

Über
Herstellung von Stahl
im elektrischen Ofen.

Von
Oberingenieur Viktor Engelhardt.

Vortrag, gehalten den 8. Februar 1905.

(Mit Experimenten und Demonstrationen.)

Mit 12 Abbildungen im Texte.

Der Naturforscher Clarke berechnete seinerzeit das prozentuelle Verhältnis, in welchem die einzelnen Elemente in der Erdkruste einschließlich von Meer und Luft enthalten sind, und fand für das Eisen die Zahl von 5.08% , so daß dieses Metall dieser Annahme nach über den zwanzigsten Teil unserer Erdkruste ausmacht und bezüglich der Menge des Vorkommens unter den Metallen im allgemeinen nur vom Aluminium überflügelt wird, unter den eigentlichen Schwermetallen aber an erster Stelle steht. Das Eisen überragt bezüglich Allgemeinheit des Vorkommens bei weitem seinen ihm so unentbehrlichen Bundesgenossen, den Kohlenstoff, welcher nur 0.2% der Erdrinde ausmacht.

Noch viel größeren Einfluß hat das Eisen auf die ganze Entwicklung der menschlichen Kultur genommen. Da die Darstellung des schmiedbaren Eisens ein verhältnismäßig einfacher metallurgischer Prozeß ist, so ist und war die Gewinnung dieses Metalles schon bei einer niederen Kulturstufe der Völker bekannt. Ebenso wie wir die Kenntnis des Eisens bis in die ältesten historischen Zeiten zurückverfolgen können, was z. B. altägyptische Inschriften und einzelne Bibelstellen beweisen, geradeso finden wir auch heute z. B. bei Negerstämmen, die noch nicht mit Kulturvölkern in Berührung gekommen sind,

die Kenntnisse über Herstellung von Eisen, jedenfalls aus langer Überlieferung stammend, schon vorhanden.

Wie sich dann im Laufe der Jahrtausende die Bedürfnisse des menschlichen Lebens und die Mittel zur Herstellung dieser Bedürfnisse stets vermehrten und spezialisierten, erkannte man das Eisen immer mehr als das Gebrauchsmetall par excellence und verdankt es die dominierende Stellung, die es einnimmt, nicht nur der Reichhaltigkeit seines Vorkommens und der relativ leichten Darstellbarkeit, sondern auch der hervorragenden Eigenschaft, je nach den Wegen, die zu seiner Herstellung benützt werden, und je nach der Zusammensetzung, die man ihm gibt, die verschiedensten physikalischen Eigenschaften anzunehmen und für die mannigfaltigsten Zwecke verwendbar zu sein.

Heute ist der dominierende Einfluß dieses Metalles auf allen Gebieten menschlichen Schaffens und Verbrauchens ein derartiger, daß sich der Gedanke gar nicht ausdenken läßt: „Was wären wir ohne das Eisen!“ — Es liefert uns den Grundstoff sowohl für die Staunen und Schrecken erregenden, mächtigsten Erzeugnisse menschlichen Könnens und Fleißes, als für die kleinsten und unscheinbarsten Dinge des täglichen Gebrauches. Zu welchen Gegensätzen kommt man, wenn man sich da auf das Gebiet der Extreme begibt. Denken Sie in der Industrie an die mächtigen, geräuschvollen Maschinen auf der einen Seite und stellen Sie diesen den unscheinbaren Reißzwecken des Zeichners und die flinke Stahlfeder des Schreibers gegenüber. Veranschaulichen Sie

sich auf dem Gebiete der Gewerbe den in die Wolken ragenden Eiffelturm und den kleinen Nagel, mit dem der Schuster unseren Stiefelabsatz befestigt. In unserem Bestreben, die Entfernungen durch die Schnelligkeit der Verkehrsmittel zu kürzen, unterstützt uns einerseits der majestätische Stahldampfer und das schnaubende Dampfroß, andererseits das schnelle Fahrrad. Im Haushalte und im intimen Familienleben sind unser behaglicher Füllofen und der an Wichtigkeit gewiß nicht zu unterschätzende Sparherd geradezu Kolosse gegenüber der fleißigen Nähnaedel, durch deren emsige Arbeit unsere Frauen und Töchter sich entweder selbst oder wohl meistens im übertragenen Wirkungskreise der Schneiderin für ihre Gatten und Väter und wohl noch mehr für andere schmücken. Und da endlich, um mit unserem berühmten Landsmann, dem Physiker und Naturphilosophen Mach zu sprechen, die Menschen zu Zeiten aus Gründen, die nicht jedermann plausibel erscheinen, bemüht sind, sich in möglichst kurzer Zeit möglichst viele Löcher in den Leib zu schießen, von welchem Bestreben wir ja gerade jetzt ein glänzendes Beispiel miterleben, so finden wir auch hier vom Panzerschiff und dem Tonnen schweren Belagerungsgeschütz bis zur Revolverkugel kleinsten Kalibers einen großen Teil der finanziellen Ergebnisse friedlichen bürgerlichen Schaffens leider unverzinslich in Eisen angelegt.

Mit einem Worte: eine gewaltige Skala der Dimensionen und Werte, wie sie wohl kein anderes Metall, ja kaum ein anderer unserer Urstoffe aufzuweisen hat.

Dem allgemeinen Sprachgebrauche folgend, haben wir bisher den Körper, den wir Eisen nennen, als Metall bezeichnet. Diese Bezeichnung ist eigentlich unzutreffend, denn wenn es auch unter der ziemlich langen Reihe von für unser heutiges Wissen und Können chemisch nicht weiter zerlegbaren Körpern, welche wir als Elemente bezeichnen, ein Metall gibt, welches diesen Namen führt, so entspricht dasselbe doch nicht unserem Gebrauchsmetall. Was wir im gewöhnlichen Leben als Eisen bezeichnen, ist eine Lösung von anderen Metallen sowie von chemischen Verbindungen des Eisens und von Nichtmetallen in einem Überschuß elementaren Eisens. Von diesen gelösten Stoffen finden wir fast stets Silizium, Phosphor, Schwefel und Mangan in größeren oder kleineren Mengen vor. Nie fehlt aber als ausschlaggebender Bestandteil der Eisenlegierungen, wenn wir der Einfachheit halber diesen Ausdruck für unser Gebrauchsmetall benutzen dürfen, der Kohlenstoff. Dieses Element ist es, welches je nach der Menge und Form, in der es im Eisen enthalten ist, einschneidenden Einfluß auf die Eigenschaften und die Verwendung des Eisens ausübt.

Wir können das Eisen so weich darstellen, daß es sich zu Draht ziehen läßt, und können es so hart machen, daß es zur Bearbeitung anderer, sehr harter Stoffe dienen kann. Wir kennen Eisen mit hohem und niederem Schmelzpunkt. Wir kennen Eisen, welches sich schmieden läßt, und solches, welches diese Eigenschaft nicht aufweist. Die Farbe des Bruches und das Gefüge können ebenfalls ganz verschieden sein. Alle diese Veränderungen in

den Eigenschaften werden durch den Kohlenstoff und speziell durch die verschiedenen Formen bedingt, in welchen derselbe im Eisen enthalten ist. Um mich nicht zu sehr in Details über das Eisen im allgemeinen zu verlieren, will ich noch erwähnen, daß die durch den Einfluß des Kohlenstoffes auf die Eigenschaften des Eisens bedingten Unterschiede schon seit langer Zeit als Basis für eine Klassifikation der verschiedenen Eisensorten dienen.

Da das Eisen in metallischer Form nur äußerst selten in der Natur vorkommt, so muß man dasselbe erst aus den uns zur Verfügung stehenden Verbindungen, also aus den Erzen darstellen. Diese Verarbeitung der Erze auf rohes Metall, sogenanntes Roheisen, geschieht in mächtigen Schachtföfen, den Hochöfen, in welchen die Eisenerze je nach ihrer Zusammensetzung entweder im rohen Zustande oder geröstet mit Holzkohle oder Koks und entsprechenden Zusätzen niedergeschmolzen werden. Solche Hochöfen, die mit ihrem turmähnlichen Aufbau und den um sie herum angeordneten Hilfsapparaten gleich Burgen der Industrie mit vorgeschobenen Wachttürmen gegen Himmel ragen, hat wohl jeder von Ihnen, wenigstens von außen gesehen.

Dieses im Hochofen erschmolzene Roheisen ist dadurch charakterisiert, daß es $2\cdot3\%$ Kohlenstoff und darüber enthält, bei der verhältnismäßig schon niederen Temperatur von 1075° — 1275° C. schmilzt und sich nicht schmieden läßt. Nur ein kleiner Teil des Roheisens wird aber als solches direkt, und zwar zur Erzeugung von Gußwaren verwendet.

Der weitaus größte Teil des Roheisens muß in das für uns viel wichtigere schmiedbare Eisen umgewandelt werden, welches Eisen seine obere Kohlenstoffgrenze bei zirka 1.6% Kohlenstoff erreicht, einen viel höheren Schmelzpunkt hat als Roheisen, aber dafür schmiedbar ist.

Diesem schmiedbaren Eisen können wir je nach dem Verwendungszwecke, welchem es dienen soll, ganz verschiedene Eigenschaften erteilen. Nimmt dasselbe bei plötzlicher Abkühlung eines glühenden Stückes, z. B. durch Eintauchen in Wasser, eine gegenüber der ursprünglich vorhandenen höhere Härte an, so haben wir es mit jener Abart des schmiedbaren Eisens zu tun, welche wir als Stahl bezeichnen. Solches Eisen hat einen Schmelzpunkt von 1400—1500° C. Erzeugen wir hingegen ein Eisen, welchem diese Eigenschaft der Härtbarkeit wenigstens in merklichem Grade nicht zukommt, so haben wir es mit dem bei 1500° und darüber schmelzenden Schmiedeeisen zu tun.

Eine Abgrenzung zwischen Stahl und Schmiedeeisen nach dem Kohlenstoffgehalte läßt sich heute nicht mehr gut aufrechterhalten und da es außerdem etwas härtbare Zwischenstufen gibt, so ist heute eigentlich gar keine scharfe Grenze zwischen Stahl und Schmiedeeisen mehr zu ziehen und ist die Wahl der betreffenden Bezeichnungen eigentlich mehr oder minder eine willkürliche.

Bei den heute üblichen Verfahren zur Überführung von Roheisen in Schmiedeeisen und Stahl haben wir es also eigentlich schon mit Raffinier- oder Veredlungspro-

zessen zu tun. Dieselben sind sehr verschiedener Art, je nach den vorhandenen Rohmaterialien und dem angestrebten Produkt und würde es mich wohl zu weit von meinem eigentlichen Thema ablenken, wenn ich selbst nur ganz allgemein mich auf dieselben einlassen würde. Die meisten von Ihnen werden wohl Namen wie Bessemereisen, Thomaseisen, Siemens-Martinstahl oder Tiegelgußstahl gehört haben. Alle diese Namen bezeichnen scharf charakterisierte solche Veredlungsverfahren mit ganz bestimmten Apparaturen, wie die Bessemer-, beziehungsweise Thomasbirne, dem als Siemens-Martinofen bezeichneten Flammofen und dem Tiegelofen. Auf diese Verfahren werden wir zum Teile noch zurückkommen, wenn wir Vergleiche zwischen den derzeit hauptsächlich im Gebrauche stehenden und den elektrothermischen Verfahren ziehen werden.

Möge aber der zur Gewinnung des Roheisens oder zur Weiterverarbeitung desselben dienende Prozeß heißen, wie er wolle, stets haben wir es mit Umsetzungen und Veränderungen zu tun, für welche die erforderliche Hitze zum Reduzieren und Schmelzen von Metall und Beschickung durch Verbrennungsprozesse unter Mitwirkung von Luft geliefert wird.

