

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Die Metallurgie

Gewinnung und Verarbeitung der Metalle und ihrer Legierungen, in praktischer und theoretischer, besonders chemischer Beziehung

Ausführliches Handbuch der Eisenhüttenkunde - Gewinnung des Roheisens und Darstellung des schmiedbaren Eisens in praktischer und theoretischer Beziehung

Percy, John

Braunschweig, 1874

Zweiter Abschnitt. Das Stahlkohlen

ZWEITER ABSCHNITT.

DAS STAHLKOHLEN.

Kohlungs- und Reductions-Arbeiten.

Durch rechtzeitige Unterbrechung der Entkohlung kann vermittelst irgend eines der Frischprocesse ein schmiedbares Eisen von jedem beliebigen Kohlenstoffgehalte erzielt werden; aber es ist um so schwieriger, einen vorher bestimmten Kohlungsgrad festzuhalten, je schneller der Oxydationsprocess verläuft und je weniger äussere Kennzeichen zur Beurtheilung des jeweiligen Standes vorliegen. Daher kommt es, dass sowohl beim Herdfrischen, wo die Arbeit zwar langsam verläuft, aber die Beschaffenheit des Productes nur nach dem Gefühle beurtheilt werden kann, als auch beim Bessemern, wo sich ein schneller Verlauf mit sehr unvollkommenen Mitteln zur Erkennung des Kohlungsgrades verbindet, die directe Erzeugung des Stahls durch Entkohlung nur schwierig gelingt und eine lange Uebung an gleichartigem Materiale voraussetzt. Viel weniger trifft dies beim Puddeln zu, wo sich bei hinreichend langsamer Arbeit eine Menge äusserer Kennzeichen finden, die schon bei verhältnissmässig kurzer Uebung den Arbeiter befähigen, ein Urtheil über die Beschaffenheit des Products zu fällen und den Process darnach zu leiten. Hier stellt sich indessen eine andere Schwierigkeit in den Weg, welche darin beruht, den entsprechenden Kohlenstoffgehalt bei den zur Ueberführung des Eisens in den Zustand einer Handelswaare erforderlichen Nacharbeiten zu bewahren. Ausserdem zeigt sich, wie beim Herdfrischen, so auch beim Puddeln noch der Uebelstand, dass es bei Erzeugung kohlenstoffreichen Eisens bei weitem nicht so gut gelingt, schädliche Bestandtheile, namentlich Phosphor und Schwefel, abzuscheiden, als wenn die Entkohlung bis nahezu zur Vollständigkeit fortgeführt wird.

Diese Umstände führten schon sehr früh vielfach dazu, auch dann wenn ein kohlenstoffreiches Eisen gewünscht wurde, zuvörderst ein kohlenstoffarmes Product herzustellen, und diesem den erforderlichen Kohlenstoffgehalt von neuem zuzufügen. Obwohl nun auf diese Weise aus einem ganz kohlenstoffarmen Eisen ein Eisen von jedem beliebigen höheren Kohlenstoffgehalte erhalten werden kann, so pfllegt man

dieses Verfahren der Regel nach doch nur für die Erzeugung von Stahl anzuwenden und daher erhalten die sämtlichen hierher gehörigen Arbeiten den gemeinschaftlichen Namen des Stahlkohlens.

Die Materialien, welche zum Stahlkohlen angewendet werden, müssen dem Zwecke des Processes entsprechend stets Kohlenstoff besitzen, den sie an das Eisen abzugeben im Stande sind.

Nun ist aber das ganz oder beinahe entkohlte Eisen oft schon sauerstoffhaltig oder wie man annehmen muss, mehr oder weniger innig mit Eisenoxydoxydul gemengt ¹⁾. Der Regel nach verbindet sich daher mit dem Zwecke einer höheren Kohlung auch der zweite, diesen Sauerstoffgehalt zu entfernen. Zuweilen tritt indessen der letztgenannte Zweck in den Vordergrund und statt eines hochgekohlten Productes erhält man dann ein solches mit sehr geringem oder wenigstens nur unwesentlich erhöhtem Kohlenstoffgehalte.

Für diese letztere Art der Arbeiten passt der Ausdruck des Stahlkohlens also nicht mehr und doch lassen sie sich am folgerichtigsten im Anschluss an die eigentlichen Kohlungsarbeiten erklären. Sie sollen daher in diesem Capitel unter dem Namen der Reductionsarbeiten gleichfalls behandelt werden.

Aufnahme von Kohlenstoff in schmiedbares Eisen.

Schmiedbares Eisen nimmt Kohlenstoff bei der Berührung mit kohlenstoffhaltigen Körpern bereits bei sehr niedrigen Temperaturen auf, welche Glühhitze noch nicht zu erreichen brauchen. Die Kohlung geht um so schneller vor sich, je höher die Temperatur, je inniger die Berührung und je länger die Zeitdauer der Einwirkung ist. Durch Erfüllung einer dieser Bedingungen in hohem Grade ist man im Stande eine oder beide andere Bedingungen zu vernachlässigen, um einen bestimmten Kohlungsgrad zu erreichen.

Wird ein Eisenoxyd durch Kohlenstoff oder irgend eine kohlenstoffhaltige Substanz reducirt, so wird niemals reines Eisen, sondern stets kohlenstoffhaltiges Eisen erzeugt ²⁾. Je höher die Temperatur ist, welche bei der Reduction angewendet wird, um so höher steigt der Kohlenstoffgehalt des Eisens.

Mit einer gleichzeitigen Reduction aus Oxyden verbunden findet die Bildung eines höchstgekohlten Eisens, d. h. des Roheisens, unter der Einwirkung aller drei Bedingungen in günstigsten Verhältnissen beim Hochofenprocess statt. Sinkt die Temperatur, so entsteht unter sonst gleichen Umständen Stahl oder Schmiedeseisen, wie bei den Rennarbeiten.

¹⁾ Vergl. S. 370 u. a. a. O. — ²⁾ Vergl. Abtheil. I, S. 130.

Bei beiden Arbeiten spielen Kohlenoxyd und fester Kohlenstoff (untergeordnet Cyan und zuweilen Kohlenwasserstoff) die gleichzeitige Rolle des Reductions- und Kohlungsmittels.

Das bereits reducirte und im compacten Zustande befindliche schmiedbare Eisen lässt sich leicht durch festen Kohlenstoff weiter kohlen. Bei einer die Schmelzhitze noch nicht erreichenden Temperatur durchläuft es unter Aufnahme des Kohlenstoffs an den Berührungspunkten und Weitergabe desselben an die inneren Theile der Stücke, alle Kohlungsstufen bis zum Roheisen; wird die Temperatur bis zum Schmelzpunkte erhöht, so geht die Kohlung sehr energisch von statten und es entsteht eine gleichmässig gekohlte Masse, deren Kohlenstoffgehalt ebenfalls von der zugesetzten Kohlenmenge abhängt und ebenfalls den des Roheisens erreichen kann, während eine Aufnahme von mehr Kohlenstoff nicht eintreten kann.

Wie auf das bei der Reduction der Oxyde erhaltene schwammförmige Eisen, wirken kohlenstoffhaltige Gase, namentlich Cyan, Kohlenwasserstoff und selbst Kohlenoxyd auch kohlend auf das durch Weiterverarbeitung erhaltene compacte oder geschmolzene Eisen.

Auch die meisten organischen Körper werden unter Abgabe ihres Kohlenstoffgehalts an das Eisen zersetzt.

Werden zwei Eisensorten von verschiedenem Kohlenstoffgehalte zusammengeschmolzen, so erhält man ein Product, welches den mittleren Kohlenstoffgehalt besitzt.

Einfluss der einzelnen kohlenden Substanzen auf das Eisen.

Fester Kohlenstoff. Fester Kohlenstoff im amorphen Zustande, in der Form der Holzkohle, Steinkohle u. s. w., aber auch im krystallisirten Zustande, z. B. als Diamant, wirkt kohlend auf festes Eisen bereits bei einer Temperatur ein, welche noch unterhalb der Rothglut liegt. Die Kohlung findet zwar um so energischer und schneller statt, je höher die Temperatur steigt, aber bei gleicher Temperatur ist die Kohlung um so stärker, je inniger die Berührung ist und je länger die Zeit der Erhitzung dauert. Der Kohlenstoff theilt sich, so lange keine Schmelzung stattfindet, dem Eisen allmählig von aussen nach innen mit und zwar so fortschreitend, dass die mehr nach aussen liegende Schicht reicher daran ist als die mehr nach innen liegende, was ein Beweis dafür ist, dass zu dieser Mittheilung des Kohlenstoffs (Molecularwanderung) eine gewisse Zeit erforderlich ist¹⁾. Obwohl die von dem Verfasser angestellten einschlägigen Versuche noch nicht abgeschlossen sind, darf doch mit ziemlicher Gewissheit angenommen werden, dass fester Kohlenstoff bei einer

¹⁾ Vergl. Abtheil. I, S. 130.

bestimmten Temperatur sich nur in ganz bestimmter Menge mit dem Eisen vereinigt und dass der Kohlenstoff so lange von aussen nach innen fortwandert, bis das Eisen ein der Temperatur entsprechendes Maass des Kohlenstoffgehalts angenommen hat. Werden gleichartige Stücke festen Schmiedeisens in Holzkohle gepackt und unter Abschluss der Luft auf eine ganz bestimmte niedrige Temperatur erhitzt, so beobachtet man, wenn man die Stücke in gewissen Zeitabständen wieder untersucht, anfangs ein Vorschreiten des Kohlenstoffs nach der Mitte zu und daher eine Reihenfolge von durchaus verschiedenen gekohlten Schichten, später aber eine immer stärker werdende äussere Schicht gleich gekohlten Eisens, welche schliesslich das ganze Stück erfüllt.

Wird z. B. Eisen von 0.1 Proc. Kohlenstoffgehalt bei einer Temperatur erhitzt, welche Kupferschmelzhitze nicht überschreitet, so scheint ein Product zu entstehen, welches nicht mehr als 1.9 Proc. Kohlenstoff besitzen kann. Einige Zeit nach Beginn des Processes zeigen die äusseren Theile 0.3 Proc. Kohlenstoff, der Kern noch immer 0.1 Proc. Allmählig steigt der Gehalt. Ist an der Rinde 1.9 Proc. erreicht, so findet keine höhere Kohlhung mehr statt, aber es kohlt sich das ganze Stück bis in den Kern hinein auf diesen Grad ¹⁾).

Steigert man die Temperatur höher, so beginnt auch in derselben Weise eine entsprechend höhere Kohlhung von aussen nach innen einzutreten.

Schliesslich gelangt man zu einer Temperatur, bei welcher sich der Kohlungsgrad des Roheisens erhalten lässt. Dann aber wird auch der Schmelzpunkt des Productes, welcher naturgemäss mit der Aufnahme von Kohlenstoff sinkt, erreicht und es treten wesentlich veränderte Verhältnisse ein.

Schon vor diesem Zeitpunkte zeigt sich ein mit der Temperatur zunehmender Theil des Kohlenstoffs in der Form des Grafits.

Sobald Schmelzung eintritt löst sich soviel Kohlenstoff im Eisen als dem Kohlungsgrade des Roheisens, welches sich bei der herrschenden Temperatur bilden kann, entspricht. Beim Erstarren des Eisens scheidet sich ein Theil als Grafit aus, so dass ein Unterschied gegen die Vorgänge im Hochofen nicht stattfindet, welche eintreten, sobald das durch Kohlenoxyd reducirte Eisen sich in der Berührung mit Kohlenstoff bis zur Stufe des Roheisens kohlt und damit auch noch nach begonnener Schmelzung bis zur Maximalgrenze des der erzeugten Roheisenart zukommenden Kohlungsgrades fortfährt.

Ein fein vertheilter amorpher Kohlenstoff, wie er sich in der Holzkohle oder in verkohlten organischen Stoffen, z. B. Zucker, befindet, wirkt

¹⁾ Die Schwierigkeit solcher Versuchsreihen liegt hauptsächlich in dem Mangel geeigneter Wärmemesser.

am schnellsten kohlend ein, schwieriger der dichtere Kohlenstoff der Steinkohle oder des Koks, am schwierigsten Grafit.

Kohlenoxyd. Das durch Kohlenoxyd aus Eisenoxyd reducirte Metall ist stets kohlenstoffhaltig. Dies ist ein Beweis dafür, dass Kohlenoxyd auf metallisches Eisen kohlend wirkt. Die Kohlhung kann nur durch theilweise Zersetzung des Kohlenoxydes in Kohlenstoff und Kohlensäure ($2\text{CO} = \text{C} + \text{CO}_2$) geschehen. Der Nachweis hierfür scheint zuerst 1851 von Stammer geführt zu sein ¹⁾. Margueritte ²⁾ bestätigte die Untersuchungen, und ebenso Percy, welcher allerdings fand, dass bei sechsständiger Rothglut die Einwirkung des Kohlenoxydes auf einen Streifen Eisens nur sehr gering war. Wenn dem entgegen Gruner behauptet, dass reines und trocknes Kohlenoxyd auf oxydfreies Eisen bei 300 bis 400° C. keinen kohlendenden Einfluss ausüben würde ³⁾, so bleibt er den Beweis durch Experimente schuldig, welche die Fehlerhaftigkeit früherer Versuche ergeben müssten. Dass die kohlende Einwirkung des Kohlenoxydes sich nur auf verhältnissmässig niedrige Temperaturen beschränken muss, ergibt sich aus der Thatsache, dass Kohlensäure in höheren Temperaturen durch metallisches Eisen unter Oxydation desselben und Bildung von Kohlenoxyd zerlegt wird. Beide Reactionen können aber unmöglich neben einander bestehen. Die Einwirkung des Kohlenoxydes scheint beim Schmelzpunkte des Eisens völlig aufzuhören.

Bei welcher Temperatur die Zerlegung des Kohlenoxydes aufhört und die Wirkung der Kohlensäure beginnt, ist noch nicht festgestellt. Vielleicht sind die Mengenverhältnisse nicht minder maassgebend als die Temperatur, so dass bei überwiegender Menge von Kohlensäure eine Oxydation, bei überwiegender Menge von Kohlenoxyd eine Kohlhung des Eisens eintritt. Ist letzteres der Fall, so müsste sich unter sonst gleichen Umständen das Verhältniss umkehren können, sobald eine der Gasarten in hinreichender Menge gebildet ist, oder vielmehr ein Gleichgewichtszustand eintreten, in welchem keine weitere Reaction eintritt.

Lothian Bell ⁴⁾ fand bezüglich des Verhaltens von Kohlensäure oder Kohlenoxyd gegen metallisches Eisen durch Experimente folgende Resultate: „Durch Reduction in Wasserstoff erhaltener Eisenschwamm wird durch Kohlensäure oxydirt bei einer Temperatur, welche über 400° C. ⁵⁾ steigt, unter Bildung von Kohlenoxyd. Die Wirkung wird um so energischer, je höher die Temperatur steigt. Bei diesen Temperaturgraden kann also Kohlenoxyd nicht unter Kohlensäurebildung auf Eisen einwirken. Ist Kohlenoxyd mit Kohlensäure gemischt, so stellt sich bei gewissen Verhältnissen ein Gleichgewicht her, d. h. es findet keinerlei

¹⁾ Vergl. Abtheil. I, S. 133, und Dingl. polytechn. Journ. 121, S. 430. —

²⁾ Abtheil. I, S. 135. — ³⁾ Analytische Studien über den Hochofen von Gruner, deutsch von C. Steffen, S. 66. — ⁴⁾ The Journal of the Iron and Steel Institute, Vol. I, 1871, p. 85. — ⁵⁾ Ungefähr bei 407° C., dem Schmelzpunkte des Zinks.

Einwirkung auf Eisen statt. Die Mengenverhältnisse wechseln bei verschiedenen Temperaturen in folgender Weise⁴:

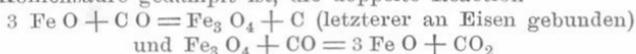
Bei directer	Rothglut	gehören auf 100 Vol. Kohlenoxyd	150 Vol. Kohlensäure
" voller	"	" " " " " " "	47 " "
" lichter	" (Weissglut annähernd)	"	11 " "

Es ist anzunehmen, dass mit dem Aufhören der Eisenoxydation auch die Kohlhung eintritt, und umgekehrt mit dem Beginn der Oxydation die Kohlhung fortfällt, indessen bedarf dieser Satz erst noch des experimentellen Beweises.

Wenn Gruner sich in seinen analytischen Studien auf Debray's Erfahrung beruft, dass eine Mischung von gleichen Volumen Kohlenoxyd und Kohlensäure ¹⁾Eisen in Oxydul umwandle, Eisenoxyd aber in Oxydul überführe, so ist zwar dagegen zuvörderst zu constatiren, dass niemals Oxydul, sondern stets ein Oxydoxydul von der Zusammensetzung Fe_6O_7 oder $\left. \begin{array}{l} \text{Fe}_6 \\ \text{Fe}_4 \end{array} \right\} \text{O}_7$ entsteht, im übrigen aber stimmt diese Beobachtung mit der Bell's überein. Die bei der Reduction eines Eisenoxydes durch Kohlenoxyd sich stets zeigende Abscheidung staubförmigen Kohlenstoffs schreibt Gruner dem Reste des Eisenoxydes zu, ohne welches, wie bereits erwähnt, er die Kohlenoxydzersetzung für unmöglich hält ²⁾. Gleichgültig indessen, ob durch weitere Versuche die Kohlhung des Eisens durch Kohlenoxyd allein nachgewiesen werden wird oder nicht, so steht fest, dass die weitere Kohlhung des Eisens oder die Absetzung eisenhaltigen Kohlenstaubs aufhört, sobald Rothglut eintritt.

Abweichend von der Einwirkung des festen Kohlenstoffs scheint sich bei der Zerlegung des Kohlenoxydes der Kohlenstoff nicht im amorphen Zustande mit dem Eisen direct zu verbinden, sondern grafitartig (wenn auch staubförmig und ohne erkennbare Krystallisation), d. h. mechanisch beigemengt auszuscheiden. Der Kohlenstoff findet sich der Regel nach bei der Einwirkung von Kohlenoxyd auf massiges (nicht pulverförmiges oder schwammartiges) Eisen als sammetschwarze Ausscheidung auf der Oberfläche, im Inneren scheint das Eisen erst durch Aufnahme dieser Ausscheidung auf die Weise, wie bei Benutzung festen Kohlenstoffs kohlenstoffreicher zu werden; daher findet sich bei so behandeltem compacten Eisen im Inneren keine derartige Ausscheidung, während die durch Kohlenoxyd zu schwammartigem Eisen reducirten Erze bis in den Kern und gerade dort besonders mit sammetartigem Kohlenstoff angefüllt zu sein pflegen.

¹⁾ $\text{CO}_2 : \text{CO} = 1:529 : 0:967 = 1:581$. Op. cit. S. 64. — ²⁾ Hiernach soll, so lange die reducirende Wirkung des Kohlenoxydes durch eine bestimmte Beimengung Kohlensäure gedämpft ist, die doppelte Reaction



neben einander bestehen.

Für die Aufnahme von festem Kohlenstoff in das Eisen wirkt eine Kohlenoxydgasatmosphäre besonders günstig ¹⁾, und man muss, um das neutrale Verhältniss zwischen Kohlenoxyd und Kohlensäure nicht zu erreichen, darauf bedacht sein, letztere fortzuführen oder zu absorbiren, z. B. durch gebrannten Kalk.

Kohlenwasserstoff. Kohlenwasserstoffe kohlen das Eisen mit grosser Leichtigkeit. Je höher der Kohlenstoffgehalt im Verhältniss zum Wasserstoffgehalte ist, um so leichter geht der erstere an das Eisen. Leuchtgas, Paraffindampf, Petroleumdampf geben nach kurzer Zeit in Berührung mit rothglühendem Schmiedeeisen Stahl ²⁾.

Eine Temperaturgrenze für ihre Einwirkung ist nicht bekannt und wird vielleicht auch nicht bestehen.

Durch die Zerlegung derselben in ihre Bestandtheile wird stets Wärme absorbirt, welchem Verluste keinerlei Ersatz gegenübersteht. Eine Einwirkung des freiwerdenden Wasserstoffs auf Verunreinigungen des Eisens, wie Phosphor und Schwefel, ist nicht vorhanden.

Cyan. Cyan zersetzt sich mit Eisen bei Temperaturen, welche noch weit unter Rothglut liegen, lebhaft unter Abgabe des Kohlenstoffs. Dass ein geringer Theil des Stickstoffs bei niedrigen Temperaturen hierbei gleichfalls in das Eisen übergehen könne, unterliegt keinem Zweifel. Die vielfachen Versuche über den Stickstoffgehalt der verschiedenen Eisenarten sind Abtheilung I, S. 64 u. f. ³⁾ zusammengestellt.

Das Resultat derselben ist, dass der Stickstoffgehalt bei denjenigen Eisenarten, welche bei ihrer Erzeugung einer hohen Temperatur unterlegen haben, stets nur ein sehr geringer ist, und man darf annehmen, dass derselbe stets als ein Rückstand absorbirter Gase (namentlich atmosphärischer Luft) anzusehen ist. Von Bedeutung für die physikalischen Eigenschaften ist der vorkommende Stickstoffgehalt niemals ⁴⁾.

Gerade wie Cyan wirken die bei der Erhitzung stickstoffhaltige Kohle liefernden thierischen Substanzen, wie Hörner, Klauen und dergleichen mehr.

Aehnlich wirkt auch Blutlaugensalz, welches beim Erhitzen in flüchtiges Cyankalium, Stickstoff und Kohleneisen übergeht. Das letztere theilt seinen Kohlenstoffgehalt mit dem übrigen Eisen.

Weit unwirksamer müssen dagegen die einfachen Cyanalkali- oder Cyandermetalle sein, welche sich bei Abwesenheit von Sauerstoff oder sauerstoffhaltigen Körpern ⁵⁾ in Rothglühhitze nicht zersetzen, sondern nur verflüchtigen.

¹⁾ Vergl. Abtheil. I, S. 136 u. f., sowie Gruner-Steffen, S. 61. — ²⁾ Vergl. Abtheil. I, S. 140, 16. u. 17. Experiment. — ³⁾ Vergl. auch Abtheil. I, S. 133. —

⁴⁾ Absichtlich erzeugtes Stickstoffeisen, Fe_2N , dargestellt durch Ueberleiten von Ammoniak über feingetheiltes metallisches Eisen oder Eisenchlorür, ist weiss, hart und spröde. — ⁵⁾ Welche beim Hochofenprocesse immer vorhanden sind, vergl. Abtheil. II, S. 258.

Ob und bei welcher sehr hohen Temperatur Cyanalkalien sowie Cyanbarium sich den Annahmen des Stahlfabrikanten Saunderson in Sheffield, sowie der französische Chemiker Fremy und Caron gemäss, bei hinreichender Berührung mit Eisen in Kohlenstoffeisen umsetzen, ist durchaus noch nicht genügend untersucht. Jedenfalls muss bei einer solchen Reaction angenommen werden, dass neben Stickstoff Kalium, Natrium, Barium etc. in Dampf- oder Metallform entsteht. In der That stimmen Vieler Angaben darin überein, dass man mit Cyankalium Eisen cementiren könne ¹⁾.

Kohleneisen. Schon wenn glühendes Schmiedeeisen in geschmolzenes Roheisen eingetaucht wird, erhält es eine kohlenstoffreichere härtere Rinde, ebenso, wenn weissglühendes Schmiedeeisen mit erhitzten Stücken von Roheisen überstrichen wird ²⁾. Ein Graphitgehalt wirkt hierbei kaum merklich ein, weshalb bei der Anwendung dieser Methode weisses Roheisen genommen werden muss. Das Eintauchen der Schmiedeeisenstücke behufs Ueberziehung mit einer Stahlkruste beim Herdfrischen ist S. 98 geschildert worden.

Beim Schmelzen vereinigen sich verschieden gekohlte Eisen in kleinen Mengen leicht, grössere Mengen nur, wenn sie gut durcheinander gerührt werden; sonst sondern sie sich in verschiedene Lagen nach ihrem specifischen Gewicht. Ist kein Oxydationsmittel vorhanden, so vertheilen sich alle übrigen im Eisen enthaltenen Substanzen, wie Silicium, Mangan, Phosphor, Schwefel u. s. w. gleichmässig im Producte.

Sauerstoffabscheidung aus schmiedbarem Eisen.

Der Sauerstoffgehalt des schmiedbaren Eisens, welches durch Oxydationsprocesse hergestellt worden war, ist, wie es scheint, immer in der Form des Eisenoxydoxydul vorhanden. Man nennt ein sauerstoffhaltiges Eisen, welches für technische Zwecke um so unbrauchbarer wird, je höher der Sauerstoffgehalt steigt, verbranntes Eisen. Es zeichnet sich durch die Grösse der einzelnen Krystalle aus, welche an einer innigen Verbindung oder am Zusammenschweissen durch die zwischenliegenden Oxydoxydultheilchen gehindert werden und daher beim Schmieden und Walzen auseinanderfallen.

Es giebt zwei Mittel den Sauerstoff unschädlich zu machen. Das erste besteht in der Verbindung des oxydirten Eisens mit Kieselsäure zu einer flüssigen Schlacke. Es ist stets mit entsprechendem Eisenverluste verbunden und kommt besonders bei dem später zu beschreibenden Schweissprocesse zur Anwendung. Das andere besteht in der Entziehung

¹⁾ Vergl. Dingler, Polytechn. Journ. Bd. 160, S. 43, 122, 211, 215. —

²⁾ Etwa in der Art, wie man einen Stab magnetisch macht.

des Sauerstoffs durch Reduction, braucht mit keinem Eisenverluste verbunden zu sein und wird besonders bei der Flussstahlerzeugung benutzt.

Die Reduction erfolgt durch Kohlenstoff, Mangan oder Silicium.

Kohlenstoff.

Fester Kohlenstoff. Wird festes sauerstoffhaltiges Eisen mit festem Kohlenstoff (Holzkohle oder Koks) erhitzt, so erfolgt eine Reduction unter Bildung von Kohlenoxydgas. Bei Roth- und Weissglut erfolgt diese Reduction noch ohne Schwierigkeit, erfordert aber bei starken Stücken lange Zeit, um bis ins Innere vorzudringen. Bei der Schmelztemperatur des Schmiedeisens scheint keine Reduction mehr stattzufinden.

Kohlenoxyd wirkt bei niedrigen Temperaturen (bis 400 Grad) langsam und, wie es scheint, nur indirect auf den Sauerstoff ein¹⁾; bei hoher Temperatur (Roth- bis Weissglut) erfolgt die Reduction leichter.

Kohlenstoffhaltiges Eisen. Wird Eisen, welches nur amorphen Kohlenstoff enthält, mit sauerstoffhaltigem Eisen geschmolzen oder in flüssigem sauerstoffhaltigem Eisen gelöst, so findet die Reduction auf Kosten eines Theils dieses Kohlenstoffs statt. Grafit lässt sich auf diese Weise nicht, ohne vorher in amorphen Kohlenstoff übergeführt zu sein, oxydiren.

Die drei genannten Reductionsmittel sind nur mit grosser Vorsicht in der Praxis zu verwerthen, weil jeder Ueberschuss derselben sofort auch eine andere höhere Kohlungsstufe des Productes hervorruft und dadurch die Eigenschaften bei verhältnissmässig geringen Fehlern in der Beurtheilung des zu entfernenden Sauerstoffs sehr erheblich zu ändern im Stande ist.

Silicium und Mangan.

Silicium und **Mangan** sind zwei Stoffe, welche leichter oxydirbar als Eisen sind. Bei den Frischprocessen zeigte sich dies durch die schnelle Entfernung beider Stoffe im Anfange der Operation. Fügt man daher zu sauerstoffhaltigem Eisen einen dieser Stoffe, so wird unter Reduction der entsprechenden Eisenmenge Kieselsäure oder Manganoxydul gebildet. Jedoch ist hierzu erforderlich, dass eine diese Stoffe aufnehmende flüssige Schlacke vorhanden sei oder bei dem Processe gebildet werde.

Mangan ist unter beiden Stoffen der weit vorzüglichere für die Praxis, weil ein überschüssiger in das Product gelangender Gehalt daran

¹⁾ Wahrscheinlich geht zuvörderst der oben (S. 509) erwähnte Process der Abscheidung von Kohlenstoff unter Bildung von Kohlensäure vor sich.

mit Ausnahme der Erhöhung des Härtegrades keinen wesentlichen Einfluss ausübt, wogegen ein geringer Ueberschuss an Silicium bereits ein faulbrüchiges Product hervorruft ¹⁾.

Nicht selten kommen in der Praxis Mangan, amorpher Kohlenstoff und Silicium gemeinschaftlich in Form von Spiegeleisen zur Verwendung, jedoch benutzt man auch ein siliciumreiches, dann stets grafitisches Roheisen, bei dem im Augenblicke der Siliciumoxydation, wie beim Frischproceß, der Grafit in den amorphen Zustand übergeht, und endlich eine kohlenstoffarme Legirung von Eisen und Mangan, welche beinahe wie reines Mangan wirkt, da das Eisen einfach der vorhandenen Eisenmenge hinzutritt.

Arten der Stahlkohlungsarbeiten.

Wird das Product der Kohlungsarbeit durch Zusammenschmelzen von verschieden gekohlten Eisenarten, namentlich von Roheisen und Schmiedeeisen, erhalten, so heisst es Flussstahl und die Arbeit daher Flussstahlerzeugung. An die hierfür in der Praxis benutzten Methoden schliessen sich eng diejenigen an, durch welche zwar der Kohlenstoffgehalt des Products nicht oder wenigstens nur unwesentlich verändert, aber ein vorhandener Sauerstoffgehalt entzogen wird, und die der Regel nach mit den ersteren Hand in Hand gehen.

Wird das Product durch Schmelzen eines niedrig gekohlten Eisens mit reinem Kohlenstoff oder im wesentlichen eisenfreien kohlenstoffhaltigen Substanzen, oder durch Einführen derartiger Stoffe in das geschmolzene Metall gewonnen, so nennt man es Kohlenstahl.

Wird das Product durch Kohlung von Eisen erhalten, ohne dass der flüssige Aggregatzustand des Materials oder Products eintritt, so heisst es Cementstahl und der Process wird das Cementiren genannt.

¹⁾ Vergl. Seite 2.

A. Die Flusstahlerzeugung.

Die Flusstahlerzeugung gründet sich in erster Linie auf das Zusammenschmelzen von Schmiedeeisen mit Roheisen in solchen Verhältnissen dass ein flüssiges Product von dem gewünschten Kohlenstoffgehalte eines Stahls entsteht.

Die technische Ausführung des Processes findet in dreifacher Weise statt; entweder wird festes Schmiedeeisen und festes Roheisen bis zum Schmelzen erhitzt, oder es wird Roheisen in flüssigem Schmiedeeisen gelöst, oder es wird Schmiedeeisen in flüssigem Roheisen gelöst.

Die erste Methode wird der Regel nach in Tiegeln ausgeführt und das Product nennt man daher Tiegelflussstahl, die zweite Methode schliesst sich ausnahmslos an das Bessemerfrischen an und das Product heisst daher Bessemerflussstahl oder kurzweg Bessemerstahl, die dritte Methode endlich wird zwar in mannigfachen Apparaten betrieben geschieht aber am häufigsten in Flammöfen, weshalb auch das Product im Allgemeinen als Flammofenflussstahl bezeichnet werden kann. Ist mit der Flusstahlarbeit eine unmittelbare Reduction von Eisenerzen verbunden, so bezeichnet man das Product als Rennflussstahl.

Immer wird der Flussstahl in giessbarem Zustande erhalten, in eiserne Formen gegossen und der Regel nach in Blockform der Weiterverarbeitung, meist zuvörderst einem Dichtungsprocesse übergeben. Wegen seiner gleichmässigen Beschaffenheit in Folge der Schmelzung nennt man ihn auch Homogenstahl, Homogeneisen (*Homogenous Metal*), obwohl dieser Ausdruck ursprünglich für einen durch Zusammenschmelzen von Schmiedeeisen mit Kohle erhaltenen Stahl gebraucht worden war¹⁾.

¹⁾ Vergl. Percy, Iron, p. 776 und 777.

a. Tiegelflussstahl.

Festes Schmiedeeisen und festes Roheisen ohne wesentliche Verminderung des Kohlenstoffgehalts zusammenschmelzen gelingt nur unter Luftabschluss und kann daher mit Vortheil nur in Tiegeln ausgeführt werden. Das Schmiedeeisen oxydirt sich bei hinreichender Erhitzung, sobald atmosphärische Luft Zutritt hat, zu heftig, als dass beim nachfolgenden Schmelzen eine wesentliche Entkohlung des Roheisens verhindert werden könnte. Bei sehr beschränktem Luftzutritt gelingt es unter vorsichtiger Behandlung wohl, nur so viel Eisen zu oxydiren, um das Silicium und den Mangangehalt des Roheisens zu verschlacken, aber der Erfolg ist stets unsicher. Daher haben auch die vor Einführung der sich eines flüssigen Roheisenbades bedienenden Flammofenflussstahlmethode gemachten zahlreichen Versuche, die Schmelzung im offenen Herde eines Flammofens vorzunehmen, keine günstigen Resultate geliefert. Gegenwärtig wären weitere Versuche in dieser Richtung ohne Nutzen. — Umgekehrt ist mit besserem Erfolge das Zusammenschmelzen von Schmiedeeisen und Roheisen im Kupolofen in einer reducirenden Atmosphäre versucht worden. Hierbei ist eine Kohlenstoffzunahme nicht zu umgehen und der Process bildet daher einen Uebergang zu den Kohlenstahlarbeiten, mit welchen er weiter unten beschrieben werden wird. — Auch bei dem Schmelzen in Tiegeln kann man durch oxydirende oder kohlende Zuschläge den Gesamtkohlenstoffgehalt mehr oder minder verändern und dadurch zahlreiche Uebergänge zu den vorher beschriebenen Erzstahlarbeiten und den folgenden Kohlenstahlarbeiten herbeiführen.

Geschichtliches. In den schon mehrfach citirten Werken Réaumur's aus dem Anfang des vorigen Jahrhunderts findet sich die erste Erwähnung der Darstellung von Flussstahl durch Zusammenschmelzen von Roheisen und Schmiedeeisen in Tiegeln, als eines bereits bekannten und praktisch ausgeübten Verfahrens, welches sich bei Versuchen des Verfassers in einem gewöhnlichen Schmiedefeuer wohl bewährte. Er mischte hierbei das Roheisen mit einem Viertel bis einem Drittel Schmiedeeisen ¹⁾.

Mushet's zahlreiche Patente aus dem Anfange dieses Jahrhunderts lassen fast darauf schliessen, dass die Methode gänzlich in Vergessenheit gekommen sei, denn dieselben beziehen sich meistens nur auf eine Reduction von Erz und Kohlung des Eisens durch kohlenstoffhaltige Substanzen und enthalten nur einmal nebensächlich erwähnt auch den Zusatz von Eisen ²⁾.

¹⁾ L'art de convertir le fer forgé en acier, 1722, p. 256. — ²⁾ Conf. Bibl. britannique t. 18.

Andererseits berichtet Hassenfratz nach Vandenbroeck¹⁾, dass man bereits vor 1812 in England zwei Ofenarten zum Schmelzen von Schmiedeisen- und Roheisenmischungen behufs der Stahlerzeugung angewendet habe, deren erster ein durch Steinkohle erhitzter Galerenofen für vier Tiegel gewesen sei.

Im Jahre 1833 nahm Alois Obersteiner zu Murau in Steyermark ein Patent auf die Methode durch Zusammenschmelzen von Schmiedeisen und Spiegeleisen Stahl darzustellen, und führte das Verfahren praktisch einige Zeit durch. Tunner²⁾ berichtet indessen, dass das Product nicht gleichmässig genug ausgefallen sei, und so wurde eine weitere Anwendung damals ebensowenig wie 20 Jahre später, als Karsten den Gegenstand von neuem anregte³⁾, durchgeführt.

Die Engländer mussten sich — wie dies in der Geschichte des Eisenhüttenwesens unzählig oft wiederkehrt — erst der deutschen Erfindung bemächtigen, sie praktisch machen und sie dann den Deutschen zurückgeben.

1855 nahmen David Simpson Price und Edward Chambers Nicholson den Gegenstand wieder auf⁴⁾. Sie wollten gefeintes Roheisen mit passenden Mengen Schmiedeisen zusammenschmelzen. Es sollte vorzüglich ein aus irgend einem (gleichgültig, ob bei Holzkohlen, Koks oder Anthracit erblasenen) Roheisen hergestelltes Eisen genommen werden, welches durch Schmelzung mit Roth- oder Spatheisenerzen soweit gefeint war, dass es beinahe seinen gesammten Siliciumgehalt, dagegen nichts von seinem Kohlenstoffgehalte verloren hatte.

Kurze Zeit nachher nahm Gentle Brown ein Patent auf die Darstellung von Stahl durch Zusammenschmelzen von Stabeisen, welches in kurze Stücke zerschnitten war, mit gutem Holzkohlenroheisen, ungefähr im Verhältniss von 3 : 1⁵⁾.

Seit dieser Zeit verbreitete sich die Methode schnell in allen Eisen-districten, namentlich auch in denen Deutschlands, wo man von vornher-ein als Roheisen meist Spiegeleisen oder Weissstahl zu nehmen pflegte⁶⁾. Als aber die anderen Methoden der Flusstahlerzeugung ausgebildet wurden, konnte sie sich denselben gegenüber nur in einzelnen Fällen halten, da sie weder eine so billige Darstellung von Stahl gestattete, wie jene, noch auch im Stande war, in Massenproduction zu wetteifern, noch endlich ein so gleichförmiges Product zu liefern. Sie beschränkt sich jetzt fast nur auf gelegentliche Verwendung für einzelne zum Maschinenbau gebrauchte Theile und findet sich weit häufiger mit Eisengiessereien und mechanischen Werkstätten, als mit Eisenhütten verknüpft. Am

¹⁾ Annales des Mines VI. Série, t. XII, p. 276; Gruner, De l'acier. —

²⁾ Oesterr. Jahrb. III, 1853, S. 310. — ³⁾ Karsten's Archiv 1852, Bd. 25. —

⁴⁾ Specification A. D. 1855, Nov. 20, No. 2619 und Percy, Iron, p. 806. —

⁵⁾ Specification A. D. 1856, Jan. 25., No. 205. Abridgments, p. 215. — ⁶⁾ Spä-

tere englische Patente, wie das von Atwood (A. D. 1862, No. 1473) und Anderen sind nichts als Wiederholungen der bekannten Verfahrensarten.

meisten scheint sich die Methode gegenwärtig noch in Schweden erhalten zu haben.

Apparate.

Das Schmelzen geschieht in Tiegeln aus Grafit oder feuerfestem Thone, deren Anfertigung genau so erfolgt, wie dies weiter unten beim Gussstahl beschrieben werden wird. Die Materialien können etwas weniger gut sein, weil die Schmelztemperatur der Regel nach geringer sein darf als bei der Gussstahlerzeugung.

Die Tiegel werden einzeln oder zu zweien bis viere in Zugöfen bei Koksfeuerung, selten bei Holzkohlenfeuerung erhitzt. Sie stehen auf Unterlagen, Käsen, welche direct auf dem den Ofenschacht nach unten begrenzenden Planroste aufliegen.

Material.

Physikalische Beschaffenheit. Das Material muss in kleinen Brocken angewendet werden. Zu diesem Zwecke wird das Roheisen entweder in kaltem Zustande durch Hämmer in Stücke zerkleinert, oder in rothwarmem Zustande zu Sand gepocht ¹⁾, oder in flüssigem Zustande durch Einleiten in Wasser granulirt ²⁾.

Das Schmiedeeisen wird mit Scheren in kleine Stücke zerschnitten.

Chemische Beschaffenheit. Beide Eisenarten müssen möglichst frei von Phosphor und Schwefel sein, weil bei dem Prozesse nichts davon entfernt wird. Das Roheisen muss arm an Silicium sein, da durch die zwischen den Eisenstücken im Tiegel eingeschlossene Luft nur eine sehr geringe Menge davon oxydirt werden kann. Mangan ist nicht nur nicht nachtheilig, sondern vortheilhaft, weil es als sehr leicht oxydirbarer Körper sich mit der Kieselsäure verbindet, die Bildung einer eisenreichen Schlacke verhindert und sowohl die Bindung des Kohlenstoffs im amorphen Zustande befördert, als der Oxydation desselben vorbeugt.

Aus diesen Gründen wird zum Zwecke der Tiegelflussstahlerzeugung fast nur Spiegeleisen, Weissstahl und bei Holzkohlen erzeugtes gewöhnliches weisses Roheisen verwendet ³⁾, doch ist auch gefeintes Eisen sehr wohl zu gebrauchen.

Die Mengenverhältnisse richten sich nach dem verlangten Kohlenstoffgehalte. Soll ein Stahl von c Procent Kohlenstoffgehalt erzeugt werden, so gehören dazu x Theile Roheisen vom Kohlenstoffgehalt a Procent und y Theile Schmiedeeisen vom Kohlenstoffgehalt b Proc. Es ist dann: $ax + by = (x + y)c$, und wenn

¹⁾ Vergl. S. 23. — ²⁾ Vergl. S. 22. — ³⁾ Vergl. Abtheil. II, S. 762, 765 u. f.

$$\begin{aligned}
 x + y &= 100, \\
 x &= \frac{100(c - a)}{b - a} \\
 y &= \frac{100(b - c)}{b - a}.
 \end{aligned}$$

Wenn daher ein Roheisen mit 4 Proc. und ein Schmiedeeisen von 0·1 Proc. Kohlenstoff zu einem Flusstahl von 0·8 Proc. Kohlenstoff verschmolzen werden sollen, so braucht man:

$$\text{an Roheisen} \quad x = \frac{100 \cdot 0\cdot7}{3\cdot9} = 17\cdot95 \text{ und}$$

$$\text{an Schmiedeeisen} \quad y = \frac{100 \cdot 3\cdot2}{3\cdot9} = 82\cdot05 \text{ Gewichtstheile.}$$

Z u s c h l ä g e.

Der Regel nach soll die im Tiegel zwischen den Eisenstückchen eingeschlossene Luft gerade genügen, um das vorhandene Silicium zu oxydiren, ohne den Kohlenstoff anzugreifen. Bei dichter Füllung und hohem Siliciumgehalt ist dies indessen nicht der Fall und man giebt daher geringe Mengen Oxyde, zuweilen wohl Eisenoxyde, besser aber Manganoxyde (Braunstein) hinzu.

Während des Schmelzens ist zwar ein Eindringen von atmosphärischer Luft in den Tiegel und eine erhöhte Oxydation dadurch nicht zu fürchten, wohl aber beim Herausnehmen des Tiegels aus dem Ofen und beim Giessen. Man muss deshalb dafür sorgen, dass die Oberfläche des geschmolzenen Stahls durch eine flüssige Schlackendecke bis zum Gusse geschützt sei. Zu diesem Zweck setzt man ausser Braunstein auch oft Alkalien zu, namentlich Soda oder Potasche. Weniger gut wirkt das zu leichtflüchtige, Tiegel und Ofenwände schnell zerstörende Chlornatrium (Koch- oder Steinsalz).

Weitere Zusätze von reinem Roth- oder Magneteisenstein einerseits, von Holzkohle oder Hornspänen andererseits geben wie bereits erwähnt Uebergänge zum Erzstahl- und Kohlenstahlschmelzen und werden benutzt, wenn der durch die Mischung nach gegebenen Verhältnissen erzielte Kohlenstoffgehalt entweder zu hoch oder zu niedrig ausfallen würde.

V e r f a h r e n.

Die Tiegel werden hellrothwarm in den gleichfalls glühend gemachten Ofen eingesetzt, darauf mit dem der Regel nach angewärmten Materiale besetzt, welches durch blecherne Trichter eingeschüttet wird, dann mit Deckeln verschlossen, welche zur Untersuchung des Flüssigkeitsgrades eine kleine Oeffnung besitzen. Der Ofen wird mit Koks oder Holzkohle

gefüllt, der Deckel aufgeschoben und dann meist ohne Nachfeuerung solange geschmolzen, bis ein durch die Oeffnung im Tiegeldeckel eingeführter Draht hinreichend wenig Widerstand findet, als Beweis, dass die Masse gehörig dünnflüssig ist. Hierauf werden die Tiegel mit Zangen ausgehoben und direct in die vorbereiteten Gussformen entleert.

Eine Tiegelfüllung wird meist zu 15 bis 20 Kg genommen. Der Regel nach giebt man auf 100 Kg Schmiedeeisen 8, 16, 32 oder 40 Kg Roheisen, doch ist es besser sich durch vorherige Proben oder Analysen vom Kohlenstoffgehalte zu überzeugen und durch Rechnung das Verhältniss genau zu bestimmen.

Beispiele. Obersteiner wendete 7 Theile bestes Spiegeleisen auf 17 Theile Schmiedeeisen an; zu Hirschwang bei Reichenau besteht eine Tiegelfüllung für Maschinenstahl aus 14.75 Kg Streckeisenabfall, 2.75 Kg Weissstahl und etwas Braunstein. Stengel machte auf Karsten's Veranlassung Versuche, bei denen zu weichem Stahl auf 12.5 Kg schwedisches Stabeisen mit 0.25 Proc. Kohlenstoffgehalt, 1 Kg Spiegeleisen mit 5.6 Proc. (?) Kohlenstoff, zu hartem Stahl 4 Kg von letzterem verwendet wurden. Uebergänge zur Erzstahlfabrikation ¹⁾ bilden die Beschickungen, welche z. B. Uchatius vorschlägt und die aus 100 Gewichtstheilen Roheisen, aus 20 Gewichtstheilen Schmiedeeisenstücke, 25 Gewichtstheilen Spatheisenstein und 1.5 Gewichtstheilen Braunstein bestehen sollen ²⁾.

Der Artilleriehauptmann Alexander ³⁾ machte eine Reihe von Versuchen, bei denen er je 3 Gewichtstheile Eisen mit Roheisen von 0.1 bis zu 2 Gewichtstheilen, von 0.1 zu 0.1 fortschreitend, mischte. Er fand dass bis zum Zusatze von 0.21 Gewichtstheilen Roheisen ein weicher Stahl erhalten wurde, welcher sich bei 0.3 am besten ohne Blasen giessen liess. Von 0.4 Gewichtstheilen Roheisen an wird der Stahl hart. Uebrigens kann man ohne praktische Schwierigkeit in verschlossenen Tiegeln bis zu 1 Gewichtstheil Roheisen gehen.

Schlussfolgerung.

Der Process ist zur Erzeugung kleiner Stahlmengen sehr wohl geeignet. Das aus reinem Schmiedeeisen und Spiegeleisen oder einem ähnlichen Roheisen dargestellte Product ist vortrefflich und mehr als eine andere Stahlsorte geeignet zum directen Guss in bestimmte Formen, z. B. zu Zahnrädern, Herzstücken und dergleichen mehr. Für grössere Productionen empfiehlt sich das Verfahren aber nicht, weil es bei kleinen Tiegelfüllungen hohen Brennmaterialaufwand erfordert, bei grösserer Menge

¹⁾ Vergl. S. 519. — ²⁾ Vergl. Muspratt, Techn. Chem. 1866, Bd. II, S. 414. —

³⁾ Annales des mines, VI. Série t. XII, p. 274. Gruner, De l'acier et de sa fabrication.

aber ungleiche Resultate giebt, da dann der Grad der Oxydation nicht genügend unter Controle gehalten werden kann.

Wenn bei den Obersteiner'schen Versuchen ein brauchbares Product nicht erzielt wurde, so mag dies einerseits zwar, wie Tunner¹⁾ berichtete, daran gelegen haben, dass der geschmolzene Stahl nicht ausgegossen, daher nicht hinreichend gemischt wurde, es können aber auch leicht unzureichende und durch vorgängige Proben nicht genügend controlirte Materialien die Ursache gewesen sein.

Jedenfalls kann man sehr leicht durch diese Methode einen den Uebergang zum Gusseisen bildenden harten Stahl erzeugen, welcher für Herstellung besonders haltbarer Gusswaaren sehr wohl passt.

Wie schon oben erwähnt, eignet sie sich daher nicht zur Massenproduction, wohl aber zur gelegentlichen Benutzung in Giessereien und Maschinenfabriken.

b. Bessemerflusstahl (Bessemerstahl).

Kohlung.

Bei der Beschreibung des Bessemerfrischprocesses ist mehrfach²⁾ darauf hingewiesen worden, dass am Schlusse des Processes und in unmittelbarem Anschlusse an die Entkohlung ein Zusatz von hochgekohltem Eisen, der bei weitem vorherrschenden Regel nach von Spiegeleisen, stattfindet um durch Vermehrung des Kohlenstoffgehalts aus dem entkohlten Eisen Stahl zu erzeugen.

Dieses Zusatzeseisen wird fast immer in geschmolzenem Zustande angewendet, seltener nur angewärmt oder rothglühend.

Geschichtliches. Das Verfahren, 1856 von Robert Mushet erfunden³⁾, trug damals wesentlich dazu bei, den Bessemerprocess lebensfähig zu machen. Es wird noch vielfach für unentbehrlich gehalten, um aus gewissen Roheisensorten ein gutes Product zu erzeugen, aber im allgemeinen richtet sich das Bestreben darauf, das von Anfang an in Schweden verfolgte, nachher auch nach Deutschland und Oesterreich übertragene Verfahren mehr und mehr auszudehnen, wonach der Frischprocess gerade bei der Entkohlung bis zu dem erwünschten Kohlenstoffgehalte unterbrochen wird, eine Rückkohlung also nicht stattfindet.

Umschmelzapparate.

In einzelnen Fällen hat man das Zusatzeseisen vom Hochofen in die Birne geleitet, also direct im flüssigen Zustande verwerthet. Dies ist

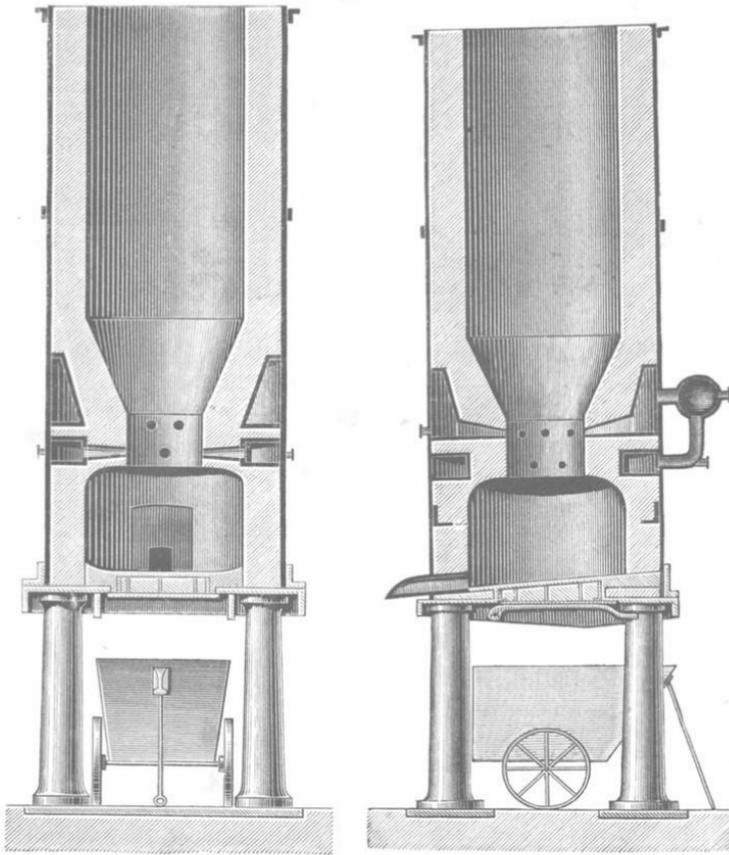
¹⁾ Oesterr. Jahrb. 1859, S. 157. — ²⁾ S. 333, 334 u. f. — ³⁾ Patent vom 22. September 1856. Improvements in the manufacture of iron and steel No. 2219, Abridgments p. 239. — Vergl. S. 337.

aber nur ganz ausnahmsweise möglich, und die Regel ist das Umschmelzen. Dies geschah früher allgemein in kleinen Flammöfen, von denen ein Beispiel in Fig. 130 und 131 S. 359 abgebildet ist. Auch als für das Umschmelzen des Materialroheisens schon Kupolöfen eingeführt waren, behielt man noch für das Spiegeleisen Flammöfen bei, in der Meinung, dass ein Umschmelzen desselben in directer Berührung mit Koks nachtheilig sein würde. Jetzt wendet man aber, obwohl nicht allgemein, doch bereits sehr häufig auch für das Umschmelzen des Spiegeleisens Kupolöfen an, welche einen weit geringeren Brennmaterialverbrauch erfordern und das Spiegeleisen weit weniger verändern, als alle, namentlich aber schlecht gebaute Flammöfen. Selbstverständlich darf allerdings nur guter Koks als Brennmaterial verwerthet werden.

Das Spiegeleisen wird nur am Ende jeder Hitze und dann nur in verhältnissmässig geringen Mengen gebraucht. Der Umschmelzapparat kann daher nicht wie derjenige für das Roheisen des Bessemerprocesses im beständigen Betriebe sein. Man baut deshalb den Ofen möglichst klein. Die Dimensionen eines Flammofens sind aus den Abbildungen Seite 359 zu erschen. Die Spiegeleisenkupolöfen erhalten selten einen besonderen Vorherd, sondern der Regel nach einen direct unter der zusammengezogenen Formenebene gelegenen Sammelherd mit beweglichem Boden, welcher durch Oeffnen leicht zu reinigen und zu repariren ist. Ein solcher Ofen ist in Fig. 149 in zwei Verticalschnitten abgebildet. Er steht auf vier eisernen Säulen, welche ein Unterfahren eines die Rückstände aufnehmenden Blechkastens gestatten. Der aus Schamotte gestampfte Boden wird von einer um ein Scharnier drehbaren Klappe getragen. Der Herd, welcher nach dem Stichloch zu geneigt ist, verengt sich nach oben. In den engeren Theil münden zwei Reihen von Windformen, welche den Wind aus ringförmigen, den Ofen umgebenden Kästen erhalten. Ueber der Formenebene erweitert sich der Schacht wieder und läuft bis zur Gicht ziemlich cylindrisch aus. Das Gerinne, welches das flüssige Spiegeleisen zur Birne führt, wird durch eiserne Böcke gestützt und besteht aus einer im Querschnitt dreieckig geformten gusseisernen Unterlage, welche mit Sand oder Masse ausgefütert ist. Das Gefälle ist steil, um ein längeres Verweilen des geschmolzenen Spiegeleisens an der Luft zu vermeiden.

Diese Einrichtung des Kupolofens scheint den früher häufiger für das Spiegeleisenschmelzen gebräuchlichen Kupolofen nach Mackenzie'scher Einrichtung zu verdrängen. Dieser letztere Ofen hat einen im Horizontalquerschnitt ovalen Schacht, welcher in gleicher Weite bis zu einer kurzen steilen Rast niedergeht. Diese Rast, welche in nebenstehender Figur (150) abgebildet ist, wird besonders eingelegt und ist von dem Windkanal (*a*) umgeben; sie ruht auf einem kranzförmigen Winkeleisen (*b*), welches zwischen sich und dem den Herd bildenden Ofenfutter einen ringförmigen Schlitz (*c*) frei lässt, durch welchen der Wind in den Ofen tritt. Der Boden wird, wie bei dem vorher beschriebenen Ofen, durch eine in Scharnieren (*d*) gehende Klappe gebildet.

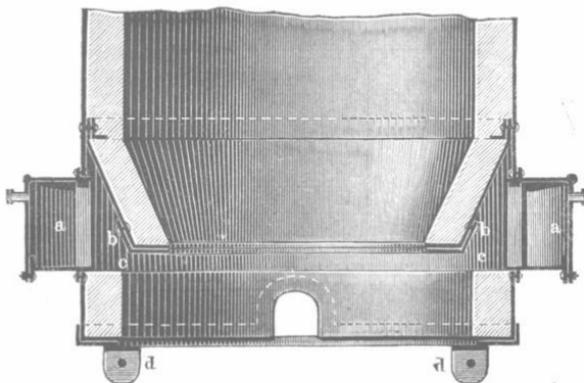
Fig. 149.



Dec. 10 5 0 1 2 3 Met.

Kupolofen für Spiegeleisen.

Fig. 150.



Mackenzie'sche Rast.

Der Mackenzie'sche Ofen, welcher seinen Zweck, das Spiegeleisen schnell und möglichst unverändert zu schmelzen, recht gut erreicht, hat den Nachtheil vollständiger Unhaltbarkeit, sobald das Eisen einmal den die Rast tragenden Ring erreicht, was wohl gegen ihn eingenommen hat. Die Kupolöfen für Spiegeleisen verlangen stets grosse Windzuführungsöffnungen und eine schwache Windpressung, um die Veränderung des Materials auf das geringste Maass zu beschränken.

Da in dem Spiegeleisenofen jedesmal nur bestimmte Quantitäten eingeschmolzen werden, der Betrieb also nicht ununterbrochen läuft, kann eine besondere zum Abmessen oder Abwägen des geschmolzenen Eisens benutzte Sammelpfanne zwar entbehrt werden, bleibt aber doch immerhin empfehlenswerth.

Was den Brennmaterialverbrauch für das Umschmelzen anbetrifft, so ist dieser weit geringer in den Kupolöfen als in den Flammöfen. Nach Dürre¹⁾ ist der Brennstoffverbrauch auf 100 Kg Roheisen im Kupolofen 20 Kg Koks, im Flammofen 60 Kg Steinkohlen. Dies entspräche auf Steinkohlen bezogen etwa nur der Hälfte für den Kupolofen. Bei einem regelmässigen und lebhaften Betriebe sinkt indessen der Koksverbrauch auf 9 bis 10 Kg, was nur 13 bis 15 Kg Steinkohle oder kaum $\frac{1}{4}$ des Verbrauchs im Flammöfen gäbe.

Die grösste Schwierigkeit beim Spiegeleisenschmelzen besteht in der leichten Zerstorbarkeit des Ofenherdes durch das flüssige Metall, welches viel stärker als manganarmes Roheisen feuerfesten Thon angreift. Es ist sehr wahrscheinlich, dass eine Wasserkühlung des unteren Theiles wesentlich dagegen schützen und dass der durch die Abkühlung bedingte grössere Brennmaterialverbrauch reichlich durch die geringeren Reparaturkosten aufgewogen werden würde²⁾.

Wirkungsweise des Spiegeleisens.

Die ursprüngliche Absicht des Spiegeleisenzusatzes war allein eine Vermehrung des Kohlenstoffgehalts in dem durch den Bessemerfrischprocess entkohlten Eisen. Die dabei gleichzeitig eintretende Reduction giebt indessen dem Spiegeleisen einen doppelten Werth, der so hoch angeschlagen wird, dass es von seinem wichtigsten Erzeugungsorte, dem Siegerlande, nach allen Theilen der Welt versendet wird und dass man aller-

¹⁾ Berg- u. Hüttenm. Zeit. 1869, S. 305. — ²⁾ Der Verfasser hat den einzigen mit vollständiger Wasserkühlung im unteren Theile versehenen Kupolofen auf dem Erimuswerke bei Stockton in England gesehen. Der mit drei Formen versehene Ofen besitzt einen dreitheiligen Mantel, in welchem das Wasser in je einem ab- und einem aufsteigendem Strom circulirt. Der Ofen ist nach Art der Krigar'schen Oefen (Seite 361) mit einem Vorherd versehen, in welchem sich das Eisen sammelt. Eigenthümlich ist dabei, dass der Vorherd nicht überwölbt ist und die Ausstrahlung der Wärme lediglich durch eine starke Schlackendecke verhindert wird.

wärts bemüht ist, Materialien aufzufinden, welche zur eigenen Erzeugung dieser Roheisenart dienen können.

Der Kohlenstoff ist im Spiegeleisen nur im amorphen Zustande vorhanden. Er bedarf daher keiner Aenderung seines Zustandes. Aus diesem Grunde ist das Spiegeleisen jedem grafitischen Eisen vorzuziehen.

Der Kohlenstoffgehalt des Spiegeleisens ist in grossen Lieferungen ziemlich und bei bestimmten Sorten fast genau übereinstimmend. Es bedarf daher keiner jedesmaligen Kohlenstoffprobe, um die Grösse des Zusatzes an Spiegeleisen zu bestimmen, wenn man nur auf völlig entkohltes Eisen beim Frischen selbst hinarbeitet.

Das Mangan des Spiegeleisens ist leichter oxydirbar als der Kohlenstoff. Es wird daher auch bei bereits eingetretener Oxydation der Kohlenstoffgehalt nicht geändert.

Ebenso wie das Mangan verhält sich das Silicium, welches im Spiegeleisen enthalten ist. Es oxydirt sich durch den Sauerstoff des in der Birne enthaltenen Zwischenproductes und bildet Schlacke. Da der Siliciumgehalt des Spiegeleisens fast immer sehr gering ist, so wird stets der ganze Gehalt daran verschlackt.

Ist Mangan oder Silicium in grösserer Menge vorhanden, als dass beide oder wenigstens letzteres durch den Sauerstoffgehalt des entkohlten Eisens oxydirt werden könnte, so muss nochmals eine kurze Zeit geblasen werden. Hieraus erklärt sich die Verschiedenheit der Verfahrungsweisen in der Praxis, da auf einigen Werken der Stahl ohne weiteres nach Zusatz des Spiegeleisens ausgegossen wird, während auf anderen die Birne noch einmal aufgerichtet wird und der Wind einige Secunden selbst Minuten lang hindurchbläst.

Das wiederholte Blasen ist indessen nicht zu empfehlen, weil damit die Sicherheit, einen voraus bestimmten Kohlenstoffgehalt zu erzielen, wesentlich verringert wird.

Temperatur des Spiegeleisens.

Das Spiegeleisen wird der Regel nach im geschmolzenen Zustande zugesetzt. Die vielfach ausgeführten Versuche, nur glühendes, schwach vorgewärmtes oder gar kaltes Spiegeleisen anzuwenden, haben selten und wohl nur vorübergehend zu günstigen Resultaten geführt. Man will gefunden haben, dass in dem letzteren Falle der erzeugte Flusstahl schlechter, d. h. kurzbrüchiger ausfällt¹⁾. Der Grund kann hierfür ein doppelter sein. Erstens mischt sich das kältere Spiegeleisen nicht so leicht mit dem flüssigen Eisen, wie das heissere, der Stahl fällt daher ungleichmässiger aus; zweitens kann die Schlackenbildung in Folge der herabgedrückten Temperatur verzögert werden und unvollständiger von

¹⁾ Vergl. Berg- u. Hüttenm. Zeit. 1872, S. 377.

statten gehen, daher möglicher Weise ein Siliciumgehalt im Producte zurückbleiben.

In Cumberland hat man die Erfahrung gemacht, dass nur bei Anwendung geschmolzenen Spiegeleisens ein Nachblasen entbehrt werden könne. Da nun der Regel nach beim Zusatz ohne Nachblasen 2 bis 3 Proc. Spiegeleisen weniger angewendet werden dürfen, als im anderen Falle (7 bis 8 gegen 10 Proc.), so ist auch der Vorthail, welcher durch Ersparung an Brennmaterial entsteht, wenn ungeschmolzenes Spiegel-eisen benutzt wird, nur scheinbar.

Zusammensetzung des Spiegeleisens.

Im Folgenden sind die wichtigeren Bestandtheile einiger zur Bessemerflusstahlbereitung benutzten Spiegeleisensorten zusammengestellt. In Bezug auf vollständigere Analysen wird auf Abtheilung II, S. 761 u. f. verwiesen.

	1.	2 ¹⁾ .	3.	4.	5 ²⁾ .	6 ³⁾ .
Amorpher Kohlenstoff	4·323	4·770	4·083	3·934	4·029	3·184
Mangan	10·707	11·120	8·418	6·320	7·447	1·244
Silicium	0·997	0·820	0·879	0·606	0·112	0·184
Schwefel	0·014	Spur	0·036	Spur	nicht bestimmt	0·009
Phosphor	0·059	0·134	0·069	nicht bestimmt	0·078	0·031
1) Ausserdem	0·310	Kupfer.				
2) "	0·463	"				
3) "	0·820	Grafit.				

- No. 1. Spiegeleisen von Müsen im Siegerlande, vergl. Abtheil. II, S. 762,
 No. 2. " aus dem Siegerlande, " " II, S. 764,
 No. 3. " " " " in Königshütte verwendet,
 No. 4. Dasselbe nach dem Umschmelzen im Flammofen,
 No. 5. Spiegeleisen von Neu-Oege in Westfalen,
 No. 6. " " Schmögen in Ungarn.

Nimmt man hiernach im Durchschnitt für das Spiegeleisen einen Gehalt von 0·8 Proc. Silicium an, so verbrauchen 100 Gewichtstheile desselben zur Bildung von Kieselsäure 0·46 Gewichtstheile Sauerstoff. Da nun 100 Gewichtstheile des Bessemer-schmiedeisens nach Bender⁴⁾ 0·34 bis 0·37 Gewichtstheile Sauerstoff enthalten, höchstens $\frac{1}{10}$ an Spiegeleisen zugesetzt wird, so kommen auf einen durchschnittlichen Gehalt von 0·36 Gewichtstheilen Sauerstoff nur 0·08 Gewichtstheile Silicium, statt 0·63. Es muss also ein bedeutender Mangangehalt ausserdem oxydirt werden, um den Sauerstoff zu entfernen, wie im Folgenden noch näher ausgeführt werden wird.

4) Vergl. S. 394.

Manganreiches weisses Roheisen vertritt das Spiegeleisen in um so vollständigerem Grade, als es frei von Grafit, arm an Silicium und von einem gleichbleibenden Kohlenstoffgehalte ist. Die Unsicherheit in der letzten Beziehung, welche als Regel angesehen werden muss, macht indessen die Verwendung sehr wenig wünschenswerth.

Petzholdt führt von Seraing die folgende Tabelle des verbrauchten Roh- und Zusatzeisens an:

		Procente:				
		Sili-	Schwe-	Phos-	Man-	Kohlen-
		cium	fel	phor	gan	stoff
Koksroheisen von	Maryport	4.35	0.030	0.03		
	Askom	3.75	0.047	0.03		
	Vanhounsbrouck .	2.65	0.095	0.03		
	Cleator	2.80	0.080	0.03		
	Solway	2.35	0.030	0.03		
	Westcumberland .	2.98	0.060	0.03		
"	Ougrée in Belgien	0.90	0.080	0.023		
Holzkohlen- roheisen aus	Schweden	1.05	Spur	Spur		
	Spanien (Astu- rien)	2.30	0.040	0.075		
		1.86	0.040	0.075		
Spiegeleisen aus Siegen		0.72	0.050	0.410	9.150	4.200
		0.73	0.030	0.130	9.850	4.850
		0.80	0.060	0.175	8.900	?

Spuren, nicht bestimmt.

Reduction.

Wie bereits angedeutet, erfüllt das Spiegeleisen, welches in sehr vielen Fällen dem entkohlten Bessemereisen behufs der Rückkohlung zugesetzt wird, gleichzeitig den Zweck der Reduction durch seinen Silicium-, besonders aber seinen hohen Manganengehalt. Statt dieses kohlenstoffhaltigen Reductionsmittels wendet man aber auch kohlenstofffreie Reductionsmittel an und unter diesen beinahe ausschliesslich eine Legirung von Eisen und Mangan, welche kurz Eisenmangan, auch Ferro-mangan oder Manganoferrum genannt wird ¹⁾.

Reines oder kohlenstoffhaltiges Mangan anzuwenden ist zwar von Heath ²⁾ vorgeschlagen worden, die Reduction aus Manganoxyd oder kohlen-saurem Manganoxydul ist aber ohne Zuschlag von Eisen so schwierig, dass ein praktischer Erfolg nicht erzielt wurde. Es ist schon darauf hingewiesen, dass Silicium denselben Zweck erfüllte, wie Mangan. Wenn nun die Legirung eines siliciumreichen Roheisens unzweckmässig ist wegen der Unmöglichkeit, ein solches Roheisen grafitfrei herzustellen, so würde ein Siliciumgehalt in der ganz oder fast

¹⁾ Neuerdings ist auch versucht worden ein durch Glühen seines Kohlenstoffgehaltes beraubtes Spiegeleisen anzuwenden, ein Verfahren, welches praktisch fast unausführbar erscheint (siehe folg. S. u. S. 485). — ²⁾ Vergl. Journal of the Iron and Steel Institute 1871, Kohn.

kohlenstofffreien Eisenmanganlegirung keinen Nachtheil haben. Bessemer schlug daher auch eine Verbindung von Eisen, Mangan und Silicium vor.

Darstellung von Eisenmangan.

Die Darstellung von Eisenmanganlegirungen im Hochofen giebt stets das kohlenstoffreiche Spiegeleisen, wenn genügende Mengen Mangan reducirt werden. Die Bedingungen hierfür sind ausführlich in der 2. Abtheilung Seite 581 u. f. erläutert. Es ist daselbst gezeigt, wie trotz aller möglichen Vorsicht es niemals gelingt, alles Mangan zu reduciren, sondern ein grosser Theil im oxydirten Zustande in die Schlacke geht und das erzeugte Eisen der Regel nach nicht mehr als 7 bis 10 Proc., ausnahmsweise 20 Proc. und darüber, enthält. Diese Roheisenart besitzt den höchsten überhaupt vorkommenden Kohlenstoffgehalt. Eine kohlenstofffreie oder kohlenstoffarme Legirung lässt sich bei dem Ueberschuss von Kohlenstoff im Hochofen und beim Vorhandensein einer Kohlenoxydatmosphäre nicht herstellen. Auch aus dem fertigen Spiegeleisen ist der Kohlenstoffgehalt nicht zu verringern, ohne gleichzeitige Abscheidung beinahe des ganzen Mangangehalts.

Soll eine manganreiche und dabei kohlenstoffarme oder kohlenstofffreie Legirung hergestellt werden, so ist die erste Bedingung die Anwesenheit von nur soviel Kohlenstoff, als zur Reduction gerade erfordert wird; ferner ist Bedingung die Abwesenheit von grösseren Mengen freier Kieselsäure, welche sich bis zur Sättigung eines Singulosilicats mit unreducirtem Mangan verbindet; sodann muss Eisenoxyd oder metallisches Eisen sowohl mit dem Manganoxyd als mit dem Reductionsmittel aufs innigste gemengt und endlich muss die Temperatur sehr hoch sein. Werden alle diese Bedingungen erfüllt, so gelingt es fabrikmässig Legirungen mit 20 bis 30 Proc. Mangan herzustellen. Die in den Handel kommenden Sorten enthalten meist nur 15 bis 20 Proc. Mangan.

Fabrikationsmethoden.

Die erste von Bessemer angegebene Methode der Ferromangandarstellung beruht auf der Reduction und Schmelzung in Tiegeln. Sie war ursprünglich auf eine Legirung von Eisen, Mangan und Silicium gerichtet. Die Tiegel werden nach Art der Gussstahlschmelztiegel aus Grafit, Thon und Schamotte, ersterer nach Möglichkeit überwiegend, angefertigt. Als Schmelzmaterial wird ein inniges Gemenge von Gusseisengranalien, Manganoxyd, gepulvertem Flaschenglas und Holzkohlenpulver angewendet. Das Eisen und das Flaschenglas schmelzen bei der Erhitzung

zuerst ein. Das erstere dient als Lösungsmittel für das reducirte Mangan, das letztere bildet eine luftabschliessende Schlackendecke. Mit der Höhe der Temperatur steigt der Manganreichthum der erhaltenen, niemals kohlenstofffreien Legirung, welcher bei Anwendung von Regeneratorfeuerungen sogar 60 Proc. erreichen soll. Niemals wird alles Mangan reducirt und in der That muss das sogar vermieden werden, weil sich von dem Augenblicke an eine dem Spiegeleisen ähnliche kohlenstoffreiche Legirung bilden würde.

Die zweite Methode ist von Henderson¹⁾ angegeben und soll in einem Regeneratorflammpfen, dessen Herd nach Art eines tiefen Tiegels zugestellt ist, ausgeführt werden. Die Herdsohle ist aus Kokspulver mit geringem Zuschlage an feuerfestem Thon gestampft. Die Beschickung besteht aus einer Mischung von kohlenstoffsaurem Manganoxydul und Eisenoxyd, welche fein gemahlen und mit Kohle gemengt wird. Die Masse wird durch die Flamme des Ofens, welche durch Zuleitung überschüssigen Gases nach Möglichkeit reducirend gehalten werden muss, einige Stunden hindurch bis zu anhaltender Rothglut erhitzt. Erst nachdem die Reduction vollendet ist, wird zur Schmelzung geschritten, welche bei den höchsten erreichbaren Temperaturen stattfindet. Die in den angewendeten Erzen enthaltene Kieselsäure sowie die aus der Herdmasse entnommene bildet mit einem Theil des Mangans eine Schlacke. Es ist daher auch nicht möglich alles Mangan zu reduciren, sondern es wird immer mindestens der der vorhandenen freien Kieselsäure entsprechende Theil verschlackt, aber es gelingt doch ohne besondere Schwierigkeit bei hinreichend hoch gesteigerter Temperatur 20 bis 30 Proc. Mangan mit Eisen zu legiren.

In Frankreich zu Terrenoire hat man den Process dadurch modificirt, dass man den Tiegel zu einem eigentlichen Schachtofen ausgebildet hat. Das betreffende Patent sagt darüber Folgendes²⁾:

„Granalien, Feil- oder Drehspähne von Schmiedeeisen, Roheisen und Stahl, oder grob gepulverter Eisenschwamm, oder irgend welche kleine Stücke von Roheisen, Schmiedeeisen oder Stahl in einem entsprechenden Zertheilungsgrade werden mit mangan-, wolfram- oder titanhaltigen Erzen oder mit Quarz³⁾ gemischt, welche fein gepulvert und in einer der Legirung entsprechenden Menge zugefügt sind. Die Mischung wird vollständig und gleichmässig mit einer ammoniakalischen Lösung oder schwach angesäuertem Wasser befeuchtet und mit der Hand oder mechanisch in eine gusseiserne Form gepresst. Hierbei erzeugt sich eine grosse Menge Wärme und nach einigen Stunden findet man beim Oeffnen der Form eine feste, sehr harte Masse, welche man mit dem Hammer in beliebig grosse Stücke zerschlagen kann. Diese Stücke widerstehen vollkommen

¹⁾ Patente 1860 bis 1869, welche sämmtlich sehr unklar sind. Confr. Kohn im Journal of Iron and Steel 1871. — ²⁾ Revue universelle, Tome XXXV, 2. livr. p. 463. — ³⁾ Für den Fall der Erzeugung von Siliciumeisen.

der Rothglut und beginnen sich erst zu zertheilen beim Schmelzpunkte des Roheisens.“

„Man kann aus denselben in einem passenden Schachtofen Eisenmanganlegirungen in allen Verhältnissen von 25 bis 50 Proc. des letzteren Metalls, ferner Siliciumeisen mit einem Gehalt bis zu 22 Proc. Silicium, endlich zwei- oder dreifache Legirungen von Eisen, Wolfram oder Titan herstellen, aber es gehören sehr hohe Temperaturen dazu, d. h. man muss Apparate construiren, in welche man einen hoch erhitzten und stark gepressten Wind einführen kann.“

„Der Ofen ist zu diesem Zwecke zusammengesetzt aus einem Schacht von feuerfesten, möglichst harten Ziegeln, in denen Aluminium vorwaltet, einem Gestell aus Kalk, Magnesia oder reiner Thonerde und einem Herde aus Kohle, Kalk oder Magnesia.“

„Der Kohlenherd wird aus einem einzigen Stücke hergestellt, indem man eine Mischung von Grafit, Gaskohle oder Koks mit Pech in einem Eisenblechmantel formt, bei vollständigem Luftabschluss einige Stunden hindurch einer dunklen Rothglut aussetzt, wonach man eine sehr harte Masse ohne Spalten und Fugen erhält. Das Gestell ist von einem Eisenblechmantel umschlossen, welcher fest aufgehängt ist, während der Herd beweglich angelegt und beim Gebrauch nur gegen ersteres angepresst wird, so dass man ihn leicht auswechseln kann. Der Wind wird auf 350° erhitzt und hat eine Pressung von 13 bis 15 cm Quecksilbersäule.“

Zu Terrenoire in Frankreich soll man regelmässig in 24 Stunden 750 Kg einer 23 bis 25 Proc. Mangan haltenden Legirung erzeugen.

Das Theuerste an diesem Prozesse ist das Mangancarbonat, welches meist in Form des Manganspaths angewendet zu werden scheint¹⁾. Der Manganspath enthält stets grössere oder geringere Mengen von kohlen-saurem Kalk und kohlen-saurem Eisenoxydul und ist fast immer durch mechanisch beigemengten Quarz verunreinigt. Der dunkelrosenrothe Manganspath von Vieille in den Pyrenäen enthält 97.1 Proc. kohlen-saures Manganoxydul, andere Arten weit weniger, oft nur bis zu einigen 70 Proc. hinab.

Die dritte Methode von William²⁾ wird wie die erste in Tiegeln ausgeführt, welche in Oefen mit Regeneratorfeuerung erhitzt werden. Der Unterschied besteht in dem Reductionsmittel. Kohlen-saures Manganoxydul und Eisenoxyd werden nämlich mit Pech oder eingedicktem Theer (auch wohl Oel oder Petroleum) mit oder ohne weiteren Zusatz von Kohlenstaub innig gemischt.

Eine vierte Methode giebt Thomson an³⁾. Derselbe bedient sich des Henderson'schen Ofens, reducirt aber unter einer Decke von Salz (Chlornatrium). Mit 10 Gewichtstheilen Manganerz werden 30 Gewichts-

¹⁾ Es finden sich in der Literatur nirgends Angaben darüber, ob man auch künstlich hergestelltes verwendet. — ²⁾ Bericht der deutschen chemischen Gesellschaft 1871, S. 287. — ³⁾ Dingl. polytechn. Journ. Bd. 199 (1871).

theile gute Steinkohle, 30 Gewichtstheile Kochsalz und 10 Gewichtstheile Kalk in gepulvertem Zustande innig gemengt und dann im Flammofen zu Weissglut erhitzt. Es bildet sich dabei keine geschmolzene Masse, sondern nur ein Manganschwamm, welcher mit einem auf irgend eine Weise erzeugten Eisenschwamm unter einer Kochsalzdecke auf Ferromangan zusammengeschmolzen werden kann.

Gestattet die erste Methode auch die Herstellung der reichsten Legirungen, so ist doch der Procentgehalt an Mangan sehr unsicher. Die zweite Methode zeichnet sich durch die Möglichkeit hoher Production aus. Man kann in 24 Stunden in einem Ofen 700 bis 1000 Kg erzeugen, aber die Legirung fällt, bei gleicher Manganmenge wie im ersten Falle, weit ärmer aus. Die dritte Methode theilt mit der ersten die Kostspieligkeit des immer nur gleichzeitig geringe Mengen (30 Kg pro Tiegel) erzeugenden Verfahrens, giebt aber sehr gleichmässige und in Bezug auf den Manganreichtum der Legirung die beiden anderen Verfahren übertreffende Resultate, weshalb sie auch gegenwärtig die gebräuchlichste ist. Wie weit sich die vierte Methode bewährt hat, ist dem Verfasser unbekannt.

Mit Recht hat Tamm ¹⁾ darauf hingewiesen, dass der Zuschlag einer mit Mangan gesättigten Schlacke zu einer vollständigen Reduction wesentlich beitragen müsse. Man wird eine solche neben den Oxyden und dem Reductionsmittel als Fluss anwenden können.

Einer allgemeinen Anwendung des Ferromangans hat sich bisher immer noch der hohe Preis entgegengestellt, welcher in keinem Verhältnisse zu den Vortheilen steht, welche das Ferromangan gegen das billigere Spiegeleisen gewährt. Jedoch darf man die Hoffnung nicht aufgeben, dass die weitere Entwicklung des modificirten Henderson'schen Processes im Schachtofen schliesslich auch zu ökonomisch günstigen Resultaten führen und dann die Möglichkeit gewähren wird, an Stelle der verhältnissmässig viel Kohlenstoff und wenig Mangan enthaltenden Legirung des Spiegeleisens eine kohlenstoffärmere und sehr manganreiche Substanz zu setzen, wenn es darauf ankommt, ein niedrig gekohltes Product zu erzeugen ²⁾.

Zusammensetzung des Ferromangans.

Nach Darmstadt ³⁾ ist das in England und Amerika an Stelle des deutschen Spiegeleisens benutzte Eisenmangan folgendermaassen zusammengesetzt:

¹⁾ Amtl. Ber. über d. Wiener Weltausstellung 1873, Bd. III, Abthl. I, S. 845. —
²⁾ Philippart (Revue universelle XXXV, 2. livr., p. 462, 1874) führt mit Recht an, dass wenn man ein 10 Proc. Mangan haltendes Spiegeleisen durch ein 50procentiges Ferromangan ersetzen wolle, man also statt 10 Kg Spiegeleisen auf 100 Kg Roheisen nur 2 Kg Ferromangan brauche, doch die Preise sich noch etwa verhalten wie 2:5. — ³⁾ Fresenius, Zeitschrift 8, S. 114.

Eisen	73·474
Mangan	21·064
Kobalt	0·007
Zink	0·062
Kupfer	0·072
Blei	0·011
Aluminium	Spur
Titan	0·011
Calcium	0·175
Magnesium	0·035
Arsen	0·001
Antimon und Zinn	0·030
Phosphor	0·109
Schwefel	Spur
Silicium	0·059
Kohlenstoff	4·805
	<hr/>
	99·915

Ferromangan von Reschitza untersuchte Sturm ¹⁾ und fand:

Kohlenstoff	6·21
Silicium	0·28
Phosphor	0·06
Schwefel	Spur
Kupfer	0·14
Mangan	69·64
Eisen	23·46

Beide Analysen stellen eine, auch verhältnissmässig recht kohlenstoffreiche Zusammensetzung dar, während nach den Angaben der Hüttenleute zu Terrenoire gerade der geringe Kohlenstoffgehalt des dort verwendeten Ferromangans ein wesentlicher Vorzug sein soll.

Darstellung von Siliciumeisen und Siliciummangan.

Siliciumeisen. Das siliciumreiche Roheisen des Hochofenprocesses ist immer grafitartig und aus diesem Grunde nicht zweckmässig als Kohlungs- oder Reductionsmittel zu verwenden ²⁾, da es immer zweifelhaft bleibt, ob der im entkohlten Eisen enthaltene Sauerstoffgehalt hinreicht, alles Silicium zu oxydiren, und wenn dies nicht der Fall ist, ein doppelt nachtheiliger Einfluss entsteht, einmal aus dem dann noch vorhandenen Grafitgehalte, andererseits aus dem unoxydirten Silicium.

¹⁾ Oesterr. Jahrb. XXI, Bd. 2, 1873. — ²⁾ Wogegen, wie früher auseinandergesetzt, ein hoher Siliciumgehalt für das Materialeisen des Bessemerfrischens nur erwünscht ist. S. S. 374.

Kohlenstofffreies Siliciumeisen ist schwer herzustellen, wie in Abtheilung I, Seite 116 auseinandergesetzt wurde. Nach Percy, dessen verschiedene Versuche zu ungünstigen Resultaten führten, haben mit besserem Erfolge Dr. Hahn und W. Mrázek zu Pribram Siliciumeisen ohne oder mit nur geringem Kohlenstoffgehalte dargestellt.

Hahn erhielt Siliciumeisen von 10·093 Proc. Silicium und 0·884 Proc. Kohlenstoff durch Schmelzen von Gussstahl mit Kieselfluornatrium, Natrium, Zink und Kochsalz; Siliciumeisen von 20·29 Proc. Silicium ohne Kohlenstoff, durch Schmelzen von Eisenchlorür-Chlornatrium mit Silicium, Natrium und Flussspath, endlich Siliciumeisen von 30·86 Proc. Silicium ohne Kohlenstoff durch Schmelzen von Eisenchlorür-Chlornatrium mit Kieselfluornatrium und Natrium ¹⁾. Alle diese Wege sind für die Technik unausführbar.

Mrázek erreichte dasselbe Ziel weit einfacher durch Schmelzen von 100 Gewichtstheilen Eisendraht mit 62 Gewichtstheilen Natrium, 242 Gewichtstheilen Quarz und 105 Gewichtstheilen Flussspath ²⁾.

Das Product enthielt neben einer Spur Kohlenstoff 7·42 Proc. Silicium und 92·58 Proc. Eisen. Das Natrium wurde zugesetzt, weil Quarz und Flussspath beim Schmelzen Fluorkieselgas entwickeln und durch Natriummetall dessen Kieselgehalt ausgefällt werden muss. Dieser Natriumzusatz stellt auch dieser Methode ein Hinderniss für die praktische Anwendung entgegen.

Siliciummangan. Siliciummangan ist zuerst von Brunner aus den Fluor- und Chlorverbindungen des Mangans mittelst Natriums in kieselsäurehaltigen Tiegeln bis zu 6·4 Proc. und unter absichtlichem Zusatz von Kieselfluorkalium und Kieselsäure bis zu 10 Proc. Siliciumgehalt dargestellt worden, wie Abtheil. I, S. 114 erörtert wurde.

Wöhler erzeugte durch Schmelzen von Fluormangan oder Chlormangan kieselsaures Alkali, Flussspath oder Kryolith und Natrium, wie an derselben Stelle erwähnt, Siliciummangan mit einem Gehalte des letzteren Metalls bis zu 13 Proc.

Mrázek erhielt beim Schmelzen von 717 Gewichtstheilen Manganchlorür, 898 Gewichtstheilen Quarz, 674 Gewichtstheilen Kryolith und 645 Gewichtstheilen Natrium ein 13·13 Proc. Silicium haltendes Mangan.

Das Natrium vertheuert alle diese Processe zu sehr, um sie für die Technik brauchbar erscheinen zu lassen.

Kohlenstoffmangan, welches durch Reduction von Manganerzen mit Kohle erhalten wird, enthält immer etwas Silicium, nach Bachmann ³⁾ neben 0·1 bis 2·9 Proc. Kohlenstoff bis zu 1·9 Proc. Silicium,

¹⁾ Annal. d. Chem. Pharm. CXXIX, S. 57, und Oesterr. Jahrb. Bd. 20, S. 413. — ²⁾ Oesterr. Jahrb. Bd. 20, S. 415. Bei Zuschlag von Kryolith an Stelle von Flussspath erhielt man ein Product mit 0·16 Proc. Kohlenstoff, 5·95 Proc. Silicium, 2·30 Proc. Aluminium, 91·59 Proc. Eisen. — ³⁾ Loc. cit.

aber die Darstellung im Grossen ist wie oben auseinandergesetzt, sehr schwierig.

Uebrigens ist nicht zu vergessen, dass das auf diese Weise erhaltene Kohlenmangan nicht, wie man vielleicht vermuthen könnte, den Kohlenstoff amorph, sondern zum grössten Theil als Grafit enthält.

So fand Mrázek folgende Bestandtheile in einem Mangankönig, welcher in einem mit Kienruss ausgefütterten Thontiegel erzeugt war:

Kohlenstoff	{	amorph . . .	0·49
		Grafit	1·00
Silicium			Spur
Mangan			98·51

Ausserdem war der König mit einer Oberflächenschicht von Grafit bedeckt.

Man kann daher nur empfehlen, vorläufig dann, wenn man Spiegel-eisen nicht benutzen will, beim Ferromangan stehen zu bleiben, dem der, wie es scheint, stets nur geringe Siliciumgehalt nichts schadet ¹⁾.

c. Flammofenflusstahl.

Der Flammofenflusstahl wird erzeugt durch Auflösung von Schmiedeeisen in einem im Herde eines Flammofens eingeschmolzenen Roheisenbade.

Geschichtliches.

Das Entkohlen flüssigen Roheisens durch Zusatz von Schmiedeeisen ist insofern ein uraltes, als es schon bei einer grossen Zahl von Frischarbeiten auf Stahl im Holzkohlenherde angewendet worden war ²⁾.

1540 veröffentlichte Vanoccio Biringuccio eine Mittheilung darüber, dass man Stahl durch Eintauchen von Schmiedeeisen in Gusseisen bereiten könne ³⁾.

Offenbar ergiebt sich aber aus der betreffenden Stelle, dass das Stabeisen, welches in ein in einem Herde enthaltenes Roheisenbad getaucht wurde, nicht darin aufgelöst wurde, sondern nur so lange bei einer zur Schmelzung nicht hinreichenden Temperatur darin blieb, bis es hinreichend viel Kohlenstoff aufgenommen hatte, um sich nachher bei plötzlicher Abkühlung härten zu lassen. Es handelt sich hier also um einen Cementations-, keinen Flusstahlprocess.

¹⁾ Tamm erzeugte sog. Gussmangan durch Reduction von Braunstein unter Zusatz einer Manganschlacke, welches enthielt 96·90 Mn, 1·05 Fe, 0·85 Si und nur 0·95 C (conf. Chem. News 1872, No. 661 u. 666). Seine Zuschläge waren Glas, Kalk und Flussspath, also keine theuren Substanzen. — ²⁾ Vergl. z. B. S. 98, bei der Paaler Arbeit. — ³⁾ Della Pirotechnia. Stampata in Venetia 1540, Lib. I, cap. 7, p. 18; Percy (Iron 807) citirt die ganze historisch interessante Stelle.

Spätere Angaben von Réaumur (1722)¹⁾ kommen auf denselben Gegenstand zurück, ohne eine andere Auslegung zu versuchen. Interessant ist die von Hassenfratz auf Grund der bereits oben²⁾ erwähnten Mittheilungen des Bergschuldirectors Vandenbroeck gemachte Angabe über ein bereits vor 1812 in England ausgeübtes Verfahren. Hiernach sollte in einem mit einem tiegelartigen Herde zugestellten Flammofen eine Mischung von Roheisen, Schmiedeisenschrot und Hammerschlag eingeschmolzen werden. Dieselbe wurde auf die Feuerbrücke gesetzt, schmolz und sammelte sich von Schlacke bedeckt im Herde. Nachdem das ruhende Metallbad mit Holzstangen umgerührt und dadurch gut von Schlacke befreit war, wurden Proben genommen, nach deren Beschaffenheit entweder stark cementirter Stahl oder Eisenabfälle zugesetzt wurden, je nachdem das Product zu weich oder zu hart erschien. Dann wurde die Schlacke gezogen und der Stahl in Formen abgestochen, um später ausgeschmiedet zu werden.

1845³⁾ nahm Josiah Marshall Heath ein Patent auf die Darstellung des Stahles nach folgender Methode: Das Roheisen wird flüssig aus dem Hochofen entnommen, oder im Flamm- oder Kupolofen umgeschmolzen. Man sticht es in einen überwölbten Herd ab, in welchem eine hohe Hitze erzeugt wird, indem aus Doppeldüsen Gas und Wind eingeleitet werden. Obwohl das Verhältniss zwischen Roheisen und Schmiedeisen wechseln kann, empfiehlt Heath für gewöhnlichen Stahl gleiche Mengen beider. Das Schmiedeisen wird in Form von Schnitzeln oder von Schwamm angewendet, hellrothglühend gemacht und dann in das Roheisenbad eingetragen. Nach hinreichendem Umrühren werden Proben genommen, während das Bad durch eine glasige Schlackendecke geschützt bleibt.

Obwohl dieser letzte Versuch genau an das jetzige Verfahren Martin's anschliesst, scheiterte er doch an dem Mangel hinreichender Temperatur und wohl auch an der Absicht, alle möglichen schlechten Materialien auf diese Weise in guten Stahl umwandeln zu können, einem Fehler, dem sich Martin übrigens nicht weniger im Anfange seiner Studien hingab.

Seit 1858, wo Sudre in Frankreich, zum Theile unterstützt durch kaiserliche Mittel, die Versuche in ziemlich gleicher Weise wie Heath aufnahm, sind sie nicht wieder unterbrochen worden, bis Martin zu Sireuil 1865 durch Anwendung der Simens'schen Regeneratorfeuerung⁴⁾ und unter Benutzung vorzüglicher Materialien einen praktischen Erfolg erreichte.

¹⁾ Mehrere historische Nachrichten, welche hier benutzt sind, verdanken wir Gruner, welcher sie in dem Aufsätze: De l'acier et de sa fabrication in den Ann. de mines, VI. Liv., t. XII, veröffentlicht hat. ²⁾ Seite 517. ³⁾ Specification Nro. 10 798. ⁴⁾ Welche Gruner, wie er am genannten Orte S. 282 angiebt, schon 1864 vorgeschlagen hatte.

Ueberblickt man die geschichtliche Entwicklung des Processes, so ist ersichtlich, dass, nachdem hauptsächlich durch den Puddelprocess die Anwendung der Flammöfen allgemein bekannt geworden war, die Versuche Stahl durch Zusammenschmelzen von Roheisen und Schmiedeisen herzustellen, ununterbrochen fortliefen. Das Scheitern ist der Regel nach einerseits dem Mangel an einem geeigneten, die Oxydation des Schmiedeisens hindernden Schutzmittel zuzuschreiben, wodurch ein vollkommener Frischprocess eingeleitet wurde, andererseits dem Mangel an geeigneter hoher Temperatur.

Da eine anhaltende hinreichend hohe Temperatur nur sehr schwer durch directe Feuerung zu erreichen ist, so darf mit Recht die Erfindung des Siemens'schen Regeneratorofens als die praktische Grundlage des Flammofenprocesses angesehen werden.

Aus diesem Grunde pflegt man den jetzt gebräuchlichen Process sowohl nach Martin als nach Siemens, auch wohl nach beiden zusammen zu bezeichnen.

Zusammensetzung der Anlage.

Der Hauptapparat einer Flammofenflussstahlanlage ist der Schmelzofen, welcher mit Generatorgasen betrieben wird und mit Regeneratoren versehen ist. Das Schmelzmaterial wird angewärmt in einem Glüh- oder Wärmofen, der ebenfalls durch Gas geheizt wird, aber nicht immer mit Regeneratoren versehen ist. Zuweilen ist der Wärmofen mit dem Schmelzofen verbunden. Das flüssige Product wird der Regel nach in eine Giesspfanne abgestochen, welche entweder drehbar, wie beim Bessemerprocess, eingerichtet ist oder feststeht. Zuweilen fehlt sie ganz. In den beiden letzten Fällen befinden sich die Gussformen auf einem Wagen, welcher vor dem Ofen entlang und unter der Giesspfanne oder dem Abstich her gefahren wird. Auch findet sich noch die Einrichtung, dass die Giesspfanne auf Rädern ruht und über die feststehenden Formen gefahren wird, endlich wenn auch selten, die Benutzung eines Drehtisches, auf dem die Formen stehen.

Der Schmelzofen.

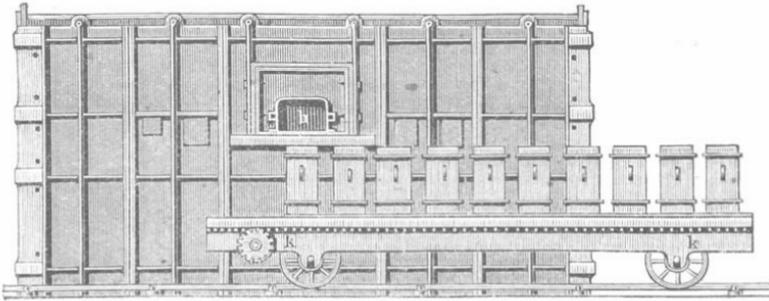
Der Schmelzofen ist stets mit Regeneratorfeuerung versehen. Mit gewöhnlicher Feuerung gelingt es zwar auch die nöthige Temperatur herbeizuführen, es ist dies aber sehr schwierig und noch schwieriger diese hohe Temperatur gleichmässig zu halten, daher es ganz verfehlt wäre, von der Regeneratorfeuerung wieder abzugehen.

Die gewöhnliche Art und Weise, in welcher dieser Ofen gebaut wird, ist in den Figuren 151 bis 155¹⁾ abgebildet.

¹⁾ Nach A. Noblet in Revue universelle, 15. année, t. 28, p. 181 u. Pl. IX.

Die Regeneratoren *cc* sind unter der Hüttensohle angeordnet und stehen paarweis der Länge nach, den ganzen Grundriss des Ofens in Anspruch nehmend. Der Herd selbst wird von Eisenplatten getragen und

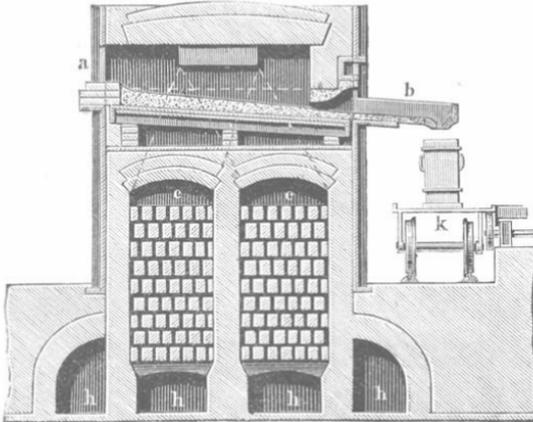
Fig. 151.



Vorderansicht von der Abstichseite.

lässt zwischen diesen und dem Gewölbe der Regeneratoren einen hinreichenden Raum, um Reparaturen und Auswechslungen machen zu können. Durch diesen Raum streicht die Luft und kühlt den Boden. In der Mitte der einen langen Seite des Ofens befindet sich die Einsatz-

Fig. 152.

Verticalschnitt nach *AB* (Fig. 154).

Decim. 1 0 1 2 3 4 Meter.

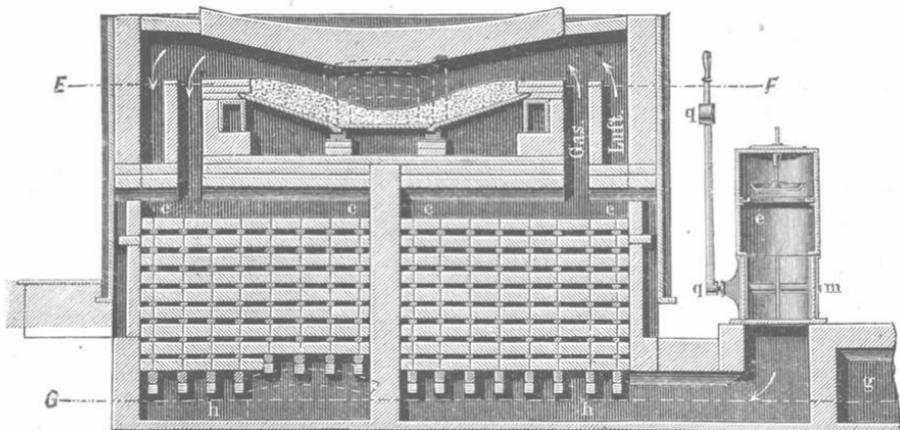
Maassstab für Fig. 151 bis 154.

thür *a*, an der entgegengesetzten der Abstich *b*. Bei dem abgebildeten Ofen stehen die Gussformen auf dem Wagen *k*, welcher mit Zahnstangen versehen durch ein Getriebe fortbewegt wird. Die Gas- und Luftzuführung zu dem Ofen ergibt sich aus dem Grundrisse Fig. 154 (a. f. S.); die Anordnung der Wechselventile *m* und *n*, welche durch Handgriffe *p* und *q*

bewegt werden, aus Fig. 155. Die Regulirung der Gasmengen geschieht durch Tellerventile.

Bei später errichteten Oefen zog man es vor, die vier Regeneratoren quer zum Ofen nebeneinander zu legen und zwar die beiden grösseren

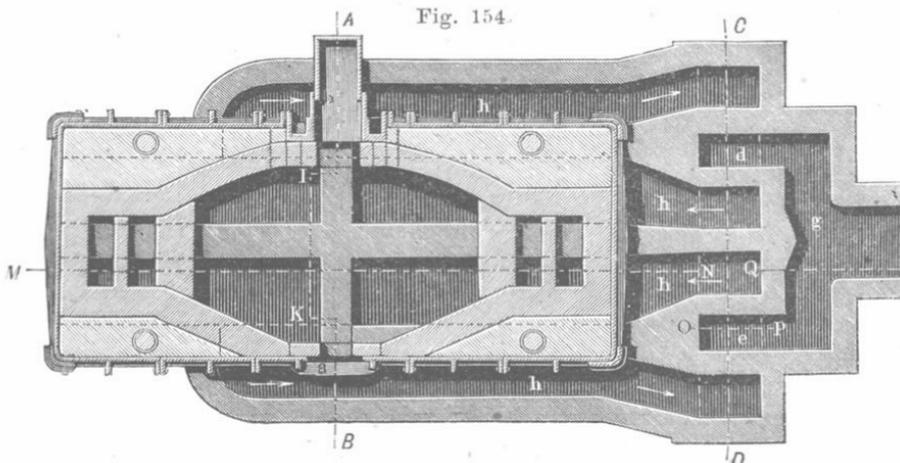
Fig. 153.



Längsschnitt nach MR (Fig. 154).

Luftregeneratoren in die Mitte, die kleineren Gasregeneratoren an die Seite (vergl. Fig. 156 S. 540). Endlich gelangte man zu der Anordnung, den unter dem Herde liegenden Raum ganz frei zu lassen, die Regene-

Fig. 154.



Grundriss nach EF und GH (Fig. 153).

ratoren aber paarweis seitwärts zu legen. Diese letztere Anordnung ist entschieden die beste, weil man dadurch allein die kostspieligen Regeneratoren ganz vor Beschädigungen von etwa durchbrechendem Stahl schützen kann.

Ferner lässt man jetzt zu besserer Vereinigung Gas und Luft in abwechselnden schlitzförmigen Kanälen (*G* und *L*) austreten, wie dies

Fig. 155.

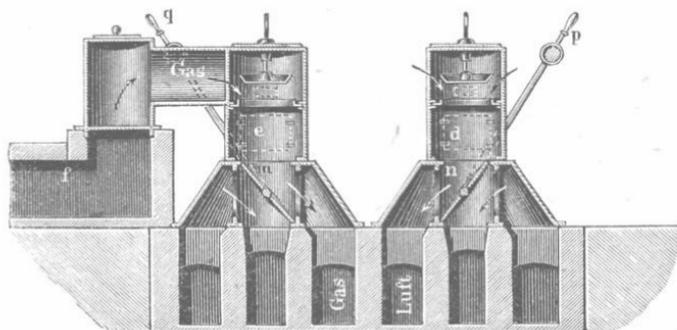
Ventile. Schnitt nach *CD* (Fig. 154).

Fig. 156 (a. f. S.) zeigt, an welcher gleichzeitig das System der über die tiefer liegenden Gussformen geführten Giesspfanne (*g*) dargestellt ist.

Vor allen Dingen kommt es darauf an, hinreichende Gasmengen zu Gebote zu haben, um den Ofen beständig in hoher Temperatur halten zu können. Es ist daher erforderlich, die Gasgeneratoranlage so einzurichten, dass etwaige Reparaturen und namentlich die von Zeit zu Zeit erforderliche Reinigung der Roste keinen störenden Einfluss ausübe, und daher lieber einen oder einige Reserveschächte anzulegen.

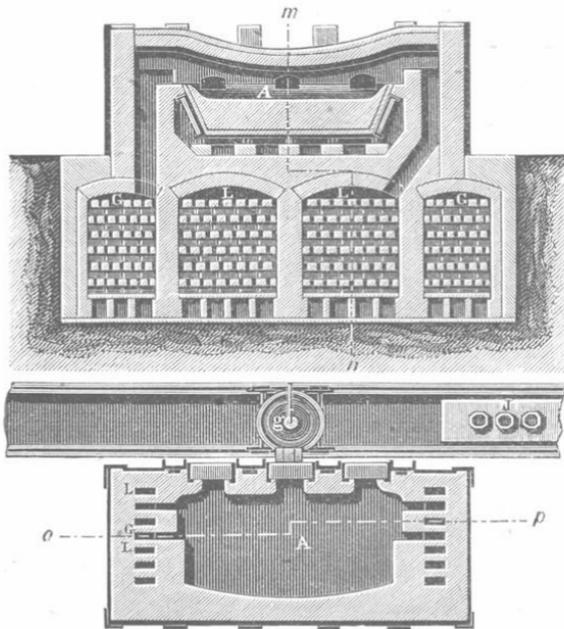
Der Regel nach befindet sich die Einsatzthür der Abstichöffnung gegenüber, seltener liegt sie, wie in der Fig. 156 (a. f. S.) an derselben Seite. Die erstere Einrichtung ist mehr zu empfehlen, erstens, weil die Anordnung des Glühofens sich bequemer auf der dem Abstich entgegengesetzten Seite macht und zweitens, weil man nach dem Gusse sofort zur Reparatur der Sohle schreiten muss und dabei durch die am Abstichloche unvermeidlich hängenbleibenden heissen Massen gehindert wird. Im übrigen muss man so kleine Oeffnungen als möglich wählen, damit der Luftzutritt von aussen und die damit verbundene Abkühlung auf ein sehr geringes Maass beschränkt werden könne. Freilich erleichtern mehrere Oeffnungen die Arbeit des Umrührens sehr und man ist daher vielfach zur Anlage von je drei Arbeitsöffnungen übergegangen, was auch zulässig ist, wenn dieselben gut und sauber schliessend gearbeitet sind und in diesem Zustande unterhalten werden.

Herdsohle.

Die Herdsohle wird, nachdem die Eisenunterlage mit Thonbrei überzogen ist, aus Sand aufgeschlagen. Der dazu verwendbare Sand muss feuerfest sein, d. h. darf bei den höchsten Temperaturen im Ofen nur an

der Oberfläche ein wenig sintern. Er kann einen geringen Thongehalt besitzen, welcher ihn plastischer macht. Zuweilen ist ein sehr geeigneter

Fig. 156.



Schmelzofen. Aufriß und Grundriß.

der Stahlsumpf zurückbleibt. Man giebt der Sohle eine Dicke von 0·15 bis 0·20 m.

Die Grösse des Herdes richtet sich nach der Menge des zu verarbeitenden Metalles, welches niemals ein über 0·1 bis 0·2 m tiefes Bad bilden soll. Man hat Oefen von 1000 bis 12 000 Kg Einsatz, obwohl man der Regel nach zwischen 1500 und 6500 Kg bleibt.

Beispiele. Die Oefen zu Sireuil sind für 1500 bis 2500 Kg, die zu Firmeny für 3000 bis 3500 Kg, die zu Terrenoire für 5000 Kg, die zu Creuzot für 3350 und 6300 bis 6350 Kg berechnet. Auf österreichischen Hütten setzt man 3000, auf westfälischen 3000 bis 4000 Kg in je einen Ofen ein.

Reparaturen.

Nach jeder Hitze muss der Herd, falls nicht ein Stahlsumpf zurückbleiben soll, sorgfältig von etwa anhängenden Stahlkörnchen gereinigt werden. Es bilden sich zuweilen kleine Tümpel in dem Boden. Diese

1) Oesterr. Jahrb. Bd. XX, S. 389.

Sand etwas eisenhaltig und dadurch gelblich oder röthlich gefärbt. Von Kalk, Alkalien und Schwefelkies muss er ganz frei sein. Ein mittelfeines, scharfkantiges Korn ist besser als ganz feiner und rundkörniger Sand. In Oesterreich wendet man nach Kuppelwieser¹⁾ mit Vortheil ein Gemenge von 4 bis 9 Thln. Quarzsand mit 1 Thl. feuerfestem Thon an.

Die Sohle wird concav aufgestampft und erhält eine geringe Neigung zum Abstich. Indessen legt man sie nicht selten so, dass nach dem Abstich noch ein als Auflösungsbad für die nächste Hitze dienender

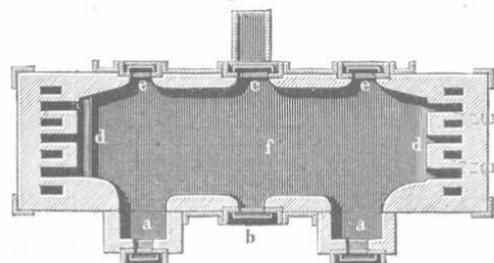
werden mittelst eines scharfen Hakens gleich nach dem Abstich und ehe das Metall erstarrt nach dem Stichloche hin abgezapft. Auch die Schlacke muss nach Möglichkeit entfernt werden. Darauf werden alle Unebenheiten des Bodens durch frischen Sand ausgeglichen. Ein Boden hält bei zwei- bis dreimaligem täglichen Schmelzen der Regel nach $1\frac{1}{2}$ Monate, nicht selten aber noch länger aus, ehe er ganz erneuert zu werden braucht. Wände und Gewölbe des Ofens macht man aus sehr feuerfesten, am besten Dinasziegeln, welche bekanntlich aus beinahe reinem Quarz mit etwas Kalk bestehen ¹⁾.

Eine Erneuerung des Gewölbes, welche nach $1\frac{1}{2}$ Monaten kaum zu umgehen ist, macht viele Schwierigkeiten, wenn man den Ofen nicht ganz abkühlen lassen will. Sie geschieht am besten so, dass man nach Abbruch des alten Gewölbes den Ofen mit Ziegelbrocken füllt und dadurch eine kühlere Oberfläche bildet, auf welcher die Gewölbbojen aufgeführt werden können. Nach Angabe von Noblet ²⁾ gelingt es auf diese Weise das Gewölbe in 45 Minuten zu erneuern, was allerdings sonst kaum erreichbar erscheint.

Der Glühofen.

Der Glühofen wird der Regel nach auch mit Gasen geheizt, aber häufig, obwohl sich hierfür ein triftiger Grund nicht einsehen lässt, fehlen die Regeneratoren. Man führt an, dass sich in diesem Falle die Abhitze zur Dampferzeugung benutzen lasse, indessen braucht man um so viel mehr Gas, welches mit besserem Erfolge direct zur Heizung von Dampfkesseln benutzt werden könnte. Der Ofen besitzt eine dem Schmelzofen

Fig. 157.



Schmelzofen mit Glühräumen.

gegenüber gelegene Einsatzthür. Ein Krahn bedient gemeinschaftlich beide Oefen.

Recht wohl kann ein Glühofen für zwei Schmelzöfen gemeinschaftlich gebraucht werden. Man stellt ihn dann gegenüber der Mitte beider und so, dass die von zwei Krähen,

welche die Schmelzöfen bedienen, beschriebenen Kreise gerade auf die Thür treffen.

Zu Dowlais in Südwaies ist die Anlage besonderer Glühöfen ganz vermieden und jeder Schweißofen ist mit zwei Vorherden zu diesem Zwecke versehen. Diese beiden in der Fig. 157 mit *aa* bezeichneten

¹⁾ Vergl. Bd. I der Metallurgie S. 243. — ²⁾ Revue universelle, 15. ann., t. 28, p. 181.

Vorherde liegen den Thüren *ee* gegenüber, welche hier nicht zum Einsetzen, sondern zum Hereinziehen der vorgeglühten Eisenstücke in den Herdraum dienen, was, wie es scheint, durch die an den Glühräumen selbst angebrachten Thüren nicht allein ausführbar ist. Dem Stich *c* gegenüber liegt die Arbeitsthür *b* des Ofens. Die Ofentheile *aa* werden beinahe nur durch die strahlende Wärme des Ofens geheizt, aber diese genügt auch vollständig.

Immerhin dürfte sich ein besonderer Glühofen mehr empfehlen, weil die Vorherde doch einigermaassen die sorgfältige Arbeit hindern, auch bei dem Besetzen derselben mehr Luft einströmt, als der Regel nach wünschenswerth ist; indessen kann man auch bei hinreichender Gasmenge das Vorwärmen und daher die dazu nöthigen Oefen oder Herde ganz entbehren, wie das z. B. bei Krupp in Essen geschieht, wo die Zusätze kalt in den Schmelzofen gelangen.

Der Process.

Nachdem das Aufschlagen oder die Wiederherstellung der Sandsohle im Schmelzofen vollendet ist, beginnt der Process mit dem Einsetzen der Regel nach zu heller Rothglut vorgewärmten Roheisens in Bruchstückform. Es wird mittelst einer an einem Drehkrahne hängenden Schaufel eingetragen und bei ganz geschlossenen Thüren eingeschmolzen, meistentheils ohne jeden Zusatz. Das Einschmelzen wird wesentlich erleichtert, wenn sich im Ofen von der vorhergehenden Hitze her noch ein Stahlsumpf befindet.

Die Grösse des Roheiseneinsatzes ist sehr verschieden und schwankt je nach der Beschaffenheit desselben und der in dem Ofen zu erzielenden Temperatur zwischen 150 und 1200 Kg.

Ist das Einschmelzen vollendet, so wird die Arbeitsthür geöffnet und mit einer Kratze (wie beim Puddeln¹⁾ der Herd untersucht; etwaige Ansätze werden losgebrochen und zum Schmelzen gebracht. Bei dieser Gelegenheit erfährt das Metallbad ein vollkommenes Durchrühren. Die Schlacke, welche sich gebildet und hauptsächlich Material aus den Ofenwänden und der Sohle erhalten hat, daher sehr kieselsäurereich zu sein pflegt, wird abgezogen, falls davon zu viel vorhanden ist. Zuweilen genügt indessen die vorhandene Schlackendecke zum hinreichenden Schutze des Metallbades nicht einmal, und dann ist es erforderlich eine künstliche Vermehrung eintreten zu lassen, was z. B. durch Zusatz von Gussstahliegelscherben²⁾ und ähnlichen Abfällen geschieht.

Der Ofen muss jetzt in seine höchste Temperatur gelangt sein. Ist dies der Fall, so werden soviel vorgewärmte Stahlabfälle von früheren Hitzen, vom Bessemern, Schienenenden, Stahlblechabschnitte u. s. w. zu-

¹⁾ Seite 208. — ²⁾ Aus denen man bei dieser Gelegenheit noch die mechanisch anhaftenden Stahlreste gewinnt.

gesetzt, als vorhanden, oder wenn deren zu viel sind, bis das Bad so weit abgekühlt ist, dass es eine grössere Menge nicht vertragen würde. An Stelle der Stahlzusätze, welche den Kohlenstoffgehalt zwar herabmindern, aber nicht im Stande sind, ihn bis zu dem Grade herabzuziehen, dass das Bad einen ihnen gleichen Kohlenstoffgehalt annimmt, wird schliesslich Schmiedeisen gegeben, welches wie jene der Regel nach vorgewärmt ist.

Die Zusätze erfolgen zwar in Partien von 10 bis 200 Kg, meist jedoch anfänglich nur zu etwa 50 Kg, dann in geringeren Sätzen von 10 bis 20 Kg. Nach jedem Zusatze wird das Bad mit schaufelartig gestalteten Krücken, auch mit Holzstangen, namentlich Birkenstämmchen, gründlich durchgerührt und von Schlacke befreit. Alle 20 bis 30 Minuten kann ein Zusatz gegeben werden.

Man kann zwar die Entkohlung des Roheisens gerade so weit führen, als dem Kohlenstoffgehalte des gewünschten Stahls entspricht, aber der so erzeugte Stahl ist stets mehr oder weniger kurzbrüchig in Folge eines Sauerstoffgehaltes und man zieht es daher vor, weiter zu gehen und schliesslich wieder Spiegeleisen zuzusetzen, wodurch der Process einen doppelten Charakter annimmt.

Statt des Spiegeleisens lässt sich naturgemäss Ferromangan gebrauchen.

Die Schlacke, welche auf dem Bade schwimmt, muss hellgrau oder hellbraun sein. Wird sie schwarz, so ist dies ein Beweis zu niedriger Temperatur. Man muss in diesem Falle mehr Gas geben, im übrigen aber diese Schlacke sorgfältig abziehen. Nach jedem Schlackenzuge wird eine Schöpfprobe genommen. Wartet man damit zu lange nach dem Umrühren, so fällt dieselbe unsicher aus, weil das Metall sich in Schichten verschiedener Zusammensetzung trennt. Das geschöpfte Metall wird theils zur Bestimmung des Kohlenstoffs durch Probe oder Analyse, theils zur Beurtheilung nach dem Bruche im rohen und gehärteten Zustande verwendet.

Zu letzterem Zwecke wird es in Stangenform gebracht und zwar wird ein Theil in Sand gegossen und langsam erkalten gelassen, ein Theil in eine eiserne Form gegossen, sofort nach der Erstarrung daraus entfernt und durch Abschrecken in kaltem Wasser gehärtet. Der Vergleich der Brüche beider Stäbe giebt einem erfahrenen Arbeiter so genaues Anhalten, dass er der Regel nach bei der Beurtheilung des Kohlenstoffgehaltes von der durch Probe festgestellten Höhe kaum um 0.1 Proc. abweichen wird. Uebrigens giebt bei hinreichender Uebung auch eine einfache Schmiedeprobe, welche gehärtet und dann gebrochen wird, hinreichendes Anhalten.

Die Dauer der Operation ist der Regel nach 6 bis 7 Stunden, so dass einschliesslich der Reparaturen drei Hitzen in 24 Stunden gemacht werden können; bei grossen Einsätzen kommt man indessen selten über zwei Hitzen.

Nach dem Zusatze des Spiegeleisens oder Ferromangans wird nochmals gut umgerührt und dann ohne Zögern abgestochen.

Chemische Vorgänge.

Im allgemeinen bestehen die Vorgänge einfach in einer Mischung zweier oder mehrerer Eisensorten von verschiedenem Kohlenstoffgehalte. Im einzelnen gestalten sich die Vorgänge aber verwickelter. Zuvörderst überdeckt sich das Roheisen beim Glühen und Transporte zum Schmelzofen und vor dem Einschmelzen mit Eisenoxydoxydul, welches beim Einschmelzen selbst oxydierend auf das Silicium und Mangan des Roheisens einwirkt und eine Schlacke bildet, zu welcher noch Kieselsäure aus dem Herde und Ofenfutter tritt. Eine Entkohlung ist daher ausgeschlossen. Ist das Roheisen sehr siliciumreich, so genügt der Sauerstoff des Glühspans nicht zur Oxydation und es bleibt nichts übrig, als sauerstoffabgebende Stoffe, wie reine Erze, Garschlacke, Hammerschlag zuzusetzen oder nach dem Einschmelzen und dem Abziehen der Schlacke einen kurzen Rührprocess durchzumachen, welcher die Feinung des Eisens vollendet. Der Regel nach zieht man indessen ein recht siliciumreiches einem daran ärmeren Roheisen vor, um sicher zu sein, eine Entkohlung zu vermeiden.

Bei der langen Dauer des Processes findet das Eisen nämlich meist noch genügend Sauerstoff zur Abscheidung kleinerer Mengen zurückgebliebenen Siliciums und es ist daher besser, beim Einschmelzen lieber zu wenig als zu viel zu oxydiren, um so mehr als im letzten Falle der Eisenabgang sehr vergrößert wird, weil das sich bildende oxydirte Eisen stets Kieselsäure aus den Ofenwänden zu seiner Verschlackung heranzieht.

Niemals darf man es zu einer eisenreichen und entkohlend wirkenden Schlacke kommen lassen, wenn man nicht eine Verbindung des Flussstahlprocesses mit einem mehr oder minder ausgebildeten Frischprocesse herbeiführen will. Deshalb ist auch der Zusatz von Eisenerzen, welcher dem Processe dann den Charakter eines Ueberganges zur Erzstahlarbeit ¹⁾ giebt, durchaus unzweckmässig, sobald die Siliciumverschlackung des Roheisens vollendet ist.

Dass sich übrigens eine Entkohlung niemals ganz vermeiden lässt und eine Reaction zwischen Schlacke und Kohlenstoff unter Kohlenoxydbildung immer, wenn auch in geringem Grade, eintritt, lässt sich leicht an dem Blasenwerfen der Schlacke erkennen, obwohl niemals ein Steigen oder Aufkochen wie bei den Frischprocessen eintritt. Auch liefern Proben und Analysen einen hinreichenden Beweis für einen der Regel nach nicht unbedeutenden Verlust an Kohlenstoff.

So führt Kupelwieser ²⁾ von einem österreichischen Werke Folgendes an:

¹⁾ Seite 497. — ²⁾ Oesterreich. Jahrb. XX, S. 396.

Der Einsatz betrug:

900 Kg Roheisen	mit 3.5 Proc. Kohlenstoffgehalt,	also 31.50 Kg Kohlenstoff
1000 " { Schmied-	" 0.1 " "	1.00 " "
{ eisenabfälle }	" " "	" " "
1000 " Stahlabfälle	" 0.3 " "	3.00 " "
175 " Spiegeleisen	" 5 " "	8.75 " "
zusammen		44.25 Kg Kohlenstoff
Das Product wog 2900 Kg und hatte 0.62 Proc. Kohlen-		
stoff, also		18.00 " "
Mithin waren an Kohlenstoff verloren		26.25 Kg od. 59 Proc.

In einem anderen Falle wurden sogar 73 Proc. abgeschieden, wonach der Process allerdings nicht mehr als reine Flusstahlarbeit anzusehen ist, sondern vielmehr als ein Uebergang zu einem Oxydations- oder Frischprocesse.

Je mehr man in gewissen Fällen absichtlich die Entkohlung begünstigen will, um so länger lässt man die Schlacke auf dem Bade. Sie wird dann namentlich, wenn es an hoher Temperatur mangelt, bald schwarz und die Kohlenoxydbildung geht in stärkerem Maasse voran, doch ist ein solches Verfahren stets zu Ungunsten des Productes, welches entschieden verschlechtert wird.

Am Ende des Processes erhält man ein kohlenstoffarmes, aber bereits sauerstoffhaltiges Eisen, welches daher eines Manganzusatzes nicht entbehren kann¹⁾.

Beschaffenheit des Materials.

Aus den soeben erörterten chemischen Vorgängen ergibt sich die Negation anderer und damit die nothwendige Beschaffenheit des Materials.

Roheisen.

Das Roheisen zur Erzeugung des Bades muss phosphor- und schwefelarm sein, denn es geht während des Processes von diesen Stoffen nichts verloren. Es kann ohne Schaden Mangan enthalten. Es soll nach vollendetem Einschmelzen nur amorphen Kohlenstoff besitzen; ein grafitisches Roheisen muss daher unter Abscheidung des grössten Theiles seines Siliciumgehaltes in weisses Roheisen übergegangen sein. Man nimmt zwar mit gutem Erfolge weisse und halbrte Roheisensorten, ebenso Spiegeleisen, auch gefeintes Eisen, welche schnell eingeschmolzen werden können, aber auch graues, siliciumreiches Roheisen lässt sich ohne Schwierigkeit verwerthen, wenn es nur bei hohem Siliciumgehalte

¹⁾ Ein Siliciumzusatz kann, mit Vorsicht angewendet, natürlich dieselben Dienste leisten (vergl. S. 513).

einem langsamen Einschmelzen, erforderlichenfalls sogar mit Zuschlägen, unterworfen wird, um sich dabei zu feinen, oder wenn es nach dem Einschmelzen eine besondere Feinperiode durchmacht.

Phosphor geht wegen der stets kieselsäurereichen Schlacke und der hohen Temperatur ganz und gar nicht fort und insofern steht der Process ebenso ungünstig wie das Bessemerfrischen. Schwefel scheint namentlich bei manganreichen Eisensorten während des Einschmelzens theils als schweflige Säure verflüchtigt, theils als Schwefelmangan in die Schlacke übergeführt zu werden; jedoch bleiben noch immer gewisse Mengen davon zurück, von denen allerdings wieder ein Theil schliesslich beim Zusatz von Spiegeleisen in die Schlacke geführt werden kann.

Stahl und Schmiedeisen.

Die Zusätze von Stahl und Schmiedeisen müssen frei von Phosphor und Schwefel sein, denn der Gehalt an ersterem Stoffe lässt sich gar nicht, der an letzterem nur in beschränktem Maasse (beim Zusatz des Spiegeleisens) entfernen.

Dies ist von praktischer Bedeutung bei der Verwerthung von Bessemerabfällen, welche, wenn sie aus phosphorhaltigem Roheisen erzeugt sind, den gesammten Phosphorgehalt von neuem in den Process bringen und daher, wenn das Materialroheisen ebenfalls phosphorhaltig ist, zu einer allmäligen Concentration des Phosphorgehalts führen.

Hat man nicht über phosphorfrees oder phosphorarmes Roheisen zu gebieten, so hilft auch nicht der schliessliche Zusatz von Ferromangan, welcher sich im übrigen zur Erzeugung eines kohlenstoffarmen und sauerstofffreien Products sehr wohl empfiehlt, soweit er ökonomisch ist.

Der ganze Flussstahlprocess ist von der Beschaffung der Stahl- und Schmiedeisenzusätze abhängig. Er wird da gewöhnlich unrentabel, wo man dies Material erst absichtlich durch irgend einen der Frischprocess herstellen muss, ist dagegen überall da mit grossem Vortheile zu verwenden, wo diese Materialien als ein Abgang, der sich schwer anderweitig verwerthen lässt, in hinreichender Menge erzeugt werden. Wo der Bessemerprocess nicht genügend heiss verläuft, um alle Abfälle direct in der Birne verwerthen zu können, bleibt der Flammofenflussstahl die beste Ergänzungsmethode; wo man Blechabschnitzel, Puntzen, Enden und dergleichen in grosser Menge bei der Verarbeitung des Schmiedeisens erhält, welche beim Schweissprocesse einen grossen Abgang erleiden würden, ist ebenfalls dieser Process ganz am richtigen Orte.

Ausnahmen kommen allerdings vor, wie zu Borsigwerk in Oberschlesien, wo längere Zeit hindurch zur Flammofenflussstahldarstellung Rohschienen zur Verwendung kamen, welche aus reinem Roheisen absichtlich zu diesem Zwecke erpuddelt wurden.

Das Eisen wird, wie erwähnt, der Regel nach angewärmt eingesetzt,

jedoch hängt es ganz von der Temperatur des vorhandenen Bades ab, ob man die Vorwärmung fortlassen darf ¹⁾.

Reductionseisen.

Als Reductionseisen pflegt man da, wo man Stahl erzeugen will, stets Spiegeleisen, da wo man weiches Eisen erzeugen will, zuweilen Ferromangan anzuwenden. Letzteres hat den schon mehrfach erörterten Vortheil einen Phosphorgehalt weniger empfindlich zu machen und ist nach Gautier ²⁾ aus diesem Grunde zu Terrenoire beständig mit sehr gutem Erfolge in Anwendung. Die Menge des Spiegeleisens pflegt der Regel nach 6 bis 10 Proc. des Roheisensatzes zu betragen, aber steigt auch auf 40 bis 50 Proc. Von Ferromangan genügen 2 bis 3 Proc.

Zuschläge.

Zuschläge beim Flammofenflusstahlprocesse können in Form von sauerstoffabgebenden Körpern zur Oxydation des Siliciums dienen, müssen aber mit Vorsicht benutzt werden. Ist das Roheisen manganarm, so dient wohl ein Zuschlag von Manganerzen zur Bildung einer leichtflüssigen, die Entkohlung hemmenden Schlacke, aber ein ökonomischer Vortheil ist selten damit verbunden, weil die Verschlackung auf Kosten der Kieselsäure aus den Ofenwandungen und dem Herde geschieht. Das Reductionseisen kann als zum Processe gehörig, nicht als Zuschlag betrachtet werden. Andere Zuschläge sind ebenso unnöthig als nutzlos. Im übrigen muss bemerkt werden, dass die zahlreichen Mittel zur Entfernung von Phosphor und Schwefel, welche beim Puddelprocesse S. 279 angegeben worden sind, auch hier versucht und ebenso erfolglos befunden wurden, wie dort ³⁾.

¹⁾ Mit Unrecht hält Kerl (Grundr. d. Hüttenk. III, S. 405) die Möglichkeit unangewärmtes Eisen anwenden zu können für einen Vorzug des Pernot'schen rotirenden Ofens. Krupp z. B. wendet auf seinem grossartigen Flammofenflusstahlwerke in gewöhnlichen feststehenden Ofen kein angewärmtes Eisen an. — ²⁾ Revue univers. 1874. — ³⁾ Dazu ist neuerdings noch die Warner'sche Mischung von Sodaasche und rohem Kalk getreten. Diese Mischung (2 Kg auf 1 Kg Silicium) wird in einen Schachtofen gebracht und das Roheisen darüber geleitet. Die schmelzende Soda soll die Kalktheilchen locker erhalten. Letztere verlieren beim Aufsteigen durch die Eisensäule ihre Kohlensäure, welche das Silicium oxydirt, während sich Schwefelcalcium bildet. Nach 20 bis 30 Minuten sollen Schichten von eisenfreien Sulfiden und Silicaten auf dem gereinigten Eisenbade schwimmen. Auch Mischungen von Soda mit Eisenoxyd, Manganoxyd, Zinkoxyd, gelöschtem Kalk, Flussspath, Lehm sind versucht. (Engineering 1875, Febr., S. 132, und Dingler's polyt. Journ. 1875, S. 125). Dieser Process erreicht umständlicher als das gewöhnliche Feinen (vergl. S. 40) die Entfernung des Siliciums, vollständiger, aber viel kostspieliger die des Schwefels.

Das Product.

Der Stahl.

Das Product nähert sich um so mehr in seiner Zusammensetzung der Summe aller angewendeten Stoffe, je weniger Oxydation auf der Oberfläche des Bades stattgefunden hat. Absichtlich pflegt man diese Oxydation indessen mindestens so weit gehen zu lassen, dass das im Roheisen enthaltene Silicium ganz verschlackt und also ein siliciumfreier Stahl entsteht. Der Mangangehalt des Products richtet sich ebenso nach dem Grade der eingetretenen Oxydation. Schwefel wird nur in geringer Menge, auch wenn absichtlich lebhafter als gewöhnlich oxydirt wird, entfernt. Phosphor bleibt in der ganzen Menge im Eisen, in welcher er durch die Materialien in den Ofen gelangt.

Slade¹⁾ giebt die Analyse eines aus einem Einsatze von 4 engl. Tonnen = 4064 Kg in 8 Stunden hergestellten Stahls für Dampfkesselbleche wie folgt:

Amorpher Kohlenstoff	0·6
Grafit	deutl. Spur
Schwefel	0·003
Phosphor	0·153 (?)
Mangan	0·144
Silicium	0·074
Kupfer	geringe Spur

Derselbe Autor führt noch zwei Analysen von einer Hitze an, bei welcher das Eisen (a), als es $9\frac{3}{4}$ Stunden im Ofen war, sich trotz des Zusatzes von Spiegeleisen rothbrüchig zeigte, während es (b) nach 33-stündigem Verweilen den Rothbruch verloren hatte.

	a.	b.
Amorpher Kohlenstoff . .	0·120	0·120
Grafit	deutl. Spur	deutl. Spur
Schwefel	0·007	0·008
Phosphor	0·275	0·113
Mangan	0·072	0·058
Silicium	0·025	0·015
Kupfer	Nichts	Nichts

Da während des Verweilens im Ofen mehrfach Spiegeleisen zugesetzt wurde, ist die angegebene Eigenthümlichkeit doch wohl nur aus der allmählig eintretenden vollständigen Entfernