möglich war, so liegt der Grund hierzu in einem schwerwiegenden Fehler, den fast alle Erfinder der vor dem Jahre 1900 liegenden Epoche machten, und der stets die Gewinnung eines sehr unreinen und sehr teuren Produktes herbeiführte. Dieser Fehler bestand darin, daß die aus den Erzen ausgeschmolzenen Produkte zu lange zwischen

den Elektroden belassen wurden: hierdurch wurden einerseits der elektrische Widerstand und mit ihm natürlich die Kosten des Verfahrens erhöht; andererseits aber hatte das fertige Eisen Zeit, von den Elektroden Kohlenstoff aufzulösen und sich damit anzureichern. Da es kein Mittel gab, die Quantität des gelösten Kohlenstoffs irgendwie zu regulieren, so war auch eine Beeinflussung der Qualität des Produktes unmöglich und ein rationelles Arbeiten nach allen diesen Verfahren ausgeschlossen. Erst als man die Ursache des Fehlers richtig erkannte, änderte sich mit einem Schlage die ganze Sachlage. Alle jetzt im Betriebe befindlichen Verfahren arbeiten nach dem Prinzip, das gewonnene Eisen oder seine Legierungen, sowie, je nach der Art des Verfahrens, auch die Schlacke möglichst rasch aus dem Bereiche der Elektroden zu entfernen: es wird so eine geringe Stromintensität und damit große Billigkeit und andererseits ein Produkt erzielt, das sich durch seinen geringen Gehalt an Kohlenstoff auszeichnet.

Seit dem Jahre 1900 hat die Elektrometallurgie des Eisens rasche Fortschritte gemacht. Es sind bis jetzt in Europa etwa sieben Anlagen, die Eisen und Stahl auf elektrischem Wege gewinnen, im Betriebe. Eine Anzahl weiterer befindet sich in Amerika (zwei davon in Chile, einem Lande, das infolge seiner Erz- und Wasserverhältnisse ganz besonders zur Ausbeutung elektrometallurgischer Verfahren geeignet ist), so daß auf der ganzen Erde gegenwärtig etwa ein Dutzend Betriebe existieren dürften, die nach elektrischen Verfahren arbeiten. Mehrere derartige Betriebe sind im Bau begriffen.

Die Pioniere der Elektrometallurgie des Eisens und Stahls sind Ernesto Stassano in Rom und Dr. ing. h. c. Héroult, welcher letzterer den 12. Dezember 1900 als den Geburtstag der elektrischen Eisendarstellung bezeichnet, da er an diesem Tage den ersten Waggon elektrisch erblasenen Stahles absandte. Fast um die gleiche Zeit erhielt auch Stassano das erste zufriedenstellende Produkt. In Gysinge wurde jedoch bereits am 18. März 1900 elektrischer Stahl erhalten.

Prozeß Stassano¹⁾.

Unter allen Verfahren erregt dasjenige von Stassano durch die Art, wie es sein Erfinder durcharbeitete, in erster Linie Interesse. Dasselbe ist so durchgebildet, daß Stassano in seinem elektrischen Ofen Stahlsorten von vorher genau zu bestimmender Zusammensetzung zu erzeugen vermag. Als Ausgangsmaterial dienen hierbei die in Ober-

italien vorkommenden ziemlich reinen Eisenerze, deren Bestandteile zunächst durch Analyse ermittelt werden. Auf Grund dieser Analyse werden dann die Mengen des Zuschlages berechnet, wobei Stassano außer einem Eisen von bestimmtem Gehalte nach Möglichkeit eine Schlacke zu erhalten sucht, die nach der Formel $\text{SiO}_2 + 4 \text{ Basis}$ zusammengesetzt ist. Eine solche setzt, wie Versuche ergeben haben, dem Strome den geringsten Widerstand entgegen. Die Art und Weise, wie Stassano diese Berechnung vornimmt, und die er selbst zu ihrer jetzigen Vollkommenheit ausgebildet hat, ist so interessant, daß sie hier an einem Beispiel erörtert sein möge.

Es sei angenommen, daß die durch Analyse ermittelte Zusammensetzung des Erzes, des Zuschlages und der Kohle die folgende sei:

Erz	
Fe_2O_3	= 93,020 %
MnO	= 0,619 ,
CaO }	= 0,500 ,
MgO }	
SiO_2	= 3,790 ,
S	= 0,058 ,
P	= 0,056 ,
H_2O	= 1,720 ,
Zuschlag	
CaO	= 51,21 %
MgO	= 3,11 ,
Al_2O_3 }	= 0,50 ,
Fe_2O_3 }	
SiO_2	= 0,90 ,
CO_2	= 43,43 ,

¹⁾ Berg- und Hüttenm. Ztg. 1903, 40. 481.
Eisenzeitung 1903, 20, 217.
Electrical World and Engineer 37, 737. 847.
Electrochemical Industry 1903, 7, 247.
Elektrochem. Z. 1901, 8, 16; 1903, 10, 123. 168.
L'Electrochimie 1899, 8, 121.
Elektrotechnische Rundschau 1902/03, 20, 136.
Elektrotechnische Zeitschrift 1903, 4, 65.
L'Elettricità 1901, 11, 161.
Eng. Min. Journ. 75, 524.
Jahrbuch für Electrochemie 1899, 320. 552.
Eng. News 1901, 2. Mai.
L'Industrie Electrochimique 1901, 5, 29; 1902, 1, 4; 1903, 5, 27.
Journal de l'Electrolyse 1900, 100, 2: 109, 1; 1901, 110, 2; 111, 3; 112, 1; 117, 1; 129, 1; 130, 1; 131, 1; 1902, 142, 2: 145, 3; 149, 11; 150, 3; 151, 3; 153, 2; 154, 1.
J. Soc. Chem. Ind. 1902, 20, 816.
Kalender für Electrochemiker 1904, 528.
Le Mois scientifique et industriel 1903, 43, 10.
Patente: D. R. P. 141512, 25./5. 1898.
D. R. P. 144156, 12./3. 1902.
England 11604, 1898.
Frankreich 278183, 23./5. 1898.
Frankreich 319404, 8./3. 1902.
Science Abstracts 1900, 5, 418.
Scientific American 1900, Nr. 82, 68.
Stahl u. Eisen 1899, 16, 727.
Vortrag in der Elektrotechn. Gesellsch. Köln, 29./10. 1902.
Z. f. Electrochem. 5, 379; 6, 221; 8, 61. 852; 9, 555.

