

Ueber das Eisen.

Von

PROF. DR. JOHANN OSER.

Vortrag, gehalten am 22. December 1880.



Wenn ich das gewöhnlichste und billigste der Metalle zum Gegenstande des heutigen Vortrages mache, so wird diese Wahl wohl dadurch gerechtfertigt, dass es unter allen anderen Metallen dem Fortschritt der Menschheit die grössten Dienste geleistet hat und dass wir jedes andere Metall leichter als dieses entbehren könnten. Nach der massenhaften Verwendung desselben könnte man die Gegenwart als das eiserne Zeitalter bezeichnen, womit wir den Begriff eines viel höheren Daseins verknüpfen, als es die Dichter des Alterthums als goldenes Zeitalter geträumt haben.

Das Eisen dient sowohl den Werken des Friedens, wie jenen des Krieges, es durchwühlt als Pflugschar den Boden, um die Bedingungen für das Leben zu schaffen, als es verwendet wird, um auf meilenweite Entfernungen hin Tod und Zerstörung zu senden. Wir finden es in Gegenständen von den winzigsten bis zu den riesigsten Dimensionen angewendet, von der Zündnadel bis zur Gussstahlkanone und den Panzerkolossen; von der zarten Uhrfeder, welche die kleinste der Maschinen, die Uhr, treibt, bis zur Dampfmaschine, welche die Arbeit

von Tausenden Händen leistet. Seine Verwendung ermöglichte die Reducirung des Verhältnisses von Zeit und Raum auf ein Mass, welches man früher nicht einmal zu träumen gewagt hätte, sei es, dass es den Schienengürtel bildet, auf dem das Dampfross dahinstürmt oder dass es als Elektromagnet und submarines Kabel die Mittel liefert, unsere Gedanken mit einer dem Lichte nahekommenden Schnelligkeit anderen Welttheilen zu vermitteln. Es ermöglichte uns, die Hindernisse, welche sich in den Erhebungen der Erdrinde dem Verkehre entgegenstellen, zu überwinden, indem wir mittelst des Stahlbohrers die Gebirge durchbrechen oder an denselben an den durch Schienen oder Drahtseile bezeichneten Wegen hinanklettern, und wo die endlose Fluth früher Welttheile von einander schied, gewährt sie jetzt den billigsten Transport, indem wir auf eisernen Dampfschiffen die Wellen durchschneiden und die Magnetnadel weist uns dabei den sicheren Weg, wenn uns die Sterne verlassen.

Die fortwährend sich vervollkommnende Production des Eisens erlaubt es, dasselbe in immer grösseren Massen in Anwendung zu bringen und die mannigfachen Eigenschaften, welche wir demselben durch die verschiedene Behandlung zu geben vermögen, befähigen es, andere Materialien mehr und mehr zu verdrängen. Wir überbrücken mit Eisen Ströme und Meeresarme, die sich ein hölzernes Joch nicht auferlegen liessen, wir verwenden es als Con-

structionsmaterial statt des Holzes beim Bau von Häusern, der Herstellung von Möbeln und unzähligen anderen Gegenständen und noch hat die immer häufigere Verwendung des Eisens statt des Holzes ihre Grenze nicht erreicht, umsomehr da das erstere immer billiger, das letztere immer theurer wird. Aber auch an die Stelle anderer Materialien ist vielfach das Eisen getreten; die Hanfseile wurden zu Drahtseilen, das thönerne Geschirr zu eisernem und selbst der Gänsekiel wurde durch die Stahlfeder auf eine sehr bescheidene Verwendung eingeschränkt.

Während das Eisen für die Herstellung von Gegenständen, bei denen es auf besondere Festigkeit, Elasticität etc. ankommt, geradezu unersetzlich ist, liefert es auch oft das Material zu Erzeugnissen der bildenden Kunst und zu künstlerisch ausgeführten Luxuswaaren, in denen es oft mit dem Effect der edlen Metalle glücklich wetteifert.

Man kann annehmen, dass das gediegene Eisen keinen ursprünglichen Bestandtheil unserer Erdrinde bilde, denn die erst in neuerer Zeit beobachteten Funde von tellurischem Eisen sind, wenn überhaupt zuverlässig, nur als mineralogische Seltenheiten zu betrachten. Es liegt dies darin, dass das Eisen bei Gegenwart von Luft und Wasser sehr rasch oxydirt wird, so dass, wenn selbst durch günstige locale Verhältnisse gediegenes Eisen entstünde, dasselbe seinen metallischen Zustand wieder rasch einbüßen würde. Dennoch ist die Kenntniss des Eisens uralte und reicht in die

vorgeschichtlichen Perioden zurück. So wird z. B. schon im 1. Buch Mosis (Cap. IV, 20) Thubalkain als Meister in allerlei Erz und Eisenwerk genannt, so wird ferner im 5. Buch Mosis (Cap. IV, 20) Aegypten mit einem eisernen Ofen verglichen, wobei die figürliche Anwendung dieses Ausdruckes auf eine allgemeine Bekanntschaft mit der Eisenerzeugung hindeutet. Dieselbe Ueberzeugung drängt sich auch bei der Betrachtung der riesenhaften ägyptischen Baudenkmale auf, indem sie in dieser Vollendung ohne Werkzeuge von hartem Metall kaum hergestellt werden konnten. Es ist aber höchst wahrscheinlich, dass das Eisen und die Kunst, es zu bearbeiten, schon viel früher bekannt war, bevor man es aus seinen Erzen zu gewinnen verstand. Man könnte sagen, dass uns das Eisen wirklich vom Himmel gefallen ist. Wir wissen nämlich jetzt, dass zu verschiedenen Zeiten aus dem Weltraum Massen auf die Erde herunterfallen, welche man als Meteoriten bezeichnet. Man unterscheidet unter denselben Steinmeteoriten, die der Hauptmasse nach aus Gesteinsmassen (Silicaten), bestehen, und Eisenmeteoriten, die vorherrschend aus metallischem, nickelhaltigem Eisen bestehen. Die Kunde von solchen Naturerscheinungen findet sich bei vielen Völkern und geht in sehr ferne Zeiten zurück. Obwohl solche herabgefallene Massen an verschiedenen Orten lange Zeit aufbewahrt und von manchen Völkern sogar als Heiligthümer verehrt wurden, hielt man die Nachrichten über ihren Ur-

sprung doch so lange für Fabeln, bis derselbe von ganz glaubwürdigen Augenzeugen sichergestellt wurde.

Meteorische Eisenmassen waren es höchst wahrscheinlich, die man zuerst bearbeitete und aus der so erworbenen Kenntniss der Eigenschaften des metallischen Eisens dürfte sich nun erst die Kunst, dasselbe auch aus seinen Erzen zu gewinnen, entwickelt haben.

Trotzdem wurde das Kupfer oder Erz zum Gebrauche von Waffen und Werkzeugen nur langsam verdrängt; so waren noch zu David's Zeiten eiserne Waffen nicht allgemein, wenigstens wird (I. Buch Samuelis, Cap. XVII, 5, 6, 7) ausdrücklich hervorgehoben, dass die Rüstung des Philisters Goliath aus Erz und nur die Spitze seines Speers aus Eisen gefertigt war. Es war zu dieser Zeit das Eisen offenbar noch zu selten, wie dies auch aus einer Stelle der Iliade hervorgeht, wornach Achill bei den Kampfspielen zur Leichenfeier des Patroklos eine rohgeformte Kugel von Eisen als Siegespreis setzte, von der er rühmte, dass sie den Sieger auf 5 Jahre mit Eisen zu Ackerwerkzeugen versehen werde. Diese Seltenheit und Kostbarkeit des Eisens beruhte gewiss ebenso auf der primitiven und mühsamen Weise der Gewinnung desselben, sowie darauf, dass ursprünglich wahrscheinlich nur ein Eisenerz dazu benützt wurde, welches verhältnissmässig seltener vorkommt als die anderen Eisenerze, es ist dies der Magnet-eisenstein. Seiner chemischen Zusammensetzung

nach hat er ungefähr die des sogenannten Hammer-
schlags, welcher sich in Gestalt von abspringenden
Funken und als Ueberzug beim Schmieden des Eisens
in der Glühhitze bildet. Der Magneteisenstein findet
sich krystallisirt, körnig krystallinisch oder dicht;
seltener auf Gängen, meist in mächtigen Lagerstöcken,
und zwar vorzüglich in den älteren krystallinischen
Massen- und Schiefergesteinen. Nach seinem geogra-
phischen Vorkommen findet man ihn vorzüglich in
nordischen Ländern: Schweden, Norwegen, Finnland,
Lappland, in Canada etc. Man findet denselben aber
auch in Folge der Zerstörung der Erdrinde an vielen
Orten in losen Blöcken oder losen Krystallen im
aufgeschwemmten Lande, im Sande von Flüssen.

Dieses Vorkommen, seine schwarze, der des
geschmiedeten Eisens ähnliche Farbe, seine Schwere
haben vermuthlich zuerst die Anregung dazu gegeben,
aus demselben Eisen zu gewinnen, von dem er im
reinen Zustande 72·4 Procent besitzt und überhaupt
das eisenreichste aller Eisenerze ist. Neben dem
Magneteisenstein sind die wichtigsten Eisenerze noch
folgende: Rotheisenstein (Rotheisenerz). Seine
chemische Zusammensetzung ist dieselbe, die der
Eisenrost besitzt, nur dass das Erz wasserfrei ist.
Im reinem Zustande enthält er 70 Procent Eisen.
Berühmt ist das Lager auf der Insel Elba, welches
schon den Römern ein vorzügliches Eisen lieferte.
Brauneisenerz, seiner chemischen Zusammensetzung
nach ein wasserhaltiger Rotheisenstein und häufig

als Zersetzungsproduct anderer Eisenerze auftretend. Noch gegenwärtig fortdauernde Bildungen bezeichnet man als Rasen-, Morast-, Wiesen-, See-Erze und ist bei diesen Erzen besonders bemerkenswerth, dass sie im Allgemeinen einen hohen Phosphorgehalt aufweisen. Spateisenstein, Eisenspat ist kohlen-saures Eisenoxydul und würde in seiner reinsten Form 48·3 Procent Eisen enthalten. Seinem äusseren Ansehen nach verräth es im frischen Zustande seiner lichtgraugelben Farbe wegen, die im Pulver des Minerals noch blässer erscheint, kaum einen Eisen-gehalt. Lässt man es aber an feuchter Luft liegen, so verändert es seine Farbe in Braun und gibt eine Masse, die ganz so wie Brauneisenstein aussieht, mit welchem es dann auch in der chemischen Zu-sammensetzung übereinstimmt.

Bemerkenswerth ist bei diesem Erz ein höherer Mangangehalt als bei anderen Eisenerzen, ein Gehalt, der oft bis zu 11 Procent Mangan steigt. Besonders unsere Alpenländer sind reich an diesem vorzüg-lichen Eisenerz und ist hier der zwischen Eisenerz und Vordernberg liegende berühmte Erzberg, auf dem der Bergbau schon seit dem Jahre 712 betrieben wird, hervorzuheben. Alle die bis jetzt angeführten Eisenerze sind Sauerstoffverbindungen des Eisens. Schwefelverbindungen desselben, wie z. B. der Eisen-kies, der in seiner reinsten Art 46·7 Procent Eisen enthält, sind wegen ihres Schwefelgehaltes zur Eisen-erzeugung direct nicht verwendbar und werden daher

auch nicht zu den Eisenerzen gezählt. Der Beschreibung der Darstellung der gewöhnlichen Eisensorten müssen vorher die wichtigsten Eigenschaften derselben vorausgeschickt werden.

Reines Eisen kommt in der Praxis gar nicht vor und kann selbst von dem Chemiker nur schwierig dargestellt werden. Unter den gangbaren Eisensorten ist nur das sogenannte Schmiedeeisen oder Stabeisen ein annähernd reines Eisen.

Die Stoffe, welche mit dem Eisen verbunden sind, modificiren wesentlich seine Eigenschaften und durch dieselben sind zum grössten Theil die mannigfachen Varietäten des Eisens bedingt. Darunter ist es besonders der Kohlenstoff, der in jeder Eisensorte vorkommt und je nach der Quantität, in der er mit dem Eisen verbunden ist, die Qualität desselben ändert. Man unterscheidet den Haupteigenschaften nach drei Sorten von Eisen: 1. Roheisen (Gusseisen), 2. Stahl, 3. Schmiedeeisen.

Den grössten Kohlenstoffgehalt hat das Roheisen, einen geringeren der Stahl, den geringsten das Schmiedeeisen. Der Gehalt an Kohlenstoff hat zunächst einen Einfluss auf die Härte und Sprödigkeit des Eisens; sie nimmt mit dem Steigen des Kohlenstoffgehaltes zu und damit also auch die Dehnbarkeit ab. Man bezeichnet die Dehnbarkeit auch als Schmiedbarkeit, indem man ein dehnbares Eisen durch Schmieden dehnen und strecken kann: Bis zu einem Gehalt von circa 2 Procent Kohlenstoff ist das Eisen schmiedbar.

Zudem kann die Härte eines Eisens, welches von 0·6 bis 2·3 Procent Kohlenstoff enthält, durch die Behandlung desselben verändert werden. Wenn man ein solches Eisen bis zum Glühen erhitzt und dann z. B. durch Eintauchen in Wasser rasch abkühlt, so erlangt es dadurch eine viel grössere Härte, als es vor dieser Behandlung, welche man als das Härten des Stahls bezeichnet, besass. Je höher der Gehalt des Stahles (bis zur Grenze von circa 2 Procent), um so grössere Härte kann man demselben ertheilen.

Erwärmt man gehärteten Stahl und lässt ihn dann erkalten, so wird er um so weicher, je stärker man ihn erwärmt hatte, ohne aber dabei bis zur Glühhitze zu gehen. Man nennt dieses Verfahren das Anlassen oder Nachlassen des Stahles. Bei dem successiven Erhitzen des Stahls erscheinen auf demselben eine Reihe von Farben, welche von einer sich bildenden dünnen Oxydschichte herrühren. Man bezeichnet diese Farben als Anlauffarben, welche mit steigender Temperatur immer in derselben Ordnung erscheinen: Blassgelb, strohgelb, goldgelb, braun, purpurroth, violett, dunkelblau, hellblau, meergrün, schwarzblau. Man hat es hierdurch in der Gewalt, einem Stahl jeden beliebigen Grad von Härte zu geben, der zwischen jener des gehärteten und des natürlichen Stahls liegt. Erhitzt man gehärteten Stahl bis zum Glühen und lässt ihn dann langsam abkühlen, so wird er wieder so weich als er vor der Härtung war.

Einen wesentlichen Einfluss nimmt der Kohlenstoffgehalt ferner auf den Schmelzpunkt des Eisens; während Roheisen leicht schmelzbar ist (circa 1100° C.), ist der Stahl um so schwerer schmelzbar, je weniger Kohlenstoff er enthält, und das Schmiedeeisen ist in der gewöhnlichen Ofenhitze unschmelzbar. Das kohlenstoffreiche Eisen ist nicht bloß leichter schmelzbar, sondern der Uebergang aus dem festen in den flüssigen Aggregatzustand erfolgt hier sehr rasch, während ein kohlenstoffarmes Eisen vor dem eigentlichen Flüssigwerden teigig wird, so dass man in diesem Zustande zwei Stücke Eisen, wenn sie rein metallische Berührungsflächen zeigen, durch Aneinanderpressen zu einem einzigen Stücke vereinigen kann.

Man nennt diese Eigenschaft des Eisens die Schweissbarkeit. Die Schweissbarkeit nimmt mit der Zunahme des Kohlenstoffgehaltes rascher ab als die Schmiedbarkeit und es kann daher ein nicht mehr schweissbares Eisen noch recht gut schmiedbar sein. Der Kohlenstoff ist im Eisen in zwei Zuständen enthalten, als chemisch gebundener und als mechanisch eingemengter Kohlenstoff, man nennt den letzteren auch graphitartigen Kohlenstoff. Im flüssigen Eisen ist auch der graphitartige Kohlenstoff gelöst, beim Erkalten scheidet er sich in um so höherem Grade aus, je mehr davon gelöst war und je langsamer man abkühlen liess. Von dem Verhältniss des chemisch gebundenen zu dem graphitartigen Kohlenstoff hängt dessen Farbe ab. Grössere Mengen von graphit-

artigem Kohlenstoff bedingen eine graue oder schwarze Farbe des Eisens. Davon rührt z. B. der Unterschied zwischen grauem und weissem Roheisen. Das graue Roheisen schmilzt rasch und ist geschmolzen dünnflüssig und wird deswegen zur Giesserei angewendet und Giesserei-Roheisen genannt, das weisse Roheisen hingegen ist dickflüssig und kann deshalb nicht zum Giessen, dagegen in ausgezeichneter Weise zur Herstellung von Stahl und Schmiedeeisen angewendet werden, so dass man letzteres auch als Frischerei-Roheisen bezeichnet, insoferne diese Umwandlung durch die sogenannten Frischprocesse bewirkt wird. Roheisensorten, in denen graues und weisses Roheisen gleichzeitig vorkommen, bezeichnet man als halbirtes Roheisen und je nach dem Verhältniss der beiden als stark oder schwach halbirtes Roheisen. In den gangbaren Eisensorten ist nicht bloß Kohlenstoff mit dem Eisen in Verbindung, sondern auch noch andere Elemente, welche jedes für sich die Eigenschaften der betreffenden Sorte wieder specifisch modificiren. Es sollen hier nur die wichtigsten derselben angeführt werden.

Silicium. Es findet sich im weissen Roheisen im Betrage von circa 1 Procent, im grauen Roheisen von 1 bis 2 Procent, kann aber im letzteren noch in beträchtlich höherem Masse vorkommen. Wenn der Gehalt daran nicht zu hoch ist, wird dadurch die Verwendbarkeit des Roheisens zu Giessereizwecken nicht beeinträchtigt. Schmiedeeisen wird

dadurch härter und spröder und soll der Gehalt daran nicht über 0·5 Procent steigen.

Mangan. Es befördert die Aufnahme des Kohlenstoffs in den gebundenen Zustand und kann durch dessen Einfluss ein Roheisen erhalten werden, welches den Maximalgehalt von gebundenem Kohlenstoff (circa 5 Procent) enthält und welches man seiner glänzenden Flächen wegen als Spiegeleisen bezeichnet. Dem schmiedbaren Eisen ertheilt es grössere Härte und liefert besonders harte Stahlsorten.

Schwefel. Er macht das Roheisen dickflüssiger und wenn über 0·5 Procent vorhanden, zu Giessereizwecken nicht mehr gut verwendbar. Noch schädlicher wirkt ein Schwefelgehalt des Schmiedeeisens, er ertheilt demselben die Eigenschaft der Rothbrüchigkeit, das heisst, wenn ein solches Eisen geschmiedet werden soll, reisst und berstet es bei Rothglut unter dem Hammer. Schon 0·01 Procent macht sich beim Schmiedeeisen bemerkbar, bei einem Gehalte von 0·04 Procent wird es schon unbrauchbar.

Phosphor erhöht die Härte und vermindert die Festigkeit bei allem kohlenstoffhaltigen Eisen. Das geschmolzene Roheisen wird durch einen Phosphorgehalt dünnflüssiger und besonders zu Kunst- und Geschirrguss tauglich, weil es die Formen sehr gut ausfüllt und die Details viel schärfer hervortreten lässt. Ein etwas grösserer Phosphorgehalt ertheilt dem Schmiedeeisen die Eigenschaft der Kaltbrüchigkeit; ein solches Eisen ist im glühenden Zustande oft noch

gut zu bearbeiten, während es im kalten Zustande bricht. Ein Phosphorgehalt von schmiedbarem Eisen (Schmiedeeisen und Stahl) ist um so schädlicher, je höher der Kohlenstoffgehalt des Eisens steigt und aus diesem Grunde wirkt er besonders schädlich beim Stahl, den schon einige Hundertel Procente für viele Zwecke unbrauchbar machen.

Alle diese Stoffe, Kohlenstoff, Silicium, Mangan, Schwefel und Phosphor, sind in dem Roheisen in grösserer oder geringerer Menge enthalten, die letzteren je nach der Beschaffenheit der Erze und der Art des Hochofenbetriebes, während der Kohlenstoff aus den bei der Reduction der Eisenerze im Hochofen angewendeten Holzkohlen oder Cokskohlen stammt. Das Roheisen ist nun nach dem jetzigen Stande der Eisensfabrication das Ausgangsproduct, aus welchem alle anderen Eisenarten hergestellt werden. Soll aus dem Roheisen Stahl hergestellt werden, so müssen wir demselben nach dem früher Angeführten vor Allem den Kohlenstoff bis zu einem gewissen Betrage entziehen und dabei gleichzeitig die anderen im Roheisen enthaltenen, die Qualität des Endproductes schädigenden Stoffe wegschaffen. Will man Schmiedeeisen erhalten, so muss der Kohlenstoff noch in höherem Masse entfernt werden als bei der Stahlbereitung.

Diese Ueberführung des Roheisens in Stahl oder Schmiedeeisen wird nun ermöglicht durch das Verhalten der im Roheisen enthaltenen Stoffe zum Sauer-

stoff bei höheren Temperaturgraden. Lassen wir z. B. Luft auf geschmolzenes Roheisen einwirken, so tritt eine Oxydation des Eisens und der in ihm enthaltenen Stoffe ein, und zwar ist der Verlauf derselben der Hauptsache nach ein solcher, dass zuerst das Silicium und Mangan und dann der Kohlenstoff oxydirt werden. Gleichzeitig wird auch ein Theil des Eisens zu Oxydul und Oxyd verbrannt und diese bilden, zugleich mit dem entstandenen Manganoxydul, mit der durch Verbrennung des Siliciums entstandenen Kieselsäure schmelzbare Silicate, welche als Schlacke austreten. Je weiter die Oxydation fortgesetzt wird, um so ärmer wird das Eisen an Silicium und Mangan und dann auch an Kohlenstoff, so dass man es hierdurch in der Hand hat, die Entkohlung entweder nur bis zur Stahl- oder Schmiedeeisenbildung fortzusetzen. Der Schwefel wird bei dieser Oxydation um so vollständiger abgeschieden, je längere Zeit der Oxydationsprocess dauert, der Phosphor nur dann, wenn man dafür sorgt, dass die sich bildende Schlacke entsprechend kieselsäurearm oder was dasselbe sagt, entsprechend basisch ist. Zur Oxydation des Kohlenstoffes im Roheisen ist es nicht einmal nothwendig, das Roheisen zu schmelzen, es wird demselben schon Kohlenstoff entzogen, wenn man Roheisen mit Sauerstoff abgebenden Körpern, z. B. Eisenoxyd, umgibt und bis zur Rothglut erhitzt, man erhält auf diese Weise z. B. den sogenannten Glühstahl. Ein kohlenstoffarmes Eisen kann in ein kohlenstoffreicheres um-

gewandelt werden, wenn man dasselbe in gepulverte Holzkohle bettet und auf eine die Rothglühhitze kaum erreichende Temperatur erhitzt. Man nennt diesen Vorgang, bei welchem von dem Eisen Kohlenstoff aufgenommen wird, Cementation. Schmiedeeisen auf diese Weise behandelt, liefert den sogenannten Cementstahl.

Das Eisen wird aus den Eisenerzen, als welche nach dem früher Erwähnten nur Sauerstoffverbindungen Anwendung finden, dadurch gewonnen, dass man diese mit Kohle erhitzt. Die Kohle entzieht dem Eisen den Sauerstoff und bildet metallisches Eisen, während Verbindungen des Kohlenstoffes mit Sauerstoff, Kohlenoxyd und Kohlensäuregas entweichen.

Führt man diese Reduction bei einer verhältnissmässig niederen Temperatur durch, so nimmt das Eisen nur wenig Kohlenstoff auf und ebenso gehen von Silicium, Schwefel, Phosphor etc. nur geringe Mengen in dasselbe über, man erhält daher dann ein wenig gekohltes, verhältnissmässig reines, aber schwer schmelzbares Eisen und man gewinnt es daher hierbei auch nicht geschmolzen, sondern in teigigen Stücken, welche unter den Hammer gebracht werden, um die der Eisenmasse eingemengte flüssige Schlacke herauszuquetschen. Das Product hat je nach der Art der Behandlung die Eigenschaften des Stahls oder des Schmiedeeisens.

Führt man hingegen die Reduction bei hoher Temperatur durch, so nimmt das metallische Eisen

viel Kohlenstoff auf und geht hierdurch in leicht schmelzbares Eisen über, so dass es bei diesem Prozesse im geschmolzenen, flüssigen Zustande erhalten wird. Gleichzeitig wird in Folge der hohen Temperatur viel Kieselsäure reducirt und das entstandene Silicium verbindet sich ebenfalls mit dem Eisen; ebenso verhält es sich mit dem als phosphorsaure Verbindung in dem Eisen enthaltenen Phosphor, der nahezu seiner ganzen Menge nach in das Eisen übergeführt wird. Auch Schwefel, Mangan und andere Elemente gehen aus den Erzen je nach dem Betrieb in höherem oder geringerem Masse in das Eisen über und man erhält also hierbei jenes Product, welches wir als Roheisen kennen gelernt haben. Schmiedeeisen und Stahl können aus diesem dann erst durch Oxydationsprocesse, die sogenannten Frischprocesse, hergestellt werden.

Die erste dieser Methoden bezeichnet man als Rennarbeit, die letztere als Hochofenprocess. Obwohl bei den Rennarbeiten das gewünschte Product direct erhalten wird, so werden diese doch nur mehr in uncultivirten Ländern, in Indien, im Innern von Afrika etc. durchgeführt. Der Hochofenprocess hat eben den Vorzug, dass er, weil dabei das Eisen in geschmolzenem Zustande erhalten wird, sich zu einem continuirlichen gestalten lässt und daher viel weniger kostspielig zu stehen kommt und soll daher auch nur dieser hier besprochen werden.

Der Hochofenprocess besteht darin, dass in einem hohen, schachtförmigen Ofen abwechselnde

Schichten von Erz und Holz- oder Cokskohlen aufgegeben werden. Den Erzen wird hierbei theils durch

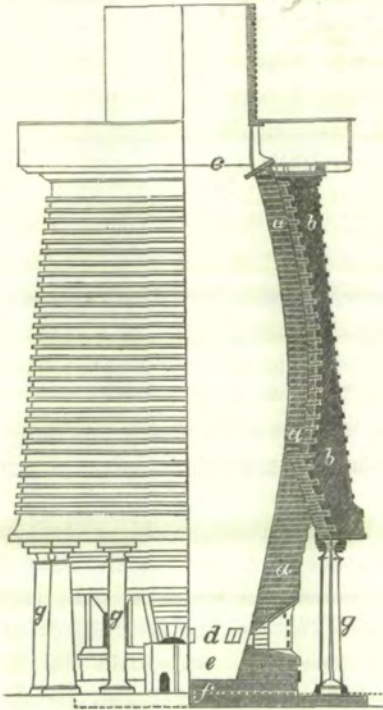


Fig. 1.

unmittelbaren Contact mit der Kohle, vorzüglich aber durch das bei der Verbrennung der Kohle in den unteren Ofenpartien gebildete Kohlenoxydgas der Sauerstoff entzogen und metallisches Eisen ge-

bildet. Die Kohlen wirken daher hier einerseits als Brennmaterial, um die zur Reduction der Erze und zum Schmelzen des gebildeten Eisens nothwendige hohe Temperatur zu liefern, andererseits fungiren sie als reducirende Substanz selbst. Um die für diese Zwecke nöthige lebhaftere Verbrennung der Kohlen zu unterhalten, muss in den unteren Theilen des Ofens mittelst eines Gebläses Luft eingepresst werden. Die wichtigsten Bestandtheile eines Hochofens neuerer Form ergeben sich aus der beigefügten Zeichnung (Fig. 1), deren eine Hälfte den Ofen in einem verticalen Durchschnitte, deren andere Hälfte denselben in der Vertical-Ansicht darstellt. *aa* ist die aus feuerfestem Materiale bestehende Ausmauerung des Kernschachtes, *bb* der den Kernschacht umgebende und aus gewöhnlichen Ziegeln hergestellte Rauchschaft, der hier von eisernen Säulen *g* getragen wird, *c* die sogenannte Gicht, wo Erze und Kohlen aufgegeben werden, *d* die zur Windeinführung nöthigen Oeffnungen (Formen), in welche die Düsen des Gebläses einmünden, *e* das Ofengestell, in welchem sich unterhalb der Formebene die Oeffnung für den Schlackenabfluss und unmittelbar über dem Bodenstein die Stichöffnung zum Abstechen des Eisens befindet. Der Vorgang bei dem im Betrieb befindlichen Ofen ist nun folgender. Indem in den unteren Theilen des Ofens über der Windeinführung fortwährend Kohle verbrennt und geschmolzenes Eisen und Schlacken auf den Boden des Schachtofens herabtropfen, rücken die an der

Gicht aufgegebenen Materialien immer tiefer und tiefer herunter und kommen dabei zunächst in jene Region, in welcher die Temperatur so hoch ist, dass eine Reduction der Eisenerze zu metallischem Eisen eintritt. Bei dem weiteren Herunterrücken nimmt das Eisen zumeist aus der Kohle der Beschickung und nur sehr wenig aus dem Kohlenoxydgas Kohlenstoff auf und wird hierdurch zu leicht schmelzbarem Eisen, so dass es in den unteren heissen Theilen des Hochofens zu schmelzen beginnt, in das Gestell des Ofens heruntertropft und sich dort in immer grösserer Menge ansammelt. Es wird dabei sogleich auffallen, dass, indem das geschmolzene, hochgekohlte Eisen in Tropfen vor dem Winde heruntergeht und indem ferner der Wind auch noch auf die Oberfläche des schon im Gestell befindlichen geschmolzenen Roheisens einwirkt, das Eisen wieder entkohlt, in schwer schmelzbares Eisen umgewandelt werden und daher innerhalb des Gestelles erstarren müsste, wenn nicht durch die Bildung der Schlacke diesem Entkohlungsprocesse vorgebeugt würde. Die Schlacke ist ein Gemenge von Thonerde und Kalksilicaten, welche gleichzeitig mit dem hochgekohlten Eisen schmilzt, die einzelnen Eisentropfen bei dem Vorübergang vor dem Winde gegen Entkohlung schützt und, in dem Gestell angelangt, vermöge ihres geringeren specifischen Gewichtes sich über dem geschmolzenen Eisen in flüssigem Zustande ansammelt und eine weitere Einwirkung des Windes auf das gekohlte Eisen hindert. Die schlackenbildenden

Bestandtheile sind in den Eisenerzen enthalten, und insoferne sie sich in den verschiedenen Erzen in wechselnden Mengen finden, werden diese miteinander entsprechend gemischt (Gattirung), und wenn auch hierdurch nicht die nothwendige Menge oder entsprechende Zusammensetzung der Schlacke erzielt werden kann, werden noch eigene passende Zuschläge, wie z. B. Kalkstein, Sandstein, Thonschiefer etc. gegeben (Möllerung).

Im Verlaufe des Processes sammelt sich Eisen und darüber Schlacke, beide in geschmolzenem Zustande, im Ofengestell immer mehr an, bis endlich die Schlacke bis zur Höhe des Schlackenabflusses gelangt und durch denselben abfließt. Wenn endlich auch das Eisen bis an das Niveau des Schlackenabflusses gestiegen ist, wird das Gebläse eingestellt, mittelst einer Eisenstange die Stichöffnung geöffnet, und das durch dieselbe ausfließende Roheisen in die aus Sand oder Gusseisen hergestellten Formen eingeleitet. Nachdem das Eisen abgeflossen ist, lässt man das Gebläse sofort wieder an und sowie das Stichloch klar geblasen ist, wird es mit Gestübbe, einem Gemenge von Thon mit Kohlenklein, wieder verschlossen, so dass der Process im Hochofen continuirlich fortgeführt werden kann.

Nur ungefähr ein Fünftel des producirten Roheisens wird unmittelbar, und zwar zu Giessereizwecken verwendet. Die Hauptmasse wird zu Stahl und Schmiedeeisen verarbeitet. Wie schon früher angeführt wurde,

beruht das hierfür angewendete Verfahren auf einem Oxydationsprocesse, bei welchem einerseits die Verunreinigungen des Roheisens abgeschieden werden, andererseits der Kohlenstoffgehalt desselben in geringerem oder höherem Grade abgeschieden wird, wodurch man dann entweder Stahl oder Schmiedeeisen erhält. Nach der Art wie dieser als Frischprocess bezeichnete Oxydationsprocess durchgeführt wird,

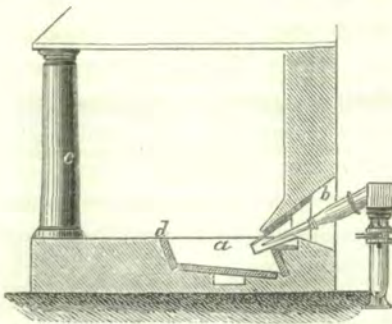


Fig. 2.

unterscheidet man : 1. den Herdfrischprocess, 2. das Flammofenfrischen oder den Puddlingprocess, 3. das Windfrischen oder den Bessemerprocess.

Die Vorrichtungen zur Durchführung des Herdfrischprocesses sind sehr einfache, wie dies aus der beigefügten Zeichnung (Fig. 2) eines offenen Frischfeuers ersichtlich ist. Der Herd besteht hier aus einer kastenförmigen Vertiefung *a* im Mauerwerk, welche mit Gusseisenplatten ausgelegt ist. In einer entsprechenden Oeffnung des Mauerwerkes *b* befindet sich die

Form, in welche die Düse des sehr einfachen Gebläses eingeführt wird. Die Säule *c* stützt einen Rauchmantel, der die Verbrennungsgase in die Esse abführt. Nachdem der Herd mit Holzkohlen ausgefüllt und diese mittelst des Gebläses zur lebhaften Verbrennung gebracht worden sind, wird das Roheisen von *d* aus in das Feuer geschoben und vor dem Wind niedergeschmolzen. Die Holzkohlen werden dann aus dem Feuer geräumt, das Eisen auf die wieder frisch eingefüllten Holzkohlen gehoben und neuerdings niedergeschmolzen. Dieser Vorgang findet je nach der Beschaffenheit des gewonnenen Rohmaterials und je nach der zu erzeugenden Eisengattung ein- oder zweimal statt. Der erhaltene teigige Eisenklumpen wird dann aus dem Feuer gehoben und unter den Hammer gebracht, um die eingeschlossenen Schlacken-theilchen auszupressen. — Wie ersichtlich, können hier in einer Operation nur verhältnissmässig geringe Massen verarbeitet werden, der Process fordert ferner Holzkohlen und besonders geschickte und gewissenhafte Arbeiter; aus diesen Gründen ist der Herdfrischprocess durch die anderen Frischmethoden mehr und mehr verdrängt worden und hat sich beinahe nur mehr in holzreichen, vom Verkehr abgeschlossenen Gegenden erhalten.

Der Puddlingprocess wird in einem Flammofen durchgeführt, dessen Hauptbestandtheile in der beistehenden Zeichnung (Fig. 3) wiedergegeben sind. Der Herd *a* ist hier aus eisernen Platten gebildet, die von

unten durch Luft, an den hohlen Seiten durch Luft oder Wasser gekühlt werden. Zum Schutze der Eisenplatten wird Schlacke auf dem Herde eingeschmolzen und durch Bearbeiten mit eisernen Instrumenten der sogenannte Schlackenherd in der in der Zeichnung dargestellten Form gebildet. *b* ist der Rost, auf dem

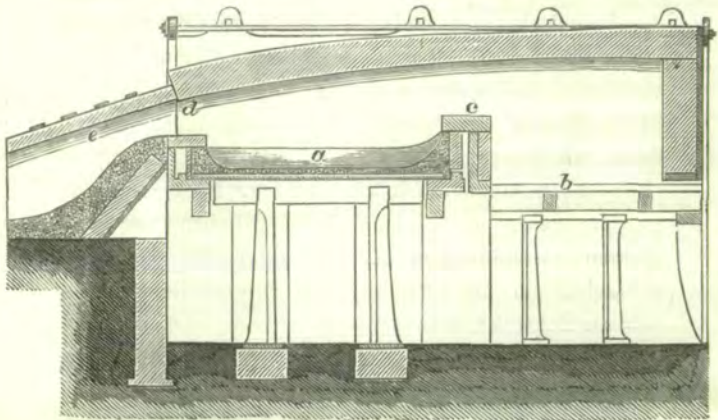


Fig. 3.

gefeuert wird, *c* und *d* sind feuerfeste Ziegel, welche die Herdeisen vor der unmittelbaren Einwirkung der Flamme schützen. Durch *e* ziehen die Feuergase nach dem Schornstein und fließt dort auch überschüssige Schlacke ab. — Zu Beginn des Processes wird das Eisen in den Herd eingesetzt und auf demselben niedergeschmolzen, wobei schon eine Oxydation des Kohlenstoffes eintritt. Da die hierbei gebildete

Schlacke das geschmolzene Eisen bedeckt und durch Abhaltung des Luftzutrittes eine weitere Oxydationswirkung hindern würde, wird nun fortwährend mit eisernen Kratzen umgerührt (gepuddelt), wodurch nicht bloß das Eisen mit Luft in Berührung gebracht, sondern auch gebildete Schlacke, welche sauerstoffabgebende Eisenverbindungen enthält, mit dem Eisen durchgemischt und dadurch die Oxydationswirkung befördert wird. In dem Masse, als das Eisen kohlenstoffärmer und daher schwerer schmelzbar geworden ist, beginnt es in kleinen Partien zu erstarren, welche dann mit eisernem Geräthe zu grösseren Klumpen (Luppen) zusammengedrückt werden. Diese Luppen werden dann mit Zangen herausgehoben und auf kleinen zweiräderigen Karren unter den Hammer gebracht, um die zwischen den Eisentheilchen enthaltene Schlacke auszupressen.

Dem Bessemerprocess oder dem Windfrischen liegt dasselbe Princip zu Grunde, wie den anderen Frischmethoden, er unterscheidet sich aber in der Durchführung dadurch wesentlich von ihnen, dass die Luft durch das geschmolzene Roheisen mittelst eines kräftigen Gebläses in vielen kleinen Strahlen hindurchgepresst wird und dass hier zur Durchführung des Entkohlungsprocesses kein anderes Brennmaterial nothwendig ist. Es wird nämlich hier die bei der Oxydation auftretende Wärmemenge in so kurzer Zeit entwickelt und so gut zusammengehalten, dass dieselbe nicht bloß hinreicht, den Process selbst

zu Ende zu führen, sondern auch noch das ganz entkohlte und daher höchst schwer schmelzbare Eisen im geschmolzenen Zustande zu erhalten. Die Hauptmasse der hierbei entwickelten Wärmemenge wird durch die Verbrennung des Siliciums entwickelt, weshalb man für diesen Process besonders siliciumreiche Roheisensorten sucht.

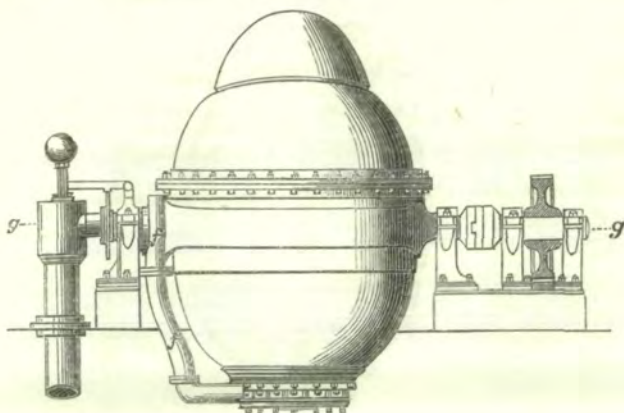


Fig. 4.

Der für das Bessemern angewendete Apparat ist aus den beigefügten zwei Zeichnungen (Fig. 4 u. 5) ersichtlich. Das Gefäß *a* hat eine retortenähnliche Gestalt und wird als Birne oder Converter bezeichnet. Es ist aus Eisenblech *b* hergestellt, von innen mit feuerfestem Material *c* ausgefüttert. In dem Bodenstück befinden sich ungefähr sieben Formen *d* aus feuerfestem Thon, deren jede wieder sieben circa 1 Centimeter weite

cylindrische Canäle besitzt, die nach beiden Seiten hin offen sind. An dem Boden des Converters ist ein kleiner Windkasten *ee* angebracht, in welchen das Windzuleitungsrohr *ff* einmündet. Die Birne ist um eine horizontale Achse *gg* drehbar, so dass man sie in jede beliebig geneigte Stellung bringen kann. Da die Windzuführung in der hohlen Achse selbst liegt und

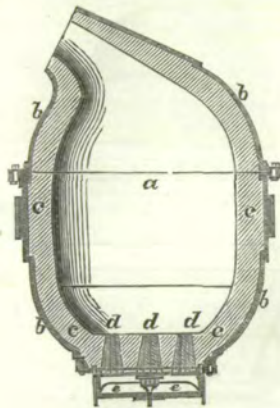


Fig. 5.

das Rohr *ff* die Bewegungen der Retorte mitmacht, kann in jeder Stellung derselben Luft eingepresst werden.

Den Bessemerprocess wendet man nur zur Erzeugung von, wenn auch oft sehr weichen, Stahlsorten an; man kann dabei entweder nach der schwedischen oder nach der englischen Methode arbeiten. Bei der schwedischen Methode unterbricht man den Process

(durch Einstellung des Windes) zu einem Zeitpunkt, in welchem der Kohlenstoffgehalt des Eisens bis zu dem gewünschten Grade entfernt wurde. Bei der englischen Methode geht man mit der Oxydation bis zur gänzlichen Entkohlung des Eisens und setzt dann eine der Grösse der Charge entsprechende Menge von Spiegeleisen hinzu, wodurch der Kohlenstoffgehalt des in dem Converter enthaltenen Eisens wieder auf die verlangte Höhe gebracht wird. Als Anhaltspunkte bei beiden Methoden dienen das Aussehen der Flamme, wobei auch oft der Spectralapparat zu Hilfe genommen wird, und Proben der gebildeten Schlacke; bei der schwedischen Methode werden auch Proben des in dem Converter enthaltenen Eisens herausgeschöpft und auf ihre Beschaffenheit untersucht.

Es soll hier nur die Durchführung einer Charge nach der englischen Methode (mit Rückkohlung) beschrieben werden. — Das Roheisen wird entweder direct vom Hochofen in geschmolzenem Zustande zum Converter gebracht, oder es wird festes Roheisen entweder in Cupolöfen oder Flammöfen eingeschmolzen. Mittelst einer Rinne aus Eisenblech wird es in den entsprechend geneigten Converter einlaufen gelassen und nun die Birne langsam um ihre Achse in die verticale, in der Zeichnung dargestellte Lage gedreht. Bei dieser Drehung lässt man auch schon das Gebläse an, so dass, bevor noch das geschmolzene Eisen mit dem Bodenstück in Berührung kommt,

der Wind in das Innere der Retorte eintritt. Es beginnt damit die oxydirende Einwirkung des Sauerstoffes der Luft auf das Eisen und seine Bestandtheile.

Es entwickelt sich anfangs nur eine von innen erleuchtete Flamme, die dann immer heller wird, während sich dem Gasstrom immer mehr Funken von verbrennendem Eisen und glühender Schlacke beimischen, bis endlich ganze Garben von Eisen und Schlacke ausgeworfen werden und die Flamme beinahe weiss wird und stossweise und unruhig flackernd aus dem Halse des Converters austritt. Nachdem die Flamme ihren höchsten Glanz erreicht hat, wird sie wieder ruhiger, die Auswürfe werden seltener, die Flamme dann wieder mehr blau und violett und erscheint dann plötzlich wieder als ein nur von innen erleuchteter Gasstrom.

Nun wird die Birne wieder in geneigte Stellung gebracht, das Gebläse eingestellt und das geschmolzene Spiegeleisen einlaufen gelassen. Die Birne wird dann in eine abwärts geneigte Stellung gekippt und die ganze Charge in die mit feuerfestem Material ausgefütterte Giesspfanne geleitet, aus welcher man dann durch Heben des in eine Oeffnung des Bodens reichenden Giesspfropfens das geschmolzene Product in die eisernen Giessformen einlaufen lässt. Der Converter wird nach seiner Entleerung noch von der anhängenden Schlacke gereinigt und ist nun wieder für eine neue Charge bereit.

Der Frischprocess, nach der Methode von Bessemer, ist nicht nur für den Laien einer der schönsten technischen Prozesse, sondern auch in theoretischer Beziehung von höchstem Interesse und hat seiner Vortheile wegen die anderen Frischmethoden mehr und mehr verdrängt. Man kann hier die grössten Roheisenquantitäten in der kürzesten Zeit verarbeiten (in einer halbstündigen Charge bis zu 200 Centner) und die beim Process entwickelte Wärme wird hier am vollständigsten ausgenützt. Man erhält ferner dabei das Endproduct in geschmolzenem Zustande (Flussstahl) und erzielt dadurch eine Homogenität des Materials, wie sie bei den früher angewendeten Frischprocessen nicht erreicht werden konnte. Dagegen hatte das Bessemern bis in die neueste Zeit den Mangel, dass, während bei dem Puddlingsprocesse der im Roheisen enthaltene Phosphor in beträchtlichem Masse abgeschieden werden kann, hier derselbe beinahe vollständig in das Schlussproduct übergeht, so dass nur einigermassen phosphorreiche Roh-eisensorten hier nicht verwendet werden konnten. Durch die neue Methode von Thomas - Gilchrist wurde aber auch dieser Mangel behoben. Diese Modification des Bessemerprocesses besteht darin, dass man die Bildung einer Schlacke herbeiführt, welche so wenig Kieselsäure enthält, oder, was dasselbe besagt, so basisch ist, dass dabei auch der Phosphor als Phosphorsäure in die Schlacke übergeführt wird. Die Mittel hiefür sind einerseits die Einführung von

Kalk in den Converter, andererseits die Ausmauerung desselben mit einem kieselsäurearmen (basischen) Materiale. Der Thomas-Gilchrist-Process hat daher den grossen Vorzug, dass nun auch sehr phosphorsäurereiche Eisenerze zur Roheisenerzeugung benützt und daraus durch den modificirten Bessemerprocess ausgezeichnete Flusstahlsorten gewonnen werden können, so dass viele Eisenerzlager, die früher wegen ihres Phosphorsäuregehaltes kaum brauchbar waren, jetzt ein gesuchtes Rohmateriale liefern. Ausserdem ist die Schlacke, welche beim Verfahren nach Thomas-Gilchrist fällt, so reich an Phosphorsäure, dass ihre Verarbeitung auf phosphorsäurereiche Düngermaterialien zur Förderung der Landwirthschaft in nächster Aussicht steht. Wenn daher auch jenen Districten, die bisher über phosphorfreie Eisenerze verfügten, hierdurch eine gefährliche Concurrenz erwachsen ist, so ist doch für die Allgemeinheit ein wesentlicher Fortschritt angebahnt, zu welchem Theorie und Praxis in gleicher Weise beigetragen haben.