Im Hochofen verbrennen wir Holzkohle oder Koks unter Zuführung einer großen Menge von den Gebläsemaschinen gelieferter Luft. Bei den Birnenverfahren, also dem Bessemer-, beziehungsweise Thomasverfahren werden Rohmaterialien angewendet, welche solche fremde Bestandteile in genügender Menge enthalten, daß sie,

sei es der Phosphor beim Thomasprozeß, sei es das Silizium beim Bessemerverfahren, durch ihre Verbrennung mit dem Sauerstoff der zugeführten Luft die erforderliche Wärme liefern. Beim Siemens-Martinofen werden die Brennmaterialien zuerst vergast und dient das vorwiegend aus Kohlenoxyd und Stickstoff bestehende brennbare Gasmisch als Brennstoff. Ebenso wird der Tiegelofen für die Herstellung von Tiegelgußstahl entweder mit festem oder gasförmigem Brennmaterial geheizt.

Nun rastet der menschliche Erfindungsgeist ja nie und so ist es nicht zu verwundern, wenn bei dem sich immer mehr ausdehnenden Übergreifen der Elektrizität auf alle Gebiete der Industrie in den letzten Jahren Bestrebungen immer mehr zur Geltung kommen, auch auf dem Gebiete der Eisenindustrie einzugreifen und die derzeit im Gebrauch stehenden rein thermischen Methoden durch elektrothermische zu ersetzen, bei welchen also an Stelle von Verbrennungsprozessen uns die Elektrizität die erforderliche Wärme liefern soll.

Diese Bestrebungen können sowohl ökonomische Vorteile wie Erniedrigung der Betriebskosten durch direkte Ersparnisse oder durch Vereinfachungen des Betriebes und der Apparatur im Auge haben, teils ohne Erniedrigung der Erzeugniskosten auf Verbesserungen der Eigenschaften des Produktes, also auf eine Wertsteigerung desselben bei gleichbleibenden, unter Umständen sogar höheren Erzeugungskosten hinarbeiten.

Diese Bemühungen der Erfinder, elektrothermischen Methoden Eingang in die Eisenindustrie zu verschaffen,

lassen sich außerdem noch von zwei ganz verschiedenen Gesichtspunkten aus gruppieren. Man könnte sie zunächst in Hinblick darauf zusammenfassen, welche rein thermischen Methoden durch die elektrischen Methoden ersetzt werden sollen.

Da wäre zunächst zu bemerken, daß einige Erfinder anstreben, elektrothermische Methoden ausfindig zu machen, welche gegen alle Ihnen früher erwähnten, rein hüttenmännischen Wege konkurrenzfähig sein sollen. Der elektrische Strom soll also schon bei der Erzverarbeitung einsetzen und bis zum fertigen Stahlblock den wesentlichsten Lieferanten für die erforderliche Energie bilden; es sollen also sowohl der Hochofenprozeß, als die daran hängenden Veredlungsverfahren ersetzt werden. Dieser Gruppe von Erfindern darf man wohl, ohne der Parteilichkeit geziehen zu werden, eine gute Portion von Optimismus zuschreiben. Wenn auch heute der ganz einwandfreie Nachweis erbracht ist, daß solche Verfahren technisch durchführbar sind, so ist doch eine gute Ökonomie bei uns trockenen Zahlenmenschen für den Erfolg allein entscheidend. Eine ökonomische Durchführung solcher Verfahren ist aber an so viele Faktoren gebunden, daß man dieselben wohl nur in den seltensten Fällen an einer und derselben Stelle in gleicher Günstigkeit vorfinden wird.

Einerseits ist der Kraftaufwand für die Reduktion des Erzes und das Schmelzen des Metalles und der Schlacke ein ziemlich beträchtlicher, nämlich rund 3000 KW^h oder 4000 PS^h für 1000 kg Eisen. Um Ihnen

einen Maßstab für diese Kraftmenge zu geben, möchte ich zum Vergleiche anführen, daß wir, um 1000 *kg* Eisen direkt aus den Erzen elektrothermisch zu erschmelzen, zirka die gleiche Kraftmenge aufwenden müßten, welche 4000 unsererer gewöhnlichen, normalen elektrischen Bogenlampen während eines einstündigen Brennens konsumieren. Andererseits erfordern solche direkte Verfahren sehr reine Eisenerze, welche nur an wenigen Stellen gleichzeitig mit billiger Kraft vorhanden sein werden. Berücksichtigt man ferner, wie weitgehend ausgebildet heute der Hochofenprozeß in technischer und ökonomischer Beziehung schon ist, so kann man wohl sagen, daß demselben in den eigentlichen Eisenindustrielländern, also in Deutschland, England, den Vereinigten Staaten, Österreich-Ungarn etc. durch elektrothermische Verfahren keine nennenswerte Konkurrenz erwachsen wird. Nach dieser Richtung werden also wohl jene Fachleute zum großen Teile Recht behalten, welche schon vor Jahren dem Eindringen der Elektrochemie in das Gebiet der Eisenindustrie jede Aussicht auf Erfolg absprachen.

Fassen wir aber jene Gruppe von Verfahren ins Auge, welche nur dazu bestimmt sind, das Roheisen weiter auf Schmiedeeisen und Stahl zu verarbeiten, so wurden die eben erwähnten Propheten doch durch die Tatsachen widerlegt, denn man kann heute bei jenen Erfindern, welche sich darauf beschränkten, nur diesen Veredlungsverfahren durch elektrothermische Methoden Konkurrenz machen zu wollen, doch schon von einem gewissen Erfolg sprechen und ruhig behaupten, daß es heute eine,

wenn auch nicht sehr ausgedehnte elektrothermische Eisenindustrie schon gibt. Ich werde nach dieser Richtung ja später noch auf das Siemens-Martinverfahren und das Tiegelschmelzen zu sprechen kommen. Ich möchte nur jetzt schon erwähnen, daß die elektrothermische Umwandlung von Roheisen in Schmiedeeisen und Stahl viel weniger Kraft erfordert als die direkte Erzverarbeitung, nämlich je nach der Ofengröße, je nach dem Verfahren und je nachdem, ob man das Roheisen kalt oder schon geschmolzen in den elektrischen Ofen bringt, im Mittel pro 1000 kg Endprodukt nur zirka den vierten Teil der Energie, die ich Ihnen vorhin für die direkte Erzverarbeitung als erforderlich angab.

Um Ihnen auch einen Überblick zu geben, innerhalb welchen Zeitraumes sich diese Entwicklung der elektrothermischen Verfahren für die Herstellung von Eisen und Stahl vollzogen hat, habe ich Ihnen in der Tabelle I die wichtigsten Verfahren in chronologischer Reihenfolge mit einigen kurzen Daten über dieselben zusammengestellt. Ich habe dazu teils eigene Erfahrungen benützt, teils Angaben, welche Dr. Hans Goldschmidt aus Essen gelegentlich eines Vortrages bei einer Jahresversammlung der Deutschen Bunsen-Gesellschaft für angewandte physikalische Chemie in Berlin machte.

Interessanter ist es jedoch uns heute mit den bei dem elektrothermischen Verfahren der Eisengewinnung angewandten Apparaten etwas näher zu beschäftigen. Da müssen wir uns zunächst die Frage vorlegen: Welche Wege stehen uns unter Berücksichtigung des angestreb-

Tabelle I.
Zusammenstellung der Verfahren zur Stahlerzeugung auf elektrischem Wege.

Verfahren von	Jahr	Ofentype	Zur Verarbeitung gelangendes Material	Ofen- größe K ² /W	Kraftverbrauch per Tonne Stahl K ² /W/Std.	
Gin-Leloux	1897	Ofen mit Kohlen- elektr.	Roheisen und Schrot	?	?	
Stassano	1898	Ofen mit Kohlen- elektr.	Hochprozentige ital. Eisenerze	370	2800—3000	
Kjellin- (Tiegelstahl- qualität)	1900	Ofen ohne Kohlenelekt. Heizung durch Induktion	Roheisen und Schrot ^p	170	Roheisen kalt	Kohleisen geschm.
				736	600	650 500
Hérault	1901	Ofen mit Kohlen- elektr.	Roheisen und Schrot	300	880	
Keller	1901	Ofen mit Kohlen- elektr.	Eisenerze und Roheisen	880	2800	
Harmet	1901	Ofen mit Kohlen- elektr.	Eisenerze	?	2650	
Conley	1901	Ofen mit Kohlen- elektr. Wider- standserhitzung	Roheisen und Schrot	?	750	
Gin	1902	Ofen ohne Kohlen- elektr. Wider- standserhitzung	Geschm. Roheisen und Erz	500	640	
			Geschm. Roheisen, Erze und Schrot	500	750	

ten Zieles offen, um elektrische Energie in Wärme umzusetzen?

Solche Wege stehen uns im wesentlichen drei zur Verfügung und werden Sie bei denselben Ihnen schon geläufige Erscheinungen als grundlegendes Prinzip wiederfinden. Mit diesen wollen wir uns jetzt näher beschäftigen.

Der erste Weg, den man beschritt, war die Anwendung des elektrischen Lichtbogens. Es ist Ihnen ja allen bekannt, daß in der elektrischen Bogenlampe, sobald man die beiden sich berührenden Kohlenspitzen auf eine kleine Strecke auseinanderzieht, ein intensiv leuchtender Bogen überspringt, der für Beleuchtungszwecke schon seit langer Zeit angewendet wird. Dieser Lichtbogen hat nun eine derart hohe Temperatur, zirka 3000°C ., daß man in demselben hohe Temperaturen erfordernde Schmelzprozesse und chemische Umsetzungen vornehmen kann.

Nehmen wir z. B. bei einem gewöhnlichen Lichtbogen den einen Pol statt aus einem Kohlenstabe, aus Eisen, so können Sie sehen, daß durch die intensive Hitze des Lichtbogens das Eisen des einen Poles schmilzt und abtropft (Demonstration).

Nehmen wir eine andere Anordnung zur Hand, bei welcher beide Pole wie in der Bogenlampe aus Kohle bestehen, und bringen wir ein Gemisch eines Eisenerzes, z. B. von Eisenoxyd und der entsprechenden Menge Kohle, in den Bereich des Lichtbogens, so wird, abgesehen von einer bei so kleinen Mengen stets eintreten-

den starken Verschlackung, sich der Sauerstoff des Erzes mit der Kohle zu Kohlenoxyd verbinden und gleichzeitig das Eisen metallisch frei werden und ebenso wie die Schlacke schmelzen. Sie haben hier das einfachste Beispiel der elektrothermischen Reduktion des Eisens aus seinen Erzen (Demonstration).

Diese beiden Ihnen eben vorgeführten Versuche im Lichtbogen bilden die Grundlage einer Reihe von Konstruktionen über sogenannte Lichtbogenöfen zur Herstellung von Stahl, von denen Sie die wichtigsten Typen in den nachstehenden Abbildungen schematisch dargestellt finden.

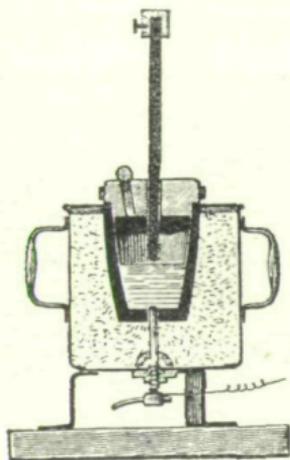


Fig. 1.

Die ersten Versuche nach dieser Richtung wurden von Werner v. Siemens angeregt, der wie auf so vielen anderen Gebieten der Elektrotechnik auch hier fördernd und bahnbrechend wirkte. Diese ersten

Anregungen fallen in den Anfang der Siebzigerjahre des verflossenen Jahrhunderts und wurden erst Ende der Siebzigerjahre von dem Bruder des Genannten, Sir William Siemens, wieder aufgegriffen und weiter durchgebildet. Eine schematische Darstellung des von William Siemens für seine Versuche verwendeten Lichtbogens finden Sie in der Fig. 1. Dieser Apparat bestand lediglich aus einem Tiegel aus feuerfestem Material, der

von einer die Wärme zusammenhaltenden Schichte umgeben war und durch dessen Boden die eine Elektrode ging. Durch die Bohrung im Deckel ragte die zweite Elektrode herein. Das zu schmelzende Material, welches mit der Elektrode im Tiegelboden in leitender Verbindung stand, diente als positiver Pol, weil im Lichtbogen an diesem Pole die größere Wärmeentwicklung stattfindet. Zwischen dem zu schmelzenden Material und der zweiten, durch den Deckel gehenden Elektrode wurde der Lichtbogen gezogen. In diesen Öfen gelang es im Jahre 1880 tatsächlich, Eisen aus Erzen auszuschmelzen. Wir haben es also hier tatsächlich mit demselben Vorgange zu tun, den wir Ihnen vorhin im Versuche vorführten. Zu einem eigentlichen praktischen Erfolge gelangte das Verfahren nicht, hauptsächlich wegen nicht entsprechender Zusammensetzung des erschmolzenen Eisens.

Nach William Siemens haben sich eine ganze Reihe von Erfindern, von denen ich nur de Laval und Rossi erwähnen möchte, an das Problem gewagt, doch ohne eine praktische Lösung desselben zu finden.

Der italienische Hauptmann Stassano, welcher seit 1898 an dem gleichen Problem arbeitet, brachte es wenigstens zu einem technischen Erfolge, wenn ihm auch ein befriedigendes ökonomisches Resultat bis heute noch versagt geblieben ist. Er modifizierte das von Siemens angegebene Verfahren in der Weise, daß er von der Tiegelform zu einer Art Schachtofen überging. Es ist dies also ein Ofen mit mehr in die Länge gezogener Form des stehenden Schmelzraumes, ähnlich dem

Hochofen, wobei die beiden Elektroden für den Lichtbogen seitlich in den Ofenraum hineinragen. Auf Grund der mit diesem ersten Probeofen Stassanos in der Officina dei cerchi in Rom erzielten Resultate wurde dann die Società elettro-siderurgica Cumana gegründet, welche in Darfo im Camonicatale unweit des Lago d'Iseo eine größere Anlage errichtete, die einen

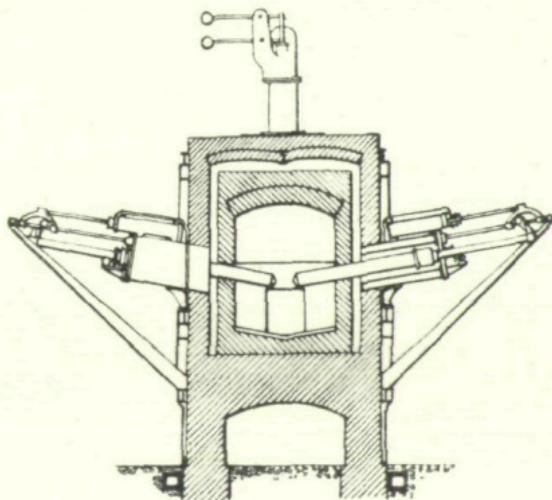


Fig. 2.

kleinen Probeofen und einen größeren, schon für betriebsmäßige Chargen verwendbaren Ofen umfaßte. Es gelang in Darfo tatsächlich, aus reinem Eisenerz, Kalk und Holzkohle, welche drei Bestandteile der Beschickung durch Teer zu Briketts gebunden waren, betriebsmäßig weiche Eisensorten zu erzeugen, aber der ökonomische Erfolg war ein unbefriedigender, so daß die Gesellschaft wieder liquidierte. Stassano ist einer der Erfinder, die,

wie ich Ihnen früher erwähnte, die Roheisendarstellung und die Gewinnung des schmiedbaren Eisens in ein einziges elektrothermisches Verfahren zusammendrängen wollen. Er ging später aus Betriebsrücksichten von seinem Schachtofen zu einem mehr flachen und langgestreckten Ofen, einem sogenannten Herdofen über, der eine schwachgeneigte Ofensohle hatte und in welchen drei Paare von Elektroden seitlich hineinragten. Diese Anordnung finden Sie in der Fig. 2 schematisch dargestellt. Doch auch damit hatte Stassano noch keinen eigentlichen Erfolg und arbeitet er heute noch immer an der Vervollkommnung seines Verfahrens, und zwar, wie er mir vor nicht langer Zeit brieflich mitteilte, derzeit am kgl. italienischen Arsenal in Turin.

Mehr Erfolg hatten, wie schon erwähnt, diejenigen elektrothermischen Verfahren, bei welchen die eigentliche Reduktion des Eisens aus dem Erz von der Weiterverarbeitung des Roheisens getrennt wurde, welche sich also den derzeit üblichen rein hüttenmännischen Verfahren mehr anpaßten und vom elektrischen Strome nicht zu viel verlangen wollten. Bei diesen Verfahren machte sich aber der Umstand unangenehm fühlbar, daß die direkte Anwendung von Kohleelektroden doch manche Nachteile hat. Wie ich Ihnen schon früher mitteilte, ist der Gehalt an Kohlenstoff in dem erschmolzenen Eisen und die Form, in welcher er auftritt, von einschneidender Wirkung auf die Eigenschaften. Wenn wir aber Lichtbogenöfen benützen wollen, so können wir nicht umhin, die für die Stromzuleitung und Bildung des

Lichtbogens erforderlichen Elektroden ebenfalls aus Kohle herzustellen. Dadurch führen wir aber eine selbst bei noch so genauer Berechnung der Zusammensetzung des Schmelzgutes schwer zu kontrollierende neue Kohlenstoffquelle in den Prozeß ein. Doch lassen sich wohl Erfahrungsdaten sammeln, so daß man den kohlendenden Einfluß der Elektroden wenigstens bei normalem Betriebe entsprechend berücksichtigen kann.

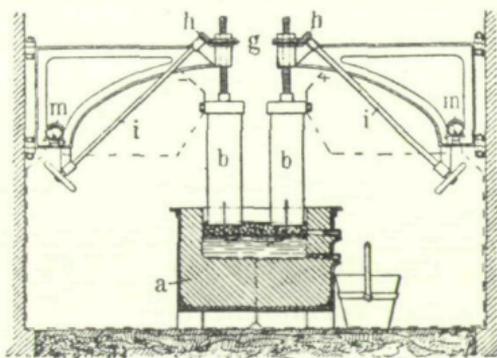


Fig. 3.

Um sich jedoch von den chemischen Einwirkungen des Kohlenstoffes der Elektroden auf das zu schmelzende Metall möglichst unabhängig zu machen, griffen eine ganze Reihe von Erfindern — es sind dies in erster Linie Héroult, Keller und Harmet — zu einem ganz originellen Mittel, welches schon früher von de Laval angegeben worden war. Die Arbeitsweisen der drei genannten Erfinder unterscheiden sich nicht in so weitgehendem Umfange voneinander, als daß es für unsere heutigen Zwecke gerechtfertigt wäre, auf alle drei Systeme näher

einzugehen. Ich will mich daher beschränken, über das derzeit vorgeschrittenste System unter den drei genannten, das von Hérault, einiges zu sagen.

Sie sehen in der Fig. 3 einen Ofen von Hérault schematisch dargestellt. Um nun den direkten Einfluß der Kohle der Elektroden auf das Metall zu vermeiden, ordnet die erwähnte Gruppe von Erfindern über dem geschmolzenen Metallbad eine Schichte von geschmolzener Schlacke an. Die Kohlenelektroden läßt Hérault in die geschmolzene Schlackenschichte bis nahe an die Oberfläche des Metalls untertauchen, ohne die letztere jedoch zu berühren. Es geht also bei diesem als ziemlich flache Schmelzmulde angeordneten Ofen von Hérault der Strom durch die eine Elektrode und die dünne Schlackenschichte zum Metall und von diesem wieder durch die dünne Schlackenschichte und die zweite Elektrode heraus. Solche Anlagen mit Héraultschen Öfen sind in Froges und La Praz in Frankreich im Betrieb. In letzterer Zeit hat sich die Firma Krupp für dieses Verfahren interessiert und soll eine Anlage am Rhein im Bau haben.

Die ähnlichen Systeme von Keller und Harmet, auf deren geringfügige Abweichungen wir nicht einzugehen brauchen, sind ersteres in Livet, letzteres in der Usine Electrométallurgique in Albertville, also beide ebenfalls in Frankreich im Betrieb.

Bei den genannten Verfahren wird nun tatsächlich, wenigstens bei normalem Betriebe, eine direkte Einwirkung der Kohle auf das Metall vermieden. Die Elek-

trodenkohle wird jedoch nicht nur chemisch, sondern auch rein mechanisch angegriffen. Es werden sich z. B. am oberen Rande der Schlackenschichte, wo die Luft mitwirkt, Korrosionen in den Kohlen bilden, dieselben werden angegriffen, durch Temperaturunterschiede können Sprünge entstehen und wenn sich nun so ein Kohlenstück ablöst, so fällt dasselbe in das geschmolzene Eisen, welches den Kohlenstoff rasch auflöst. Es kann also eine auf einen bestimmten Kohlungsgrad eingestellte Charge überkohlt werden und vollständig verdorben sein.

Es war daher naheliegend, wenn sich die Erfinder bemühten, für die elektrische Darstellung von Stahl und Eisen andere Wege zu finden, bei denen die Anwendung von Kohlenelektroden vermieden werden könnte. Um letzteren Zweck zu erreichen, mußte man allerdings das Prinzip der elektrischen Erhitzung im Lichtbogen fallen lassen.

Wir kommen hiermit zu der zweiten Möglichkeit, elektrischen Strom in Wärme umzusetzen.

Wie Ihnen ja bekannt sein wird, setzt jeder Körper, wenn er auch elektrisch gut leitet, was ja bei den Metallen der Fall ist, dem Durchgange des Stromes einen gewissen Widerstand entgegen, der je nach den Dimensionen des betreffenden Leitungskörpers, je nach der Temperatur und je nach dem Material selbst, welches den Strom leiten soll, sehr verschieden sein kann. Wenn ich den schon so oft gemachten Vergleich einer elektrischen Stromleitung mit einer Wasserleitung auch hier wieder

heranziehen kann, so wird es Ihnen ja ganz erklärlich vorkommen, daß ich, um durch ein Rohr in einer bestimmten Zeit eine gewisse Menge Wasser durchzuleiten, einen gewissen Druck anwenden muß. Je mehr Wasser ich durch die gleiche Leitung in der gleichen Zeit durchführen will, desto stärker muß ich diesen Druck, unter welchem das Wasser fließt, bemessen. Ganz ähnliche Verhältnisse haben wir bei Fortführung des elektrischen Stromes durch einen leitenden Körper, z. B. einen Draht. Je größer ich die Stromstärke in dem Leiter bei gleichbleibendem Querschnitt haben will, desto höheren Druck muß ich anwenden, um den Widerstand des Leiters zu überwinden oder, wie wir uns technisch ausdrücken, einen Strom von um so höherer Spannung müssen wir verwenden. Übertreiben wir nun die Stromstärke im Verhältnis zum Leitungsquerschnitt, so äußert sich endlich der Widerstand des Leiters für uns wahrnehmbar in der Weise, daß sich derselbe, als wenn innere Reibung eintreten würde, erhitzt, und so können wir z. B. metallische Leiter durch den Strom zur Erwärmung, zu immer hellerem Glühen, ja endlich zum Abschmelzen bringen.

Sie sehen hier z. B. einen Eisendraht eingespannt, den ich durch den Strom so belasten werde, daß er ins Glühen kommt und abschmilzt, während die Stromzuleitungen, an welche der Draht angeschlossen ist und die infolge ihres größeren Querschnittes dem Stromdurchgange einen viel geringeren Widerstand entgegensetzen, sich gar nicht besonders erwärmen (Demonstration).

Wir finden also in dem Gesagten ein zweites Mittel, elektrische Energie in Wärme umzusetzen. Die gebräuchlichste Anwendung dieser Erscheinung, die Ihnen ja allen geläufig ist, ist die elektrische Glühlampe, bei der allerdings nicht die Erwärmung des Kohlenfadens als solche, sondern das von demselben bei der Erhitzung ausgestrahlte Licht Hauptzweck ist. Sie haben jedenfalls aber auch von elektrisch geheizten Zimmeröfen,

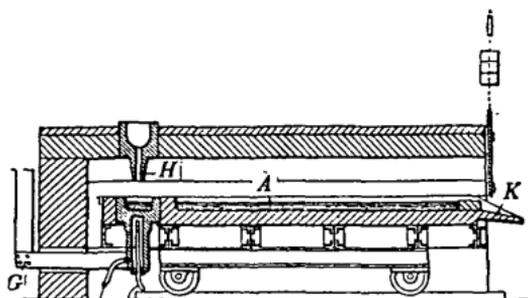


Fig. 4.

Zigarrenanzündern, Brennscheren, Bügeleisen etc. gehört. Der elektrische Betrieb aller dieser Gegenstände beruht auf dem gleichen Prinzip, das wir als Widerstandserhitzung bezeichnen.

Auch dieses Prinzip wurde für die Konstruktion elektrischer Stahlschmelzöfen verwendet. Denken Sie sich eine riesige Glühlampe, deren Faden nicht aus Kohle, sondern aus geschmolzenem Eisen besteht, so haben Sie den Ihnen in den Fig. 4 und 5 schematisch dargestellten Ofen von G in vor sich. Da der Glühfaden von geschmolzenem Metall, also flüssigem Material

gebildet wird, so müssen wir ihm ein Bett aus einem feuerfesten Körper geben. Dieser Ginsche Ofen besteht also aus einem flachen Wagen, welcher eine Plattform aus feuerfestem Material trägt, in welchem die, um dem Ofen keine zu große Länge zu geben, mehrfach hin- und hergebogene Schmelzrinne enthalten ist. Der ganze Wagen wird dann, um die Wärme besser zusammenzuhalten, unter ein gemauertes Gewölbe geschoben.

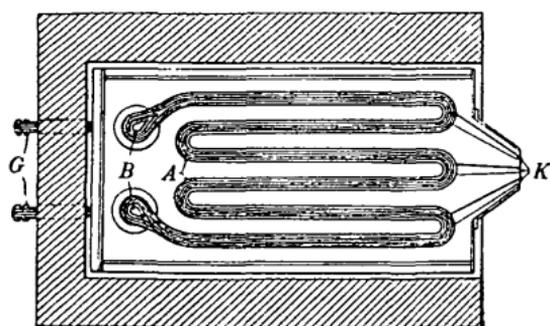


Fig. 5.

In einer gewöhnlichen Glühlampe ist nun der glühende Kohlenfaden in der Regel durch dünne, in die Glasbirne eingeschmolzene Platindrähte an die eigentliche Stromleitung angeschlossen. Wir müssen also auch bei dem Ginschen Ofen Zuleitungen für den Strom schaffen, die von dem geschmolzenen Metall möglichst wenig angegriffen werden. Wir könnten dazu Kohleklotze nehmen, doch hätten wir dann wieder die früher erwähnten unangenehmen Wirkungen der Kohle, die sich fortwährend in dem Eisenbade auflösen würde, so daß

man nur mit Kohlenstoff gesättigte Chargen bekäme. Gin hat daher den Ausweg gewählt, den Strom durch Stahlklötze zuzuführen, welche durch eine in deren Innerem angeordnete Wasserleitung gekühlt werden.

Über den Ginschen Ofen liegen noch keine Erfahrungen aus einer größeren, nach diesem Systeme arbeitenden Anlage vor. Zur Erprobung und zum praktischen Betriebe dieses Verfahrens haben sich im verflossenen Jahre die „Deutschen elektrischen Stahlwerke Werdohl“ gebildet, welche in Plettenberg bei Werdohl in Westfalen eine Anlage im Bau haben. An dieser Gesellschaft sind außer westfälischen Stahlinteressenten die Elektrizitäts-Aktien-Gesellschaft vorm. Lahmeyer & Co. in Frankfurt und die Gesellschaft, welcher ich anzugehören die Ehre habe, die Siemens & Halske-Aktien-Gesellschaft beteiligt. Bei diesem Verfahren wird es in erster Linie darauf ankommen, wie sich die erwähnten wassergekühlten Endkontakte im Betriebe bewähren und wie die feuerfeste Ausfütterung der Schmelzrinne bei den an den Enden der letzteren herrschenden großen Temperaturunterschieden halten wird.

Bei dem eben besprochenen Systeme wird also die Anwendung der Kohlenelektroden wohl vermieden, doch ergeben sich noch immer gewisse konstruktive Schwierigkeiten, so daß vom technischen Standpunkte jedenfalls derjenige Ofen als Ideal zu bezeichnen ist, welcher ein elektrisches Schmelzen von Stahl ohne jede Verwendung von Elektroden ermöglicht. Die Lösung dieses Pro-

blems ist wieder unter der Benützung längst bekannter Grunderscheinungen dem Schweden Kjellin gelungen.

Um Ihnen dieses Ofenprinzip zu erklären, muß ich Ihnen einige aus der Physik bekannte Erscheinungen ins Gedächtnis zurückrufen. Sie wissen ja alle, welche engen Beziehungen zwischen Elektrizität und Magnetismus bestehen, und werden schon von Erscheinungen gehört haben, welche man als Induktion bezeichnet.

Wir verstehen darunter die Hervorrufung von elektrischen Strömen durch andere elektrische Ströme oder durch Magnete. Im ersteren Falle sprechen wir von einer elektrischen, im letzteren von einer magnetischen Induktion.

Der einfachste Fall für das Auftreten von elektrischer Induktion tritt ein, wenn in der Nähe eines leitenden Körpers ein elektrischer Strom geschlossen wird, es entsteht dann in diesem Leiter ein Strom von entgegengesetzter Richtung. Wird in der Nähe eines elektrischen Leiters ein Strom geöffnet, so entsteht in diesem Leiter ein Strom von gleicher Richtung.

Die gebräuchlichste Anordnung, um solche Induktionsströme zu erregen, besteht darin, daß man zwei mit isoliertem Draht umwickelte Spulen ineinander steckt und durch eine derselben Strom schickt. Wir bezeichnen dann den die Induktion hervorrufenden Strom als primären oder induzierenden Strom und die denselben aufnehmende Spule als primäre Wicklung oder Primärspule, hingegen den hervorgegerufenen Strom als Induktionsstrom oder sekundären Strom und die betreffende

Spule als Sekundärspule oder sekundäre Wicklung. Stecken wir nun in die Primärspule einen Kern aus weichem Eisen, z. B. ein Bündel Drähte, und unterbrechen wir den in die primäre Spule geschickten Strom in sehr rascher Aufeinanderfolge, so wird durch die aufeinanderfolgenden Magnetisierungen und Entmagnetisierungen des Eisenkernes die Wirkung der Primärspule wesentlich verstärkt. Eine der bekanntesten Anwendungen solcher Induktionsströme sind die für viele Zwecke verbreiteten Funkeninduktoren oder Ruhmkorffschen Apparate. Wird in die primäre Spule anstatt Gleichstrom, also eines Stromes, der seine Richtung stets beibehält, Wechselstrom geschickt, welcher seine Richtung und Intensität fortwährend ändert, so sind die Unterbrechungen des primären Stromes nicht erforderlich.

Es fällt mir, aufrichtig gesagt, schwer, einen einfachen Vergleich für diese Erscheinungen zu finden. Etwas Ähnliches wäre, wenn auch der Vergleich ziemlich stark hinkt, die Ihnen wohl geläufigere und aus der Akustik bekannte Resonanz. Wenn Sie beim Klavier oder bei der Geige eine Saite durch Anschlagen mit dem Hämmerchen, beziehungsweise durch Streichen mit dem Bogen in Schwingungen versetzen, so schwingt der Holzkörper des Instrumentes, der Resonanzboden, mit.

Nun haben wir bei der Induktion uns vor Augen zu halten, daß, abgesehen von gewissen Verlusten, die bei solchen Energieübertragungen stets eintreten, die entwickelte Kraft im sekundären Leiter der in die primäre Spule einfließenden gleich ist. Dies gilt aber nur bezüg-

lich der Energiestärke als Ganzes, also wenn wir den schon früher angewendeten Vergleich wiederholen wollen, nur bezüglich des Produktes aus der Stromstärke, die wir mit der in der Zeiteinheit durchfließenden Wassermenge, und der Spannung, welche wir mit dem Druck in der Wasserleitung verglichen haben. Die einzelnen Faktoren für dieses Produkt können wir variieren, und zwar geschieht dies durch verschiedene Bemessung der Windungsanzahl und verschiedenen Querschnitt der einzelnen Windungen. Wir können also z. B. in die primäre Spule einen Strom von hoher Spannung und niederer Stromstärke hineinsenden und in der sekundären Spule einen Strom von niederer Spannung und hoher Stromstärke erregen oder umgekehrt. Von dem ersteren Verhältnis macht nun Kjellin bei der Konstruktion seines elektrischen Induktionsofens ohne Elektroden Gebrauch und verwendet also das gleiche technische Konstruktionsprinzip, welches schon lange bei den sogenannten elektrischen Transformatoren verwendet wird, um Wechselströme von bestimmter Spannung auf niederere oder höhere Spannungen hinunter oder hinauf zu transformieren.

Das Charakteristische an der Kjellinschen Ofenkonstruktion besteht nun darin, daß sekundär nur eine einzige aus Eisen bestehende Windung vorhanden ist und diese im Verhältnis zu ihrem Querschnitt so belastet wird, daß Erhitzen und Schmelzen eintritt. Wir haben es also mit einer Kombination von Induktion und Widerstandserhitzung zu tun.

Der nachfolgende Versuch wird Ihnen die Wirkungsweise dieses Ofens noch besser illustrieren. Wir haben hier eine Spule vor uns, durch deren Windungen wir Wechselstrom aus dem städtischen Leitungsnetz schicken. Die vorhandene Induktionsspule ist leider zu

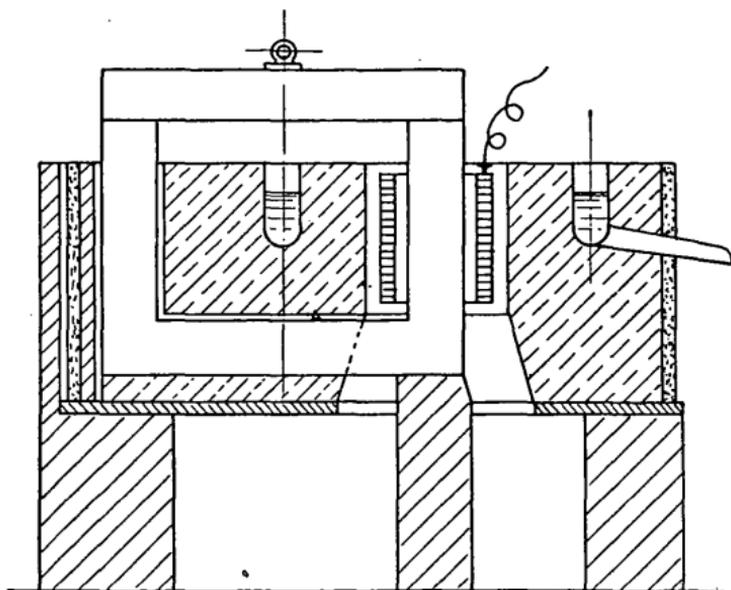


Fig. 6.

schwach, um einen eisernen Ring ins Glühen zu bringen, doch können wir Ihnen das Prinzip auch an einem leichter schmelzenden Metall demonstrieren. Wir schieben über die Spule einen Holzring mit einer Rinne und legen in diese Rinne einen Ring aus Zinn. Durch den im Zinnring induzierten Strom werden wir denselben zum Schmelzen bringen, so daß wir das geschmolzene Zinn aus der Holzrinne ausgießen können (Demonstration).

Ich habe Ihnen von dem Kjellin'schen Ofen verschiedene als Schnitte gezeichnete Darstellungen mit-

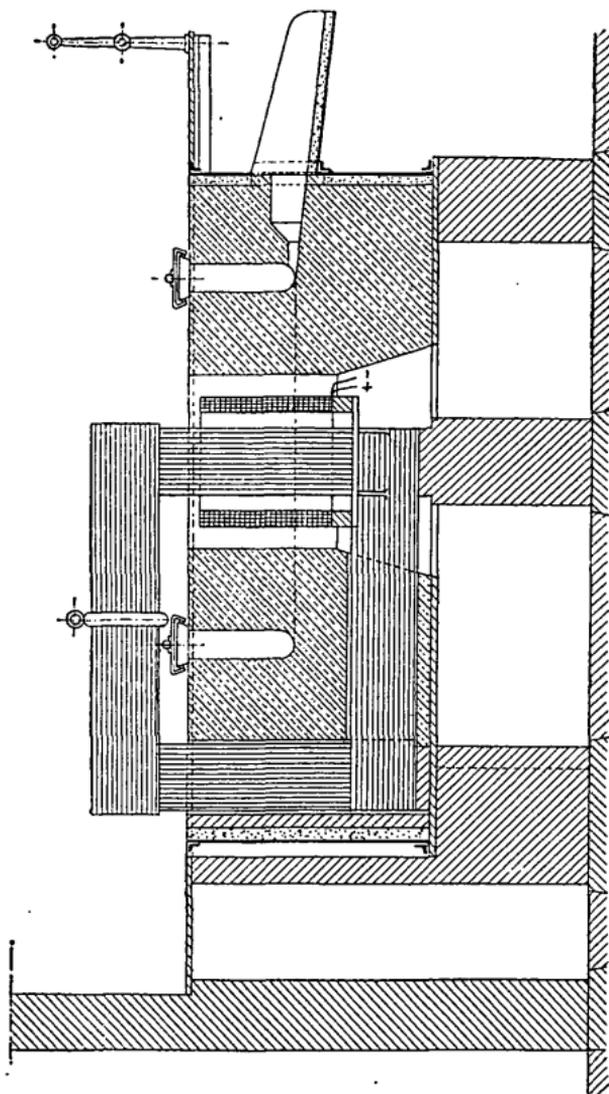
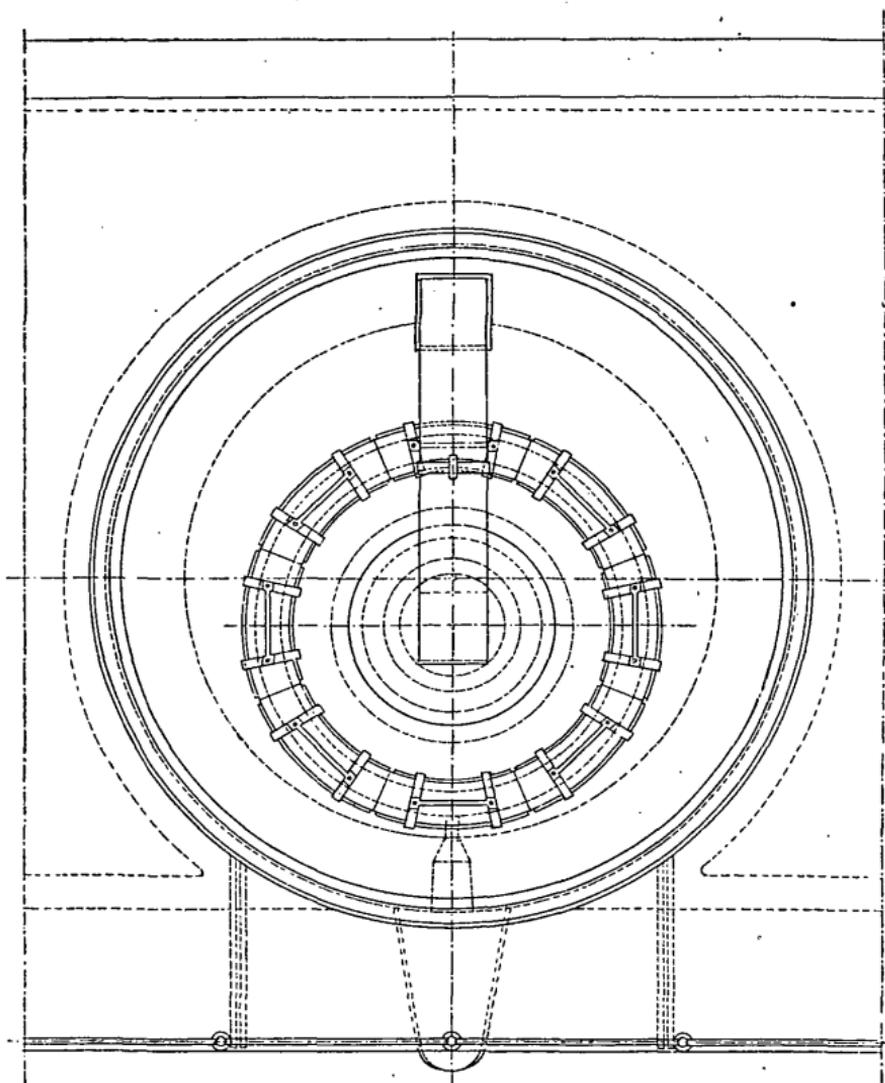


Fig. 7.

gebracht. In der Fig. 6 sehen Sie eine ganz schematische Zeichnung, aus der Sie die karminrot angelegte Primär-

spule, den blauen Magnetkern und endlich die grellrot gezeichnete Schmelzrinne ansehen können. Eine ausführ-

Fig. 8.



lichere Zeichnung finden Sie in den Fig. 7 und 8, in welchen ein Ofen dargestellt ist, wie er tatsächlich in

Schweden ausgeführt wurde. Mit den Details der Konstruktion will ich Sie verschonen und nur erwähnen, daß zum Schutze der Primärspule, welche den induzierenden Strom aufnimmt, gegen die heiße Ofenwand ein Kühlmantel aus Messingblech angebracht ist, durch welchen Kühlwasser zirkuliert.

Dieses Ofensystem steht schon seit einigen Jahren auf den Werken in Gysinge, zirka vier Bahnstunden von Stockholm entfernt, für die Herstellung von Werkzeugstahl im Betrieb. Außerdem ist eine Anlage in Frankreich im Betrieb, ferner sind Anlagen in Schweden und England im Bau. Meine Firma, die Siemens & Halske-Aktien-Gesellschaft, hat das ausschließliche Verwertungsrecht für diesen Ofen für Österreich-Ungarn und Deutschland erworben und steht schon mit einer Reihe von Interessenten wegen Einführung dieses Systems in Verbindung.

Da alle Verhandlungen, Begutachtungen und Prüfungen durch meine Hand gingen und ich daher auch Gelegenheit hatte, an Ort und Stelle in Gysinge selbst den Betrieb und die Details des Verfahrens eingehend zu studieren, so kann ich Ihnen über dieses System aus eigener Erfahrung mehr sagen. Ich werde mich aber darauf beschränken, Ihnen nur solche Details mitzuteilen, welche für ein allgemeines Verständnis dieses elektrischen Verfahrens zur Stahldarstellung erforderlich sind.

Wie schon erwähnt, bildet der Ofen einen elektrischen Transformator, dessen einzige kurz geschlossene Sekundärwicklung eine kreisförmige Rinne darstellt,

welche den Schmelzraum bildet und mit geschmolzenem Eisen gefüllt ist. Diese Rinne wird von flachen Deckeln, die aus feuerfesten Ziegeln bestehen und von Flacheisen zusammengehalten werden, abgedeckt. Das Schmelzen des Metalles erfolgt durch den induzierten Strom von sehr hoher Stromstärke und niedriger Spannung. Um nicht zu viel Reparaturen am Ofen zu haben und zu große Verunreinigung des Stahles durch das für den Bau des Ofens verwendete Material zu vermeiden, muß man die die Schmelzrinne umgebenden Teile des Ofens aus einem entsprechend widerstandsfähigen und feuerbeständigen Material herstellen. Am besten hat sich dafür ein sogenanntes basisches Futter bewährt und wird ein Brei von Sintermagnesit, also gesinterter kohlenaurer Magnesia, durch Anmachen mit Wasser und entsprechenden Zusätzen hergestellt und unter Benützung einer Holzschablone eingestampft, so daß nach dem Erstarren des Ofenfutters und der Entfernung der Schablone die entsprechende Schmelzrinne in der Stampfmasse ausgespart erscheint. Proben von den für das Ofenfutter verwendeten Rohmaterialien sehen Sie in der hier aufliegenden Sammlung von Musterstücken.

Es ist von Interesse zu erwähnen, daß die größte Menge des für solche Ofenausfütterungen brauchbaren Magnesits in Österreich gewonnen wird. So stammte auch das in Gysinge verwendete Material aus den Veitscher Magnesitwerken in Steiermark.

Um Ihnen eine Übersicht über die Art des Betriebes zu geben, habe ich Ihnen als Fig. 9 einen Grundriß der

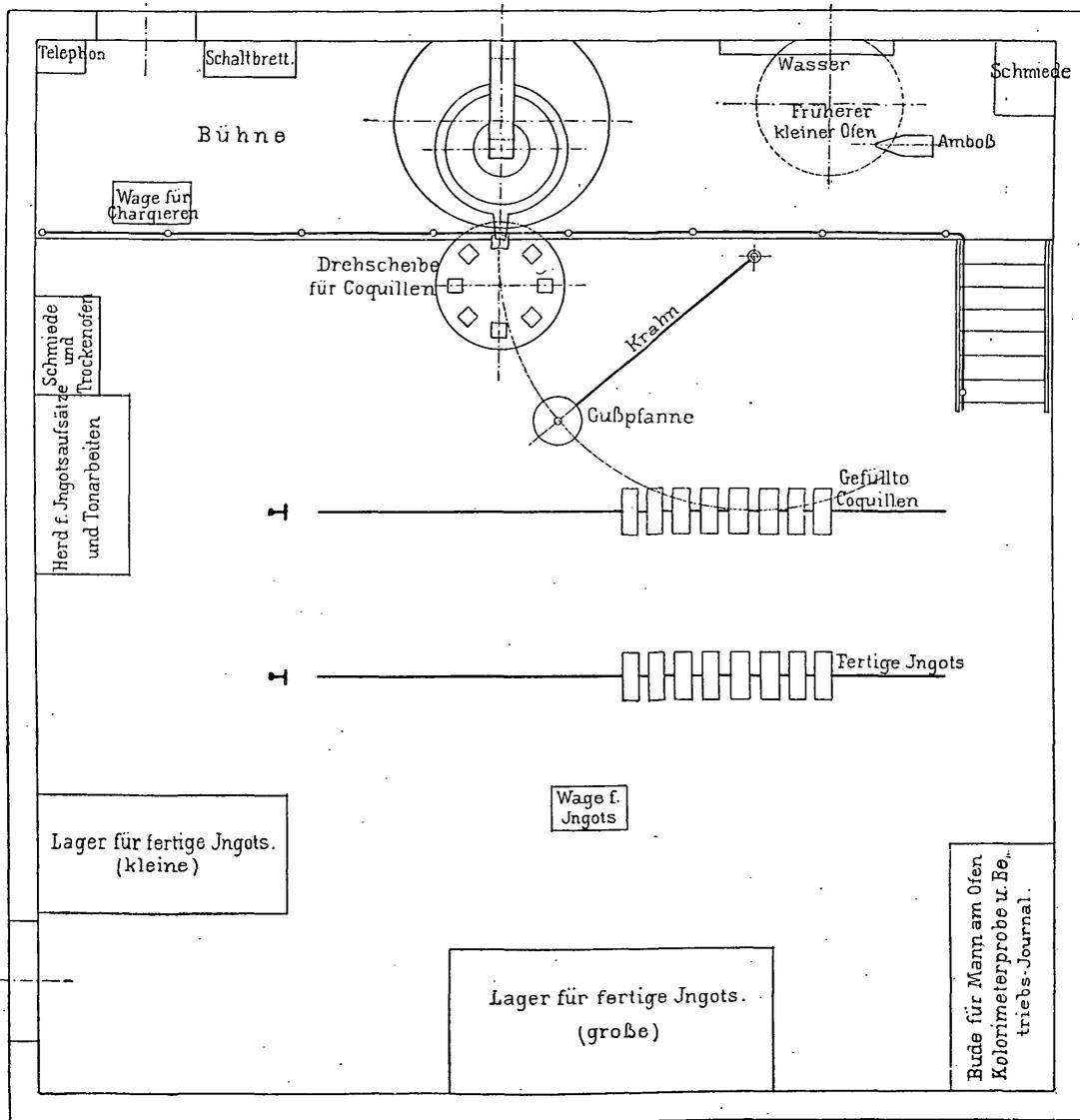


Fig. 9.



Stahlhütte in Gysinge mitgebracht und außerdem finden Sie in der Fig. 10 eine Ansicht des Ofens im Betriebe.

Bevor ich Ihnen jedoch den Betrieb näher beschreibe, muß ich kurz anführen, nach welcher Richtung

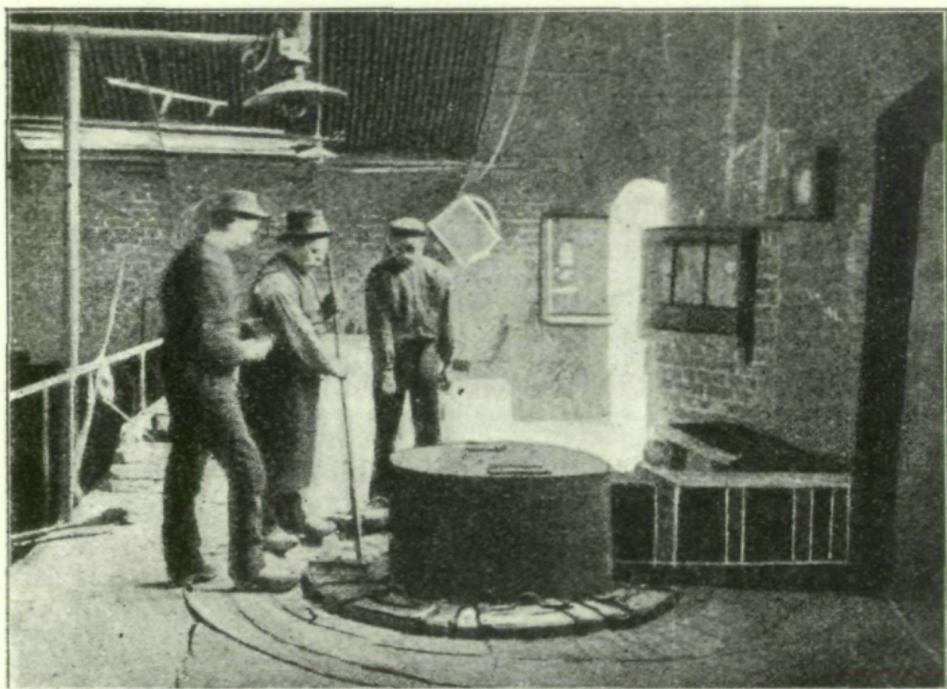


Fig. 10.

derselbe geleitet werden kann. Gerade so wie beim Siemens-Martinofen können wir auch beim Kjellinschen Ofen das Roheisen auf zwei verschiedenen Wegen in Stahl überführen. In beiden Fällen muß das Produkt, welches wir erzeugen, einen niedrigeren Kohlenstoffgehalt haben als das angewandte Roheisen. Wir können nun

entweder Roheisen zusammenschmelzen mit Schmiedeeisenabfällen; sogenanntem Schrot. Diese Abfälle haben einen geringen Kohlenstoffgehalt und haben wir es also mit nichts anderem als einer Verdünnung des kohlenstoffreichen Roheisens mit kohlenstoffarmem Schmiedeeisen zu tun. Ein solches Verdünnungsverfahren bezeichnen wir als Schrotverfahren. Wir können aber auch Roheisen allein nehmen und den Kohlenstoffgehalt desselben auf chemischem Wege heruntersetzen. Wenn wir auf geschmolzenes Roheisen eine Verbindung des Eisens mit Sauerstoff, also reine oxydische Eisenerze, geben, so verbindet sich der Kohlenstoff des Roheisens mit dem Sauerstoff des Erzes und das gebildete Kohlenoxyd brennt mit blauer Flamme aus dem Ofen heraus. Ein solches Verfahren heißen wir Erzfrischen. Hat man nicht außerordentlich reines Roheisen und ganz reine Erze zur Verfügung, so muß man beim Erzfrischen noch Zuschläge geben, um Verunreinigungen zu entfernen und in die sich bildende Schlacke überzuführen, also z. B. Kalk zusetzen, wenn man den Phosphor, einen für die Eigenschaften des Stahles sehr gefährlichen Körper, fortschaffen will.

Von beiden Betriebsarten habe ich mir in Gysinge Chargen am Kjellinschen Ofen vordemonstrieren lassen und können Sie aus den Angaben der Tabellen II und III den Verlauf je einer solchen Charge ersehen.

Um nun auf den Betrieb selbst zurückzukommen, will ich nur folgendes kurz anführen:

In der Höhe der kreisförmigen Rinne, welche das zu schmelzende Metall aufnimmt, ist die sogenannte

Tabelle II. Charge nach dem Schrotverfahren.

Herzustellen: Chromstahl mit 1·7% Kohlenstoff und zirka 2% Chrom.

Zeit	Strom								Abstich-Ingots		Zusammensetzung				
	V	KW	KW/St.	Roheisen Dannemora	Martin- schrot	Chrom 98%	Ferro-Sil- zium 12%	Summe	St.	kg	C	Si	Mn	P	
											in Prozenten				
2:45	2950	140													
2:55	2940	155		400	200										
3:00	2910	160													
3:15	2900	168													
3:30	2950	172													
3:45	2920	176			225										
4:00	2860	176													
4:15	2830	173													
4:30	2820	172													
4:45	2800	173													
5:00	2800	172													
5:15	2800	170													
5:30	2750	170				16·5									
5:45	2800	170					10								
6:00	2760	168	Periode des Abstiches												
6:02	2850	170													
6:03	2900	163													
6:04	2900	150													
6:05	2900	143													
6:06	2900	134													
Summe				567·4	400	425	16·5	10	851·5	8	851	1·71	0·13	0·30	2·25

Chargierbühne angebracht, also eine Art Podium mit Geländer, von welchem eine Treppe in den unteren Raum der Stahlhütte, den sogenannten Gießraum, herunterführt. Auf dem Podium ist außer dem oberen Teile des Ofens noch ein Schaltbrett mit den elektrischen Meßinstrumenten, eine Wage zum Abwägen der Beschickung für die einzelnen Chargen, ferner ein Schmiedefeuer mit einem Amboss angebracht, um Schmiedeproben vorzunehmen. Der erste Mann am Ofen erkennt nämlich aus

Tabelle III. Charge mit Erzfrischen.

Herzustellen reiner Kohlenstoffstahl mit 1·1% Kohlenstoff.

Zeit	Strom			Chargiert					Abstich- Ingots		Zusammen- setzung			
	V	KW	KW St.	Roheisen	Erzbricketts	Kalkstein	Ferro-Silizium	Ferro-Mangan	Summe	St. kg	in Prozenten			
											C	Si	Mn	P
7·15	2900	145	.	850										
8·45	2900	176	.											
9·00	2850	172	.											
9·05	.	.	.											
9·10	.	.	.	.	25	1								
9·15	2850	172	.	.										
9·30	2830	170	.	.		2								
9·40	.	.	.	.						
9·45	2850	170	.	.										
9·48	.	.	.	.	20	2								
10·00	2830	168	.	.										
10·10	.	.	.	.		2								
10·15	2800	166	.	.										
10·30	2800	166	.	.										
10·33	.	.	.	.						
10·45	2820	168	.	.										
11·00	2810	167	.	.	20	2								
11·15	2800	166	.	.										
11·20	.	.	.	.						
11·25	.	.	.	.	20	2								
11·30	2810	168	.	.										
11·45	2800	167	.	.										
11·50	.	.	.	.						
12·00	2800	166	.	.										
12·15	2780	165	.	.										
12·30	2780	165	.	.										
12·45	2780	165	.	.										
1·00	2780	165	.	.			15	2						
1·03	.	.	.	.						
1·13	.	.	.	.						
1·15	2800	167	} Periode des Abstichs	.										
1·18	2800	145		.										
Summe		1002·9		850 850	85 =51kg Eisen	11 15	15 2	2 2	918	8 841	1·11	0·18	0·25	0·086

dem Verhalten des Stahles beim Schmieden schon mit ziemlicher Genauigkeit, ob die Charge beendet ist und den Anforderungen, welche man an sie bezüglich Härte und Kohlenstoffgehalt stellt, entspricht. Während der letzten $1—1\frac{1}{2}$ Stunden jeder Charge, wenn also die im Betriebe befindliche Charge schon vollständig geschmolzen ist, wird das Roheisen und der Schrot für die nächste Charge abgewogen und beim Ofen hinterlegt. Von der fertigen Charge werden stets nur zwei Drittel des Metalles aus dem Ofen genommen oder, wie man hüttenmännisch sagt, abgestochen, während ein Drittel als sogenannter Sumpf im Ofen zurückbleibt. In diesen Sumpf wird sogleich nach erfolgtem Abstich, wie Sie aus den Zeitangaben der Tabelle II entnehmen können, das Material für die neue Charge hineinchargiert. Man chargiert in der Regel in zwei Partien und dauert jedes Chargieren zirka $\frac{1}{4}$ Stunde. Nach 2 Stunden vom Chargenbeginn ist in der Regel alles geschmolzen und wird nach einer weiteren Stunde eine Schmiedeprobe und eine kolorimetrische Probe vorgenommen, um den Kohlenstoffgehalt des Stahles zu kontrollieren.

Die kolorimetrische Probe ist eine wenn auch nicht absolut genaue, so doch sehr rasch durchführbare chemische Probe, welche darin besteht, daß man eine gewogene Menge des fein gebolrten oder gefeilten Stahles in einem gemessenen Volumen Salpetersäure von bestimmter Konzentration auflöst und aus der Tiefe des bräunlichen Farbtones, den die Flüssigkeit infolge Auflösung des gebundenen Kohlenstoffes annimmt, den Kohlenstoff-

gehalt im Vergleich zu verschieden tief gefärbten Normalflüssigkeiten feststellt. Stimmt nun der Kohlenstoffgehalt mit dem gewünschten nicht genügend überein, so kann man die Charge noch entsprechend korrigieren, indem man noch etwas Roheisen oder reines Erz zusetzt, je nachdem, ob die Charge zu wenig Kohlenstoff enthält oder zu viel. Zirka $\frac{1}{4}$ Stunde vor dem Abstich fügt man 10—15 kg 12⁰/₀iges Ferrosilizium der Charge zu, um einen blasenfreien Guß zu bekommen. Der Abstich erfolgt in gewöhnlicher Weise, indem man einen seitlich in die Schmelzrinne ragenden Kanal, der während der Charge durch einen Pfropfen von feuerfestem Ton verschlossen ist, mit einer Eisenstange durchstößt. Der dünnflüssige, weißglühende Stahl fließt zunächst in einen ebenfalls mit feuerfestem Material ausgekleideten, durch einen Kran beweglichen kesselartigen Behälter, die sogenannte Gießpfanne, aus welcher er in die Gießformen für die Stahlblöcke, die sogenannten Coquillen, gegossen wird. Diese Coquillen sind zweiteilige Formen aus Eisen, welche durch verkeilte Reifen zusammengehalten werden. Bei der kurzen Dauer der Chargen von nur 4 Stunden ist es nicht erforderlich, die Coquillen vorzuwärmen, sondern haben sie von der vorigen Charge noch genügende Wärme in sich. Die gefüllten Coquillen werden von der Drehscheibe, auf welcher sie gefüllt wurden, mittels des Krans vor eine Eisenschiene gestellt und nach Abschlagen der Reifen auf diese Schiene gestürzt. Dabei fällt die zweiteilige Form auseinander und die glühenden viereckigen Stahlblöcke von länglicher Form,

die sogenannten Ingots, werden behufs Erkalten über eine zweite Eisenschiene gezogen und nach dem Erkalten gewogen, während die Coquillen wieder für den nächsten Abstich zusammengestellt werden. Die Stahlingots sind nun für die Weiterverarbeitung bereit und kommen in die Schmiede unter den Dampfhammer oder zum Verwalzen. Je nach ihrer Bestimmung gießt man die Ingots in verschiedener Größe. In Gysinge wurden in der Regel solche von 80—200 *kg* gegossen.

Die ziffernmäßige Erörterung des Kraftverbrauches, welcher ja bei elektrothermischen Verfahren den wichtigsten Faktor in den Betriebskosten ausmacht, dürfte für Sie von geringerem Interesse sein. Ich will jedoch erwähnen, daß der Kraftverbrauch von verschiedenen Faktoren abhängig gemacht werden kann. Zunächst ist es von Einfluß, in welcher Weise wir den Betrieb führen, ob wir nämlich nur einfach verdünnen, also durch Zusammenschmelzen von Roheisen mit Schmiedeeisen das Schrotverfahren durchführen, oder ob wir Roheisen mit Erz frischen. Im letzteren Falle brauchen wir zirka um die Hälfte mehr Strom als im ersteren, die Charge dauert also z. B. bei dem Ofen in Gysinge 6 statt 4 Stunden. Ferner ist es von Einfluß, ob wir das Roheisen im kalten Zustande oder geschmolzen in den elektrischen Ofen einführen, denn im letzteren Falle haben wir die für Erhitzen und Schmelzen des Roheisens erforderliche Wärme schon vom Hochofen geliefert vorhanden, brauchen sie also nicht erst im elektrischen Ofen aufzuwenden. Endlich ist auch die Größe des Ofens von Ein-

fluß. Jeder technische Apparat und seine Wirkungsweise ist mit gewissen Verlustquellen behaftet, die teils vom Verfahren, teils von der Konstruktion bedingt und, wenn auch nach Möglichkeit einzuschränken, doch nicht absolut zu vermeiden sind. Beim Kjellinschen Ofen haben wir einerseits Verluste an Kraft im elektrischen Transformator und ferner die in jedem Ofen vorhandenen Verluste an Wärme durch Leitung und Strahlung. Sämtliche Wärme, die von der Schmelzrinne in das Ofenfutter und in den Ofenkörper geht, wird in das Gebäude, den Fußboden etc. fortgeleitet und ist für den Prozeß verloren. Ebenso die Wärme, die von dem geschmolzenen Metall in der Rinne und dem warmen Ofenkörper gleich einem geheizten Zimmerofen direkt in die Atmosphäre ausgestrahlt wird. Alle diese Verlustquellen werden im Verhältnis zur Produktion mit steigender Ofengröße geringer. Es wird also bei größeren Öfen das Verhältnis zwischen der für den Prozeß theoretisch erforderlichen und der tatsächlich aufzuwendenden Energie, also der sogenannte thermische Nutzeffekt, immer günstiger. Ich will nur erwähnen, daß z. B. der Ofen in Gysinge bei einem Kraftaufwande von zirka 230 PS und einer täglichen Produktion von 5000 *kg* Stahl mit einem Nutzeffekt von 60 % arbeitet, also drei Fünftel der aufgewendeten Energie effektiv für den Prozeß ausnützt. Dieser Nutzeffekt steigt bei einem Ofen für 1000 PS, welcher 30.000 *kg* pro Tag erzeugt, schon auf 80 %, also auf vier Fünftel Ausnützung.

Graphisch sehen Sie den Einfluß der Ofengröße auf den Kraftverbrauch in den Kurven der Fig. 11 darge-

stellt. Die beiden horizontalen Geraden bezeichnen den theoretisch erforderlichen Kraftverbrauch beim elektrischen Erschmelzen von 1000 kg Stahl, und zwar die obere für Anwendung von kaltem, die untere von geschmolzenem Roheisen. Die beiden von links nach rechts abfallenden Kurven veranschaulichen hingegen, wie der

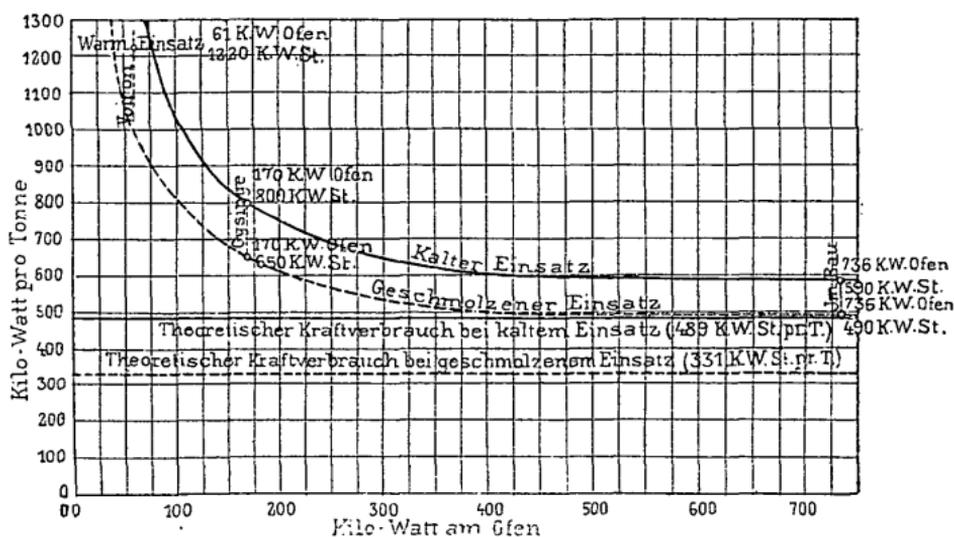


Fig. 11.

Kraftverbrauch in beiden Fällen mit zunehmender Ofengröße abnimmt, so daß die Kurve sich immer mehr der die theoretische Zahl bezeichnenden Horizontalen nähert. Sie wird dieselbe natürlich nie ganz erreichen, die Kurve wird, wie wir sagen, asymptotisch. Es wird Ihnen wahrscheinlich bei diesen Kurven auffallen, daß sie auf ihrem rechten Flügel nur mehr eine sehr geringe fallende Tendenz haben, man wird also bei Öfen über 1000 PS pro

Ofen, mit welcher Größe die dargestellten Kurven rechts enden, bei weiterer Vergrößerung keine wesentliche Kraftersparnis mehr erzielen. Außerdem liegen auch Gründe elektrotechnischer Natur vor, welche ein weiteres Vergrößern der Öfen erschweren. Es tritt nämlich bei Wechselströmen, also bei Strömen, welche stetig ihre Richtung und Intensität ändern, folgende Erscheinung auf: Je öfter der Strom in der Zeiteinheit seine Richtung ändert, umsomehr zeigt er das Bestreben, nicht gleichmäßig durch den Leiter zu fließen, sondern sich mehr an der Oberfläche desselben zu halten. Diese Erscheinung bezeichnen wir als Skineffekt. Von einem darauf beruhenden Experiment werden Sie schon gehört haben, daß es nämlich möglich ist, Ströme von außerordentlich hoher Wechselzahl, sogenannte Teslaströme, ohne Gefahr durch den menschlichen Körper zu leiten, da sie nur auf der Oberfläche verlaufen. Ein solches ungleichmäßiges Verteilen des Wechselstromes im Querschnitt der Schmelzrinne kann man natürlich bei einem elektrischen Stahlschmelzverfahren nicht brauchen wegen der damit zusammenhängenden ungleichmäßigen Erhitzung. Man muß daher, je größer der Ofen wird, immer mehr mit der Wechselzahl des Stromes heruntergehen. Doch werden nach dieser Richtung durch konstruktive Schwierigkeiten bei dem Bau der den Strom liefernden Dynamomaschinen Schranken errichtet.

Bei den einzelnen Chargen ist die vom Kjellinschen Ofen aufgenommene elektrische Energie nicht während des ganzen Verlaufes der Charge eine konstante.

Im Anfange der Charge haben wir nur den Sumpf im Ofen, wir haben also nur zirka ein Drittel des Metallquerschnittes gegenüber der vollen Charge. Wenn man nun chargiert, so nimmt der Querschnitt zu und kann das Metallbad eine größere Strommenge aufnehmen. Es steigt also der Strombedarf so lange, bis alles Rohmaterial eingetragen und geschmolzen ist. Dann bleibt der Strom

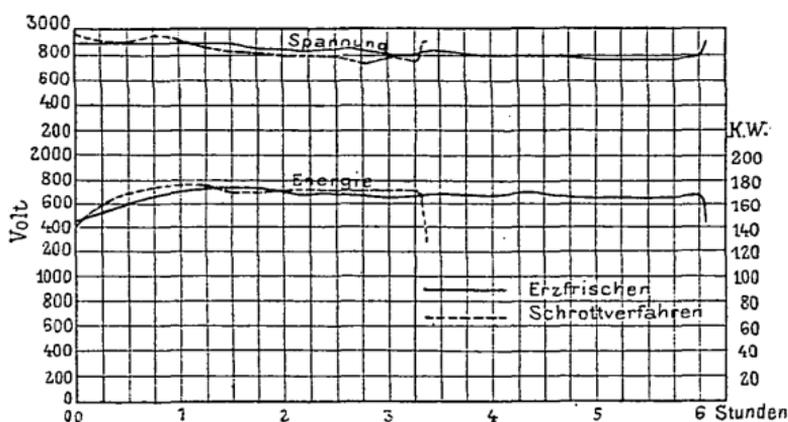


Fig. 12.

konstant und nimmt wieder während der kurzen Abstichperiode ab. Graphisch ist der Verlauf zweier Chargen bezüglich des Kraftverbrauches in den Kurven der Fig. 12 dargestellt.

Zu erwähnen wäre auch, daß der Kjellinsche Ofen einen sehr geringen Abbrand aufweist. Man versteht darunter die Differenz im Gewichte zwischen dem chargierten Rohmaterial und dem erhaltenen Stahlgewicht infolge von Verschlackung, mechanischen Verlusten, Abbrand von Kohlenstoff aus dem Roheisen etc. Dieser

Abbrand beträgt beim Kjellinschen Ofen im Mittel 2% , während er beim Siemens-Martinofen im Mittel 5% beträgt.

In chemischer Beziehung möchte ich erwähnen, daß bei dem Betrieb als einfaches Verdünnungs- oder Schrottverfahren eine Entfernung der schädlichen Verunreinigungen des Rohmaterials, also speziell des Schwefels und Phosphors, nicht stattfindet. Man muß also sehr reine Roheisensorten verwenden, wie sie in Schweden leicht zu haben sind. Analysen solcher reiner schwedischen Roheisensorten, aus denen Sie den sehr geringen Gehalt an Schwefel und Phosphor entnehmen können, finden Sie in der Tabelle IV.

Tabelle IV. Roheisenanalyse.

Marke Dannemora:	Marke Goldsmedhütte
Kohlenstoff 4.5%	Kohlenstoff 4.00%
Silizium 0.08%	Silizium 0.73%
Schwefel 0.015%	Phosphor 0.051%
Phosphor 0.018%	Mangan 0.11%
Mangan 1.77%	
Kupfer 0.015%	
Arsen 0.035%	

Bei unreineren Rohmaterialien muß man, wie schon erwähnt, unter Zuschlag von Kalk mit reinem Eisenerz frischen.

Eine Sammlung der in Schweden verwendeten Rohmaterialien finden Sie hier aufliegend.

Eine Veränderung erleidet, selbst beim Betrieb nach dem Verdünnungsverfahren, nur der Kohlenstoffgehalt.

Da die chargierten Rohmaterialien stets Rost, also Sauerstoff, in Form von Eisenoxyd enthalten und auch beim Chargieren und Durchmischen der Charge Luftzutritt stattfindet, so verbrennt ein Teil des Kohlenstoffes zu Kohlenoxyd. Aus der Praxis hat sich ergeben, daß zirka $\frac{1}{2}\%$ C. abbrennt. Um also eine Charge von bestimmtem Kohlenstoffgehalt zu bekommen, muß man um $\frac{1}{2}\%$ mehr Kohlenstoff, als man im Endprodukt haben will, mit den Rohmaterialien zusetzen. Wer sich näher dafür interessiert, findet in der Tabelle V zwei Beispiele von Chargenberechnungen.

Tabelle V. Berechnung der Chargen.

A. Schrotverfahren.

Vorige Charge	1%	Kohlenstoff
Neue "	1%	"
Restcharge:		
400 kg Stahl zu 1.0% C =	4.00	kg C
Chargiert:		
300 kg Roheisen zu 4.5% C =	13.5	kg C
500 kg Flußeisen zu 0.1% C =	0.5	kg C
75 kg Stahlschrot zu 1.0% C =	0.75	kg C
<hr/>	<hr/>	<hr/>
1275 kg	18.75	kg C
$\frac{18.75}{1275} = 1.47\%$ C Durchschnittsgehalt		
ab 0.47% C für Abbrand		
1.00% C Sollgehalt.		

B. Erzfrischen.

Vorige Charge	0.8%	Kohlenstoff
Neue "	1.1%	"

Zu verwenden: Briketts mit 60–65% Fe.

Restcharge:

450 kg Stahl zu 0·8% C =	3·60 kg C
850 kg Roheisen zu 4·0% C =	34·00 kg C
<hr/>	<hr/>
1300 kg	37·60 kg C

$$\frac{37·60}{1300} = 2·9\% \text{ C Durchschnittsgehalt}$$

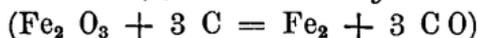
ab 0·5% C für Abbrand

2·4% C Restkohlenstoff

1·1% C Sollgehalt

1·3% C zu entfernen.

$$1300 \times 1·3 = 16·9 \text{ kg C}$$



$$\text{Fe}_2 \text{O}_3 : 3 \text{C} = 160 : 36 = x : 16·9$$

$$x = 75 \text{ kg Fe}_2 \text{O}_3$$

= rund 85 kg Briketts mit 60–65% Fe.

Der in Gysinge produzierte Stahl, von welchem ich Ihnen vier geschmiedete Stangen von verschiedenem Kohlenstoffgehalt mitgebracht habe, entspricht allen Anforderungen an einen guten Qualitätsstahl.

Für die Beurteilung eines Stahles sind einerseits seine chemische Zusammensetzung, andererseits sein Verhalten bei mechanischen Erprobungen maßgebend.

Die Anforderungen, die man an den Stahl nach dieser Richtung stellt, sind natürlich nach dem Verwendungszweck sehr verschieden. Bei den mechanischen Erprobungen wird das Verhalten von Stahlstäben beim Zerreißen, beim Biegen, beim Durchschlagen etc. festgestellt und ziffernmäßig ausgedrückt. Sie finden als Beispiel in der Tabelle VI die chemische Zusammensetzung und die Festigkeitszahlen verschiedener im Kjellin-

schen Ofen verschmolzener Stähle und außerdem können Sie in der Ihnen mitgebrachten Sammlung sehen, in welcher Form der Stahl den erwähnten mechanischen Erprobungen unterworfen wird.

Tabelle VI.

Zerreißversuche mit Gysinger Elektro Stahl.

Basischer Ofenfüller; geglühte Proben; Durchmesser 20 mm,
Länge 200 mm.

Proportionsgrenze	Streckgrenze	Bruchgrenze	Dehnung	C%	P%	Si%	Mn%	S%
38.2	56.7	77.2	0.5	2.32	0.015	0.21	0.77	0.011
44.0	51.0	96.3	7.1	0.91	0.019	0.23	0.33	0.011
44.3	50.7	97.6	10.6	0.91	0.018	0.30	0.47	0.010
33.0	43.3	93.2	10.0	0.89	0.015	0.27	0.30	0.015
33.8	48.3	94.9	9.0	0.80	0.015	0.27	0.48	0.007
36.1	40.8	76.0	15.0	0.63	0.017	0.30	0.44	0.008
30.2	33.4	43.3	23.8	0.18	0.014	0.12	0.17	0.008
14.3	19.9	32.1	28.0	0.07	0.013	0.012	0.06	0.009

Materialprüfungsanstalt der technischen Hochschule Stockholm. Herbst 1903.

Auf das betreffende Zahlenmaterial kann ich nicht eingehen und will nur erwähnen, daß der Elektro Stahl den höchsten Anforderungen sowohl in chemischer als mechanischer Beziehung entspricht.

Die hervorragendste Eigenschaft des Elektro Stahles ist seine außerordentlich hohe Homogenität und Dichte und hängt diese Eigenschaft im wesentlichen mit der höheren Temperatur zusammen, bei der er erschmolzen wird, sowie auch mit dem Umstande, daß während des Prozesses keine größeren Mengen von Gasen sich entwickeln.

Von einer eingehenden Darlegung, in welchen Fällen das geschilderte Verfahren den rein hüttenmännischen Methoden auch ökonomisch überlegen ist, kann ich wohl absehen und will nur erwähnen, daß man da zwei ganz verschiedene Umstände ins Auge fassen muß.

Dem sogenannten Tiegelschmelzen, bei welchem derzeit der Stahl im Ton- oder Graphittiegel umgeschmolzen und eventuell mit anderen Metallen legiert wird, auf welchem Wege man die feinsten, speziell für Schneidwerkzeuge verwendeten Sorten herstellt, ist mit Rücksicht auf das teure Tiegelmateriale und das Erfordernis vieler und geschulter Arbeitskräfte das elektrische Verfahren stets überlegen, selbst bei relativ hohen Kraftpreisen.

Wenn es sich hingegen um eine Konkurrenz des elektrischen Verfahrens mit dem Siemens-Martinprozeß, also einer Massenfabrikation handelt, bei welcher keine so hochwertigen Sorten zu erzeugen sind wie beim Tiegelschmelzen, so ist die Möglichkeit der Konkurrenz in erster Linie von dem in dem betreffenden Falle vorhandenen Kraftpreise abhängig und kann man im allgemeinen sagen, daß die Konkurrenzfähigkeit dann vorliegt, wenn entweder Wasserkraft zur Verfügung steht oder die Hochofengase, welche man ja heute schon in Gasmaschinen anstandslos zur Krafterzeugung verwendet, im Überschuß vorhanden sind und nicht für andere Zwecke, z. B. für den Antrieb von Walzwerken etc., benötigt werden. Hat der betreffende Interessent für die Hochofengase anderwärtige Verwendung, so bewertet er

dieselben natürlich gerade so, als wenn er Kohlen kaufen müßte, während er sie, wenn sie im Überschuß vorhanden sind, als wertlos einsetzen kann.

Bevor ich schließe, will ich Ihnen noch rasch einige Bilder mit dem Skioptikon vorführen, da die aufgehängten Skizzen aus der Ferne doch nicht für alle Anwesenden gut wahrnehmbar gewesen sein werden.

- Nr. 1. Tiegelofen Siemens (siehe Fig. 1),
- „ 2. Ofen von Stassano (siehe Fig. 2),
- „ 3. Schematische Darstellung des Héroutlofens
(siehe Fig. 3),
- „ 4. Ansicht des Héroutlofens,
- „ 5. Ofen von Keller in Livet,
- „ 6. Darstellung des Ginschen Ofens (siehe Fig. 4
und 5),
- „ 7. Ansicht von Gysinge,
- „ 8. Alter Hochofen in Gysinge,
- „ 9. Elektro-Stahlhütte in Gysinge,
- „ 10. Schematische Darstellung des Kjellinofens
(siehe Fig. 7 und 8),
- „ 11. Kjellinscher Ofen im Betrieb (siehe Fig. 10).

Ich bin mit meinen Ausführungen zu Ende. Zunächst möchte ich noch den Herren Oberbaurat Professor Hoehenegg und Ingenieur v. Schrott sowie Herrn Dr. Huth von der Siemens & Halske-Aktien-Gesellschaft für ihre freundliche Unterstützung für die Ermöglichung und Vorführung der Experimente bestens danken und ferner der Hoffnung Ausdruck geben, daß es mir gelingen sein möge, Ihnen ein allgemeines Bild über einen

neuen aufstrebenden Industriezweig zu geben, den wir dem Zusammenwirken des Hüttenwesens, der Elektrotechnik und der Elektrochemie verdanken. Als Angehöriger der letzten beiden jüngeren Disziplinen möchte ich wünschen, daß dieselben in dem altherwürdigen Hüttenwesen auch auf dem Gebiete der Eisen- und Stahlerzeugung einen treuen Bundesgenossen finden mögen. Auf die Erfüllung dieses Wunsches möchte ich mit dem alten einfachen Bergmannsgruße schließen:

G l ü c k a u f!

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1905

Band/Volume: [45](#)

Autor(en)/Author(s): Engelhardt Viktor Josef Karl

Artikel/Article: [Über Herstellung von Stahl im elektrischen Ofen. 455-506](#)