Kohle

C	= 90,42 %
Asche	= 3,88 ,
H_2O	= 5,70 ,

Es enthalten 1000 g Erz 930,2 g Fe_2O_3 ,
d. h. $\frac{930,2}{160} = 5,81$ Moleküle von Fe_2O_3 , wo-
bei zur Verbrennung des Sauerstoffs $5,81 \times 3$ Moleküle C nötig sind, d. h. $5,81 \times 3 \times 12 = 209,16$ g C, und da aus der Zusammensetzung der Kohle folgt, daß letztere 90,42 % C enthält, so werden $\frac{209,16}{90,42} \times 100 = 231,4$ g Kohle erforderlich sein.

Ferner enthalten 1000 g Erz 37,9 g SiO_2 ,
d. h. $\frac{37,9}{60} = 0,63$ Moleküle Kieselsäure, zu deren Bindung, um die Schlacke zu bilden, $0,63 \times 2 = 1,26$ Moleküle von Basen nötig sind.

Nun enthalten 1000 g Erz 6,19 g MnO und 5,00 g $\text{CaO} + \text{MgO}$, folglich $\frac{6,19}{71} = 0,087$ Moleküle MnO und $\frac{5}{48} = 0,104$ Moleküle $\text{CaO} + \text{MgO}$, wenn man als Teiler das Mittel der Molekulargewichte von CaO und MgO annimmt, also im ganzen $0,087 + 0,104 = 0,191$ Moleküle von Basen. Zur Bindung der Kieselsäure muß man dem Erz noch $1,26 - 0,191 = 1,069$ Moleküle an Basen zufügen. Aus der Zusammensetzung des Kalksteins ergibt sich, daß 100 g desselben

$\frac{51,21}{56}$	= 0,914 Moleküle CaO ,
$\frac{3,11}{40}$	= 0,078 , MgO ,
$\frac{0,5}{131}$	= 0,004 , $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$,
$\frac{0,9}{60}$	= 0,015 , SiO_2

enthalten, im ganzen demnach 0,996 Moleküle Basen und 0,015 Moleküle Kieselsäure; zur Bindung der letzteren sind ungefähr 0,030 Moleküle an Basen erforderlich. Man kann daher berechnen, daß auf 100 g Kalkstein 0,966 Moleküle chemisch wirkende Basen entfallen, und es sind folglich $\frac{1,069}{0,966} \times 100 = 111$ g Kalkstein zur Bindung der Kieselsäure erforderlich.

Auf Grund dieser Berechnung ergibt sich dann also folgende Zusammensetzung der Mischung:

Erz	. . . 1000 g,
Kohle	. . 231 g,
Kalkstein	111 g.

Diese Zusammensetzung ändert sich natürlich jeweilig mit derjenigen des Erzes und muß von Fall zu Fall neu berechnet werden. Im allgemeinen sind es vier Sorten von Erzen, die Stassano bei seinem Verfahren verwendet, und die folgende Zusammensetzung aufweisen:

	Magnetit %	Hämatit %
Fe ₃ O ₄	78,400	—
Fe ₂ O ₃	—	88,850
MnO	0,700	0,470
SiO ₂	8,650	2,960
Al ₂ O ₃	7,330	3,420
CaO	2,100	0,870
MgO	1,030	—
S	0,055	0,078
P	0,008	0,093
Org. Best.	—	2,561
	Limonit %	Limonit %
Fe ₃ O ₄	—	—
Fe ₂ O ₃	80,930	73,840
MnO	0,567	0,567
SiO ₂	1,970	1,970
Al ₂ O ₃	2,152	5,152
CaO	0,590	0,590
MgO	—	—
S	0,070	0,070
P	0,124	0,124
Org. Best.	12,630	15,550

Von diesen Erzen wird der Hämatit auf der Insel Elba gewonnen, der Magnetit im Val d'Aosta und bei Kap Calamita, der Limonit im Tal von Camonica und im Val Trompio in Brescia.

Die Erze werden fein gepulvert und einem magnetischen Aufbereitungsverfahren unterworfen, wenn dies ihrer Natur nach möglich ist. Läßt ihre Zusammensetzung es tunlich erscheinen, so werden sie auch direkt verwendet. Auch die Zuschläge und die Kohle werden fein gepulvert, und das Ganze wird dann unter Zusatz von Teer in Briketts gepreßt. Diese Briketts haben den Zweck, eine Entmischung der Beschickung im Schachte des elektrischen Ofens zu verhindern und die genaue Gleichmäßigkeit des erzielten Produktes zu gewährleisten. Ist mit Rücksicht auf diese Gleichmäßigkeit der Gedanke einer Brikettierung als ein guter zu bezeichnen, so verteuert er die Kosten des Verfahrens andererseits um ein beträchtliches. Stassano ist daher damit beschäftigt, eine Methode aufzufinden, welche die Brikettierung vermeidet, und es ist zweifellos, daß, sofern ihm dies gelingen sollte, der Preis des Produktes noch ein bedeutend billigerer werden würde, als er es ohnehin schon ist. Da auch der Teer, welcher den Briketts als Binde-

mittel zugesetzt wird, an der Reaktion teilnimmt, so ist bei der Zusammensetzung der Mischung auch auf ihn und in erster Linie auf seinen Gehalt an Kohlenstoff entsprechende Rücksicht zu nehmen. Stassano ermittelt die im Teer enthaltene Kohlenstoffmenge in der Weise, daß er eine genau gewogene Menge Teer auf die Temperatur von 800—900° erhitzt; nach der Abkühlung bestimmt er aus dem Gewicht des Rückstandes den Prozentgehalt an Kohlenstoff und vermindert die dem Erz beizufügende Kohlenmenge um den entsprechenden Betrag. Um nicht immerwährend Teeranalysen vornehmen zu müssen, sucht Stassano immer eine bestimmte Teersorte zu verwenden, die folgende Zusammensetzung hat: Kohlenwasserstoffe 40,5%, Kohlenstoff 59,2%, Asche 0,27%. Durch Veränderung des Kohlenstoffgehalts der Mischung, resp. der Briketts läßt sich jede gewünschte Eisen- und Stahlsorte erhalten, und es kann ihre Zusammensetzung bereits im voraus genau bestimmt werden. Sollen bestimmte Eisenlegierungen hergestellt werden, so werden die hierzu nötigen Bestandteile ebenfalls bereits den Briketts beigemengt, und Stassano erhält auf diese Weise Chromstahl, Wolframstahl usw. usw. von jeder gewünschten Zusammensetzung.

Die Briketts werden durch Zusammendrücken der Mischung mittels hydraulischer Pressen dargestellt; zu ihrer Bereitung wird als Kohle eine sehr reine Holzkohle verwendet; sie kommen, nachdem sie in Stücke von 4—5 cm Größe, welche, wie sich erwiesen hat, den Gasen den für das Verfahren besten Durchzug gewähren, zerпочt worden sind, in den elektrischen Ofen. Das Modell dieses Ofens hat Stassano verschiedentlich abgeändert, und er ist auf diese Weise endlich zu seinem neuesten Ofen gekommen, der einen elektrischen Flammofen darstellt. Bei demselben gelangen die Briketts durch einen seitwärts angebrachten Einfülltrichter in den Ofenraum und gleiten, nachdem sie durch die im Inneren des Ofens herrschende Hitze geschmolzen sind, zwischen den Elektroden durch, wobei der unter starkem Knattern und Sausen überschlagende mächtige Flammbogen die Reduktion einleitet. Das neueste Modell des Ofens unterscheidet sich von den früheren dadurch, daß der ganze Ofen drehbar angeordnet worden ist, und zwar um eine in schräger, von der senkrechten etwas abweichenden Richtung stehende Drehachse. Durch diese schiefe Stellung des ganzen Ofens wird bewirkt, daß bei der Drehung desselben die auf dem senkrecht zur Drehachse liegenden Boden befindliche Beschickung unausgesetzt von selbst von den höher liegenden Stellen

des Bodens nach den niedriger liegenden gleitet und in mehrfachen Richtungen durchgearbeitet wird. Durch eine weitere Ausgestaltung dieser Einrichtung hofft Stassano zur vollständigen Vermeidung der Brikettierung gelangen zu können. Die mit Wasserkühlung versehenen Elektroden ragen schief nach unten gerichtet in den Ofen hinein, so daß die Beschickung an ihrer Oberfläche leicht abgeleitet, und keine Erhöhung des elektrischen Widerstandes infolge von Stockungen an den Elektroden eintreten kann.

Ähnlich wie Stassano die Zusammensetzung der Briketts genau auf Grund seiner Analyse berechnete, so versuchte er auch, zunächst den Stromverbrauch auf Grund thermochemischer Daten festzustellen, indem er sich hierbei auf die Formel von Gin und Leleux

$$t = \frac{1}{A} \left(\frac{1}{S} \right)^2 \frac{R}{c}$$

wobei

R = Widerstand der Gashülle,

c = spezifische Wärme des Gases,

S = Querschnitt der Elektrode

t = Temperatur des Lichtbogens

bedeutet, einerseits, sowie auf diejenige zur Berechnung der Jouleschen Wärme

$$h = 0,24 i^2 R t$$

andererseits stützte. Es ergab sich jedoch die prinzipiell wichtige Tatsache, daß diese beiden Formeln für den elektrischen Ofen keine Geltung haben. Der Grund hierfür

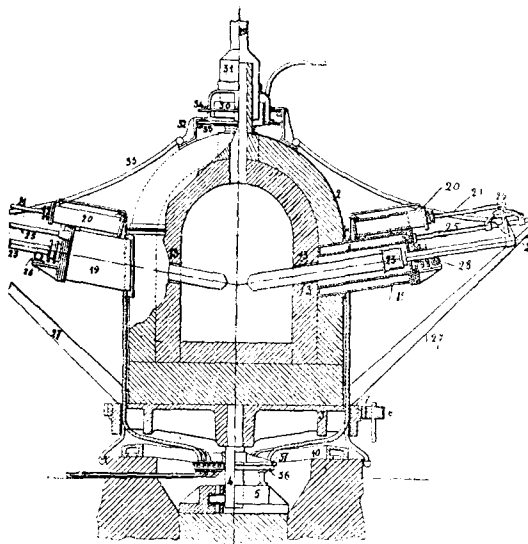


Fig. 1. Ofen Stassano. Modell Turin.

liegt darin, daß bei der ungewöhnlichen Temperatur, bei der man operiert, die die Elektroden umgebenden Gase sicher getrennt sind, und daß die Analyse über ihre Zu-

sammensetzung nichts *ergeben kann, weil beim Entnehmen von Proben die getrennten Gase, sobald sie nicht mehr der hohen Temperatur an den Elektroden ausgesetzt sind,

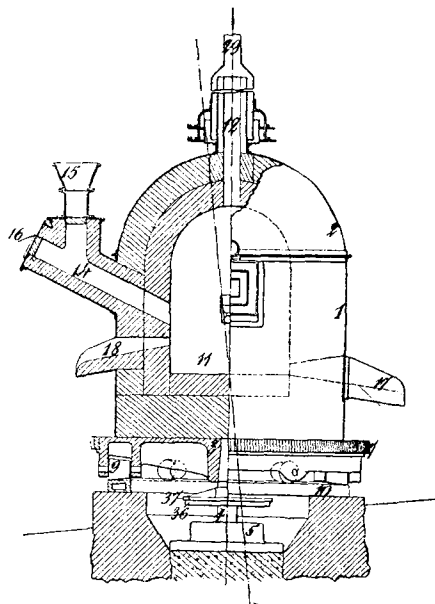


Fig. 2. Ofen Stassano. Modell Turin.

sich sofort wieder verbinden. Es folgt daraus, wie auch schon Kershaw anlässlich verschiedener Berechnungen über den Stassano-Prozeß nachgewiesen hatte, daß die Werte von R und C der Gin- und Leleuxschen Formel bei diesem Prozesse und wohl auch bei elektrischen Öfen überhaupt niemals experimentell bestimmt werden können. Auch die theoretischen Reaktionen zur Bestimmung des thermischen Wirkungsgrades kann man einer Berechnung nicht zugrunde legen, weil die Ofentemperatur eine viel höhere ist, als sie es zur Einleitung dieser Reaktionen eigentlich sein müßte. Es blieb demnach Stassano nur der einzige Weg, die thermische Leistung seines Ofens durch praktische Versuche festzustellen.

Hierbei ergab sich, daß dem Ofen insgesamt 84 012,072 Kalorien zugeführt wurden, von denen für die einzelnen Operationen im Ofen 52 524,805 verbraucht wurden, so daß sich der thermische Nutzeffekt zu

$$\frac{100 \cdot 52\,524,805}{84\,012,072} = 61,33\% \text{ berechnet.}$$

Im Einklange mit diesem günstigen Ergebnis stehen die wirklichen Gestehungskosten des Prozesses. Um 1000 kg Eisen oder Stahl zu erzeugen, sind je nach der Zusammensetzung des Erzes 1600—1700 kg desselben erforderlich. Unter Zugrundelegung der italienischen Verhältnisse und Preise für die einzelnen Posten berechnet sich dann nach Angabe von Stassano der Preis des

erzeugten Eisens folgendermaßen, wobei zu bemerken ist, daß diese Zahlen, sämtlich von dem als Vertreter des deutschen Patentamtes zur Stassanoschen Anlage entsandten Dr. Hans Goldschmidt nachgeprüft wurden, so daß sie also als authentisch feststehend zu bezeichnen sind, mit Ausnahme des Postens „Allgemeine Unkosten“, den Goldschmidt nachzuprüfen nicht in der Lage war, der aber für das Gesamtergebnis als unerheblich betrachtet werden kann:

1600 kg Erz à 12 M $\frac{0}{100}$	M 19,20
Für Pulverisierung desselben à	
4 M $\frac{0}{100}$	3,84
200 kg Zuschlag à 4 M $\frac{0}{100}$	0,80
250 kg Kokes à 36 M $\frac{0}{100}$	9,00
Für Pulverisierung desselben	
à 1,6 M $\frac{0}{100}$	0,40
190 kg Beimengungen à 56 M $\frac{0}{100}$	10,64
Für Herstellung der Mischungen	
à 2,4 M $\frac{0}{100}$	5,40
Verbrauch der Elektroden 12 kg	
à 0,24 M $\frac{0}{100}$	2,88
Unterhaltung des Ofens	9,60
Arbeitslohn	4,80
Utensilien	2,40
Elektrische Kraft 4000 PS-Stunden	
à 0,00456 Pf	18,24
Allgemeine Unkosten	2,40

In Summa: M 75,20

Abzüglich des Wertes der Energie
der flüchtigen und brennbaren

Gase M 14,40

Rest wirklicher Unkosten: M 75,20

Zu dem letzten der vorstehend angeführten Posten ist zu bemerken, daß ein besonderer Vorteil des Stassano-Verfahrens darin besteht, daß das Kohlenoxyd, das während des Prozesses im elektrischen Ofen gebildet wird, mit Vorteil bei der Weiterverarbeitung des fertigen Metalles (als Heizgas für Schweißöfen usw. usw.) verwendet werden kann. Die entweichenden brennbaren Gase betragen pro Kilogramm erzeugten Metalles 0,666 Kilogramm CO, und es können damit 1622 Kalorien erzeugt werden. Die aus der Zerlegung gewonnene Wärme ist größer als die verbrauchte, welche sich auf 1314 Kalorien beläuft, so daß bei diesem Prozesse in der Tat ein nicht zu unterschätzender Gewinn an Energie sich ergibt. Aus der obigen Berechnung ergibt sich auch, daß man unter Einrechnung etwaiger Verluste und vorher nicht zu bestimmender Schwankungen im Energieverbrauch mit 2,5—3 Pferdekraftstunden per Kilogramm produzierten Eisens auskommt. Stassano arbeitet nicht immer mit Erzen, sondern er benutzt zur Herstellung von Stahl auch Roheisen und Eisen-

abfälle der verschiedensten Art: in diesem Falle stellt sich der Energieverbrauch natürlich noch wesentlich günstiger, als er aus der obigen für Erze angestellten Berechnung hervorgeht. Zuweilen werden auch sogenannte „gemischte Chargen“ verwendet, die aus einem Gemenge von Erzen und Roheisen, resp. Eisenabfällen bestehen.

Stassano hat am 14. Juni 1903 das dritte Modell seines Ofens in Betrieb gesetzt. Es ist dies der oben beschriebene drehbare Ofen. Die in der vorstehenden Berechnung enthaltenen Ergebnisse sind mit zwei Versuchsöfen erhalten worden, die sich in einer Anlage zu Darfo am Lago d'Iseo befinden, und die seit der Inangangsetzung des

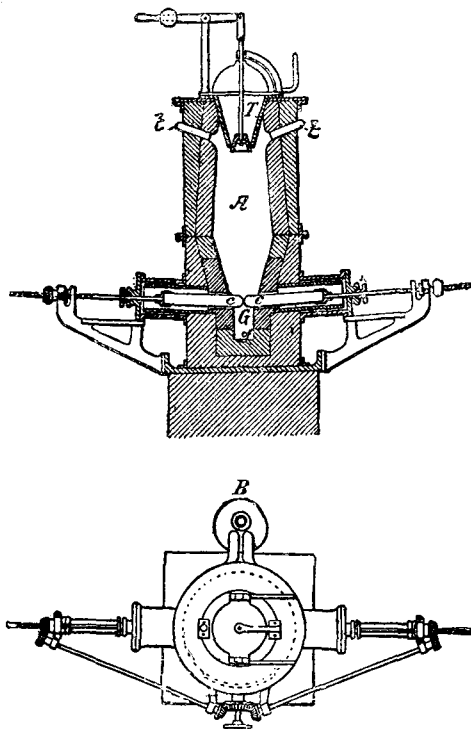


Fig. 3. Ofen Stassano. Ältestes Modell.

neuen Ofens, der mit Hilfe der italienischen Regierung im königlichen Schmelzwerk zu Turin errichtet wurde, außer Betrieb stehen. Dieser neue Ofen hat bei einem Energieverbrauch von 120—140 Kilowatt eine Tagesproduktion von 2500—3000 Kilogramm Stahl. Der kleinere der beiden Öfen zu Darfo, welcher zugleich das erste Ofenmodell darstellt, wurde für einen Kraftverbrauch von 100 PS. gebaut; die Kraft wurde von zwei 300 PS.-Dynamomaschinen geliefert, und ihre Spannung wurde zuerst auf 50—60, später auf 80 Volt bei 1000 Ampère herunter transformiert. Der zweite Ofen in Darfo ist für einen Kraftverbrauch von 500 PS. eingerichtet. Die Spannung in

demselben beträgt 170 Volt bei 2000 Ampère Wechselstrom. Diese Zahlen über die Stromverhältnisse sind Durchschnittszahlen; die Regulierung des Stromes geschieht mittels der Hand durch Veränderung des Abstands der Elektroden auf Grund der Angaben des Volt- und Ampèremeters. Die Spannung, die am Beginn des Prozesses etwas niedriger ist, als oben angegeben, steigt dann während desselben an, um allmählich zu sinken und am Ende während etwa 20 Minuten noch einmal auf ein Maximum anzusteigen. Das Erblasen einer Charge von 30 Kilogramm Schmiedeeisen bei einer Charge von 70,25 Kilogramm Erzgewicht erfordert ziemlich genau zwei Stunden.

Der Abbrand der Elektroden war im Anfang ein sehr starker; es ist jedoch Stassano gelungen, denselben nunmehr auf etwa 4 cm pro Betriebsstunde herabzumindern. Ebenso traten beim Beginn der Versuche durch das Abschmelzen der kupfernen Elektrodenhalter mannigfache Störungen ein, die dadurch beseitigt wurden, daß man die Elektroden mit schiefer Neigung nach unten im Ofen anordnete und mit kräftiger Wasserkühlung versah. Infolge dieser Stellung gleiten die Beschickung, resp. das Metall und die Schlacke rasch über sie hinweg, und es ist dem fertigen Eisen keine Zeit gegeben, sich an ihnen zu kohlern, wodurch einerseits ein sehr reines Produkt von genau vorher bestimmtem Kohlenstoffgehalte, andererseits das eben erwähnte günstige Resultat in bezug auf das Abschmelzen der Elektroden erzielt wird. Um auch eine Kohlhung in den Schmelztiegeln, in die das fertige Metall abgelassen wird, zu vermeiden, werden dieselben jetzt, anstatt wie früher mit Graphit, mit Magnesia ausgekleidet.

Die Reinheit des gewonnenen Produktes haben wir schon des öfteren hervorgehoben und ebenso die ganz außerordentliche Billigkeit, auf welche wir am Schlusse unserer Betrachtungen bei Besprechung der wirtschaftlichen Aussichten der elektrometallurgischen Eisenprozesse noch zurückkommen werden. Auch in bezug auf die Zusammensetzung des erzielten Stahles hat Stassano wesentliches erreicht. Bei den ersten Versuchen mit dem 100 PS.-Ofen erwies sich der Kohlenstoffgehalt größer als erwünscht, da das Metall von den Elektroden solchen aufnahm. Es wurde damals aus den manganreichen Camonica-Erzen ein Stahl von großer Härte erhalten, der 1,02% Mn und 2,06% C enthielt. Die heute erzielten Stahlsorten werden in ihrer Zusammensetzung bereits im voraus bestimmt. Nachstehend sind die Analysenresultate von vier Proben wieder-

gegeben, die im größeren Ofen von Darfo erzeugt wurden. Die Analysen rühren von Stassano her.

	I	II	III	IV	Mittel
Fe	99,695	99,647	99,704	99,690	99,684
Mn	0,068	0,106	0,095	0,109	0,094
Si	0,021	0,048	0,022	0,028	0,029
S	0,108	0,075	0,062	0,046	0,061
P	0,024	0,005	0,025	0,013	0,017
C	0,084	0,120	0,092	0,113	0,102

Ein Anzahl von Proben aus Darfo analysierte Goldschmidt, und ergaben sich hierbei folgende Resultate:

	I	II	III	IV	V
C	0,04%	0,04%	0,17%	0,09%	0,77%
Mn	0,05%	0,12%	0,07%	0,18%	0,65%
Si	—	—	Spur.	Spur	0,04%
P	—	—	0,02%	—	—
S	—	—	0,05%	—	0,04%

Ein ebenfalls von Goldschmidt analysierter Chromstahl hatte die Zusammensetzung:

C = 1,51%, Mn = 0,26%, Cr = 1,22%.

Prozeß Héroult²⁾.

Dr. ing. h. c. D. Héroult, resp. die mit ihm in enger Verbindung stehende „Société Electrometallurgique Française“ zu La Praz in Savoyen sind im Besitze zahlreicher Patente auf Öfen und Verfahren zur Herstellung von Eisen und Stahl, sowie von Eisenlegierungen der verschiedensten Art. Von all diesen Öfen hat sich besonders eine Konstruktion, die man mit Recht als „elektrische Bessemerbirne“ bezeichnen kann, in Verbindung mit einem von de Laval zuerst angegebenen Verfahren, das jede Berührung

²⁾ Berg- u. Hüttenm. Ztg. 1903, 41, 493.

Eisen-Zeitung 1903, 21, 231.

Electrical World and Engineer 40, 381.

Electrochemical Industry 1903, 13, 449.

Elektrochem. Z. 1903, 10, 67, 123, 170.

Eng. Min. Journ. 75, 524.

Eng. New. 1901, 2. Mai.

Jahrbuch für Elektrochemie, 1901, 552.

L'Industrie électrochimique, 1901, 4, 29; 1903, 3, 12; 4, 29; 8, 51.

Journal de l'Electrolyse, 1900, 104, 91; 1901, 114, 1; 130, 1; 131, 1; 159, 1; 1902, 133, 1; 150, 17; 1903, 175, 2.

Kalender für Elektrochemiker 1904, 529.

La Mois scientifique et industriel 1903, 43, 1, 12.

Patente:

D. R. P. 142830, 22./2. 1903.

D. R. P. 139904, 4./7. 1900.

Frankreich 298656, 27. 3. 1900; 305317, 12./11.

1900; 305373, 13./11. 1900; 307379, 1./2. 1901;

318638, 12./2. 1902; 362286, 25./4. 1902.

Ungarn 28./3. 1903.

Canada, 79716, 17./3. 1903.

Z. f. Elektrochem. 9, 556.

zwischen Elektroden und Metall ausschließt, so vorzüglich bewährt, daß in La Praz gegenwärtig ausschließlich mit dieser Birne gearbeitet wird.

Die Anlage in La Praz erzeugt pro Tag 6 Tonnen Werkzeugstahl; in wasserreichen Jahreszeiten werden die überschüssigen Kräfte zur Erzeugung von Roheisen auf elektrischem Wege verwendet. Die Produktion an letzterem betrug im letzten Jahre etwa 300 Tonnen; eine weitere Anlage zur Ausbeutung des Héroultschen Verfahrens ist gegenwärtig bei Granbergsdal in Schweden in der Ausführung begriffen.

Nach einer in den jüngsten Tagen an mich gelangten freundlichen Mitteilung des Herrn Dr. Héroult ist es nunmehr in La

wendet, um das fertige Metall vor der Berührung mit den Elektroden und damit vor Kohlung zu schützen, besteht darin, daß er zu den Erzen, oder wo, wie in La Praz, mit Eisenabfällen und Roheisen gearbeitet wird, zu diesem einen geeigneten Zuschlag zugibt, der die Entstehung einer Schlacke bewirkt, die einen höheren elektrischen Widerstand besitzt, als das unter ihr befindliche Metall. Die Bildung dieser Schlacke kann entweder, wenn man mit Erzen arbeitet, in einem besonderen elektrischen Schachtofen bewirkt werden, in dem die Erze mit einem Zuschlag von Kieselsäure und Kalk gemischt, unter der Hitze mehrfacher elektrischer Lichtbögen niedergeschmolzen werden, oder aber sie kann, wie bei der direkten Erzeugung von Stahl

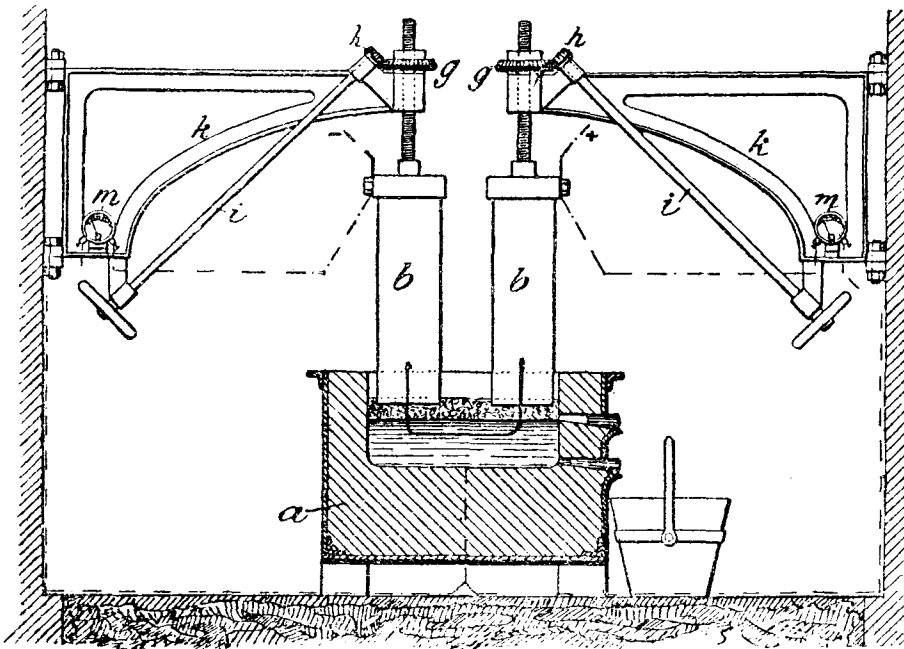


Fig. 4. Weg des Stromes beim Ofen Héroult. (System Laval.)

Praz gelungen, außer Roheisen, Stahl und den verschiedensten Stahlegierungen, auch Thomasstahl von vorzüglicher Qualität herzustellen. Ferner gewinnt man dort, derselben Mitteilung zufolge, nunmehr ein Produkt, welches den besten Qualitäten harten und weichen Tiegelgußstahls in keiner Beziehung nachsteht. Dabei ist es gelungen, den Kraftverbrauch auf 150 Kilowatt pro Tonne produzierten Stahles herabzusetzen.

Für eine der in La Praz produzierten Stahlsorten gibt Héroult folgende Zusammensetzung an:

$C = 0,60 - 1,8\%$; $Mn = 0,15\%$; $Si = 0,03\%$;
 $P = 0,003\%$; $S = 0,007\%$.

Das von de Laval herrührende Prinzip, welches Héroult bei seinem Verfahren an-

aus Roheisen und Eisenabfällen in der „elektrischen Bessemerbirne“ selbst vor sich gehen. Nach welcher Methode man auch arbeitet, es resultiert stets zuletzt eine Schlackenschicht und eine unter ihr liegende Metallschicht. Der elektrische Widerstand der Schlackenschicht ist unter allen Umständen größer als derjenige der Metallschicht. Taucht man die Elektroden so weit in die Schlacke ein, daß sich zwischen dem Metall und dem unteren Elektrodenende noch eine Schlackenschicht befindet, so wird der Strom stets den Weg des geringeren Widerstandes wählen. Er wird also von der Anode, die parallel zur Kathode und, wie diese, senkrecht zur Schlackenschicht in die letztere eintaucht, nicht durch die Schlacke, sondern durch das

Metall zur Kathode hindurch gehen, so daß sein Weg der folgende ist: Anode — dünne Schlackenschicht — Metall — dünne Schlackenschicht — Kathode. Er wird also durch den hohen Widerstand der Schlackenschicht gewissermaßen gezwungen, das Metall zu passieren und dort seine schmelzende und reduzierende Wirkung auszuüben. Die Bildung eines elektrischen Lichtbogens ist hierbei nicht erforderlich; es tritt auch Erhitzung durch den Strom selbst ein. Bei der Leitung des Prozesses ist es sehr wesentlich, daß das Eintauchen der Elektroden in die Schlacke stets so geregelt wird, daß die zwischen ihnen und dem Metallbade befindliche dünne Schlackenschicht während des ganzen Arbeitsvorganges heißer, also leitfähiger bleibt, als die zwischen den Elektroden selbst befindliche horizontale Schlackenschicht. Nur durch genaue Befolgung dieser Regel läßt sich der beschriebene Weg des Stromes herbeiführen, und es muß deshalb,

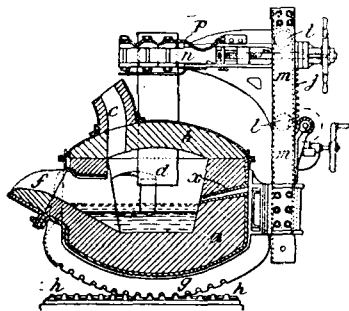


Fig. 5. Elektrische Birne Héroult.
(Durchschnitt.)

ähnlich wie beim Stassano-Prozeß, während des ganzen Vorganges der Stahlbereitung eine ständige Regulierung der Elektroden auf Grund der Volt- und Ampèremeter-Angaben stattfinden.

Derjenige Ofen unter den zahlreichen von Héroult herrührenden Ofenkonstruktionen dessen man sich gegenwärtig unter Benutzung des vorstehend erörterten Prinzips für den Stromdurchgang in La Paz bedient, ist, wie bereits erwähnt, die „elektrische Bessemerbirne“. Dieselbe gleicht in der Tat in bezug auf Größe und äußere Form einer derjenigen Birnen, wie sie in jüngster Zeit in den sogenannten „Kleinbessemerereien“ so vielfach in Aufnahme gekommen sind, und sie erinnert unter diesen am meisten an die Birne System Raapke. Dieselbe besteht aus einem Eisenmantel, der innen mit einer feuerfesten Ausmauerung a versehen ist. Die Beschickung wird nach dem Öffnen des Deckels b von oben zugegeben; c ist eine im Deckel angebrachte Öffnung für den Abzug des Rauches und der Gase. Mittels

einer Zahnstangenvorrichtung g, h, h kann die Birne gekippt werden, so daß das Metall bei der Öffnung f auszufließen vermag. Die Kippvorrichtung hat aber auch den Zweck, der Birne eine verschiedene Neigung zu erteilen, so daß je nach Bedarf der Winkel, unter dem die durch die Winddüsen x ein-geblasene heiße Luft auftritt, verändert werden kann. Diese Düsen x sind seitwärts angebracht und nicht, wie bei der eigentlichen Bessemerbirne, unter der Charge; also auch in dieser Beziehung gleicht die Birne denjenigen der Kleinbessemerereien und insbesondere der des Systems Raapke, und man könnte den ganzen Prozeß eigentlich als einen in die Bessemerbirne verlegten elektrischen Frischprozeß bezeichnen. d sind die Elektroden, die von oben durch den Deckel hindurchgehen und mittels Regulie-vorrichtungen, m, l, j, nach Bedarf gehoben und gesenkt werden können. Der Strom wird durch die Leitungskabel p zugeleitet, die

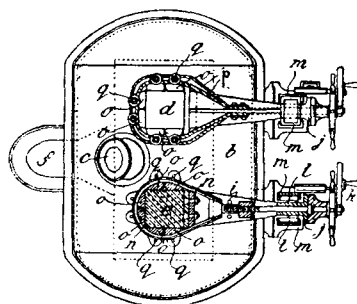


Fig. 6. Elektrische Birne Héroult.
(Von oben.)

an Isolatoren q befestigt sind; e zeigt die Öffnung im Deckel, durch welche die Elektrode hindurchgeht, und durch welche man direkt auf die Schlacke blickt.

Auf den ersten Blick mag es erscheinen, als ob sich diese Birne nur zur Herstellung von Stahl eignen würde; in der Tat ist sie aber ebenso vorzüglich zur Gewinnung von Roheisen zu benutzen; soll dieses hergestellt werden, so wird einfach der Wind abgestellt. Die Birne erzeugt also bei abgestelltem Winde Roheisen, bei Windzufuhr Stahl. Ein besonderer Vorzug gegenüber den bisher üblichen Methoden der Stahlbereitung liegt hierbei noch darin, daß die Hitze durch Regulierung des Stromes beliebig gesteigert werden kann. Es ist deshalb eine besondere Zugabe von Ferrosilicium zum Zwecke der Temperaturerhöhung nicht mehr nötig. In einer Charge können jeweils drei Tons Stahl erzeugt werden, wobei ein Wechselstrom von 120 Volt und 4000 Ampère zur Anwendung gelangt. Es können an einem Tage mehrere Chargen erblasen werden.

Das aus der Birne ausfließende Eisen ist, soweit nicht a priori Roheisen erzeugt werden soll, vollkommen kohlenstofffrei; die gewünschten Eigenschaften werden demselben dann dadurch verliehen, daß genau gewogene

Mengen von Kohlenstoff darin aufgelöst werden; in gleicher Weise findet die Umwandlung in Stahl von bestimmter Qualität statt.

(Schluß folgt.)

Referate.

I. I. Analytische Chemie.

Nic. Teclu. Eine neue quantitative Untersuchungsmethode (Zeitschr. f. anal. Chem. 42, 603).

Das scharf eingestellte mikroskopische Bild eines Objekts verliert an Deutlichkeit, wenn sich der Zwischenraum zwischen Objekt und Objektiv verändert. Bei einer bestimmten Entfernung des Bildes verschwindet dasselbe vollständig. Je nach der Qualität des Objekts tritt diese Erscheinung bei verschiedenen Entfernungen auf. Der Verfasser hat nun versucht, durch Messung der sich ergebenden Objektivabstände einen Schluß auf die Qualität des Objekts zu ziehen. Teclu hat mit Erfolg dieses Verfahren benutzt zur Bestimmung des Holzschliffgehaltes von verschiedenen Papiersorten. Die Versuche werden noch fortgesetzt. — *br* —

F. Emich. Über die Bestimmung von Gasdichten bei hohen Temperaturen (Monatsh. f. Chem. 24, 747).

Die eingehenden Untersuchungen des Verfassers haben gezeigt, daß das Bunsensche Verfahren. Gasdichten durch Beobachtung von Ausströmungszeiten zu bestimmen, sich auch für hohe Temperaturen anwenden läßt. Die bisherigen Versuche erstreckten sich auf Temperaturen bis zu 1400°, einige auch bis 1900°.

Der Verfasser hofft, durch weitere Untersuchungen — eventuell auch bei höheren Temperaturen — Aufklärung über die relative Beständigkeit der Moleküle gewisser einfacher Verbindungen zu gewinnen. — *br* —

Henri Moissan. Zur Bestimmung des Argons in der Luft. (Compt. r. d. Acad. sciences 137, 600.)

Wie der Verfasser gefunden hat, verbindet sich metallisches Calcium bei Dunkelrotglut leicht mit Stickstoff, Sauerstoff und auch mit Wasserstoff. Letzterer Umstand ist wichtig, weil bei der Gewinnung des Argons nach Ramsay durch Überleiten über Magnesium und Ätzkali sich stets etwas Wasserstoff bildet.

Moissan leitet zur Bestimmung des Argongehaltes der Luft ein abgemessenes, trockenes Volumen derselben durch zwei auf 500° erhitzte Röhren. Die erste enthält ein Gemenge von Magnesium und Ätzkali, die zweite ca. 1 g metallisches Calcium in kleinen Kristallen.

Eine große Anzahl von Analysen der Luft, den verschiedensten Gegenden entnommen, ergab die bemerkenswerte Tatsache, daß der Argongehalt der Luft ein sehr konstanter ist. Er beträgt 0,932–0,935% für Höhen von 0 bis 5800 Meter. Die Luftschichten über den Meeren

enthalten im allgemeinen etwas mehr Argon jedoch noch innerhalb obiger Grenzen. — *br* —

Em. Campagne. Über die Bestimmung des Vanadiums in den metallurgischen Produkten. (Compt. r. d. Acad. d. sciences 137, 570; s. Berl. Berichte 36, 3164 u. diese Z. 16, 1082.)

J. M. Vogtherr. Ein neuer Kjeldahlapparat. (Chem.-Ztg. 27, 988.)

Der Apparat besteht aus einem senkrecht auf einem Drahtnetz stehenden und durch eine Klammer gehaltenen Jenenser Kjeldahlkolben von 500 ccm Inhalt. An seiner Öffnung trägt der Kolben eine luftdicht eingeschliffene Glocke, welche in die seitlich abfallende Destillationsröhre ausläuft. Letztere ist nochmals senkrecht nach abwärts gebogen und mündet, durch einen Kork- oder Gummistopfen befestigt, in das birnförmig erweiterte Ende des Absorptionsrohres, welches mit seinem offenen Ende in die das Absorptionsmittel enthaltende Vorlage taucht.

In diesem Apparate wird zunächst die Verbrennung der Substanz mit Schwefelsäure ausgeführt; dabei ist die Vorlage mit Natronlauge gefüllt, um die entweichende schweflige Säure zu binden. Der Apparat braucht also nicht unter einem Abzuge aufgestellt zu werden, da belästigende Dämpfe nicht entweichen. Nach beendeter Verbrennung spült man das Destillations- und das Absorptionsrohr sorgfältig mit Wasser aus, setzt den Apparat wieder zusammen und destilliert, nachdem man eine neue Vorlage mit titrierter Säure vorgelegt und Natronlauge in den Kolben gebracht hat, das gebildete Ammoniak über.

Der Apparat kann natürlich auch zu manchen anderen Zwecken dienen.

Neuerdings wurde auch ein Apparat konstruiert, bei welchem durch die Glocke ein bis auf den Boden des Kolbens reichendes Rohr geführt ist, um auch im Dampf- oder Gasstrom destillieren zu können. — *br* —

H. Baubigny und P. Rivals. Über die Einwirkung der Borsäure auf Jodide; ihre Anwendung zur Trennung des Jods der Jodide in Gegenwart von Bromiden und Chloriden. (Compt. r. d. Acad. d. sciences 137, 650.)

Das Verfahren beruht auf der Fähigkeit der Borsäure, in der Lösung von Jodiden schon in der Kalte Jodwasserstoffsäure freizumachen, während auf Bromide und Chloride eine Einwirkung erst in der Wärme und nur in konzentrierten Lösungen stattfindet.

Die Lösung der Jodide, ca. 0,22 g AgJ entsprechend, versetzt man mit so viel Borsäure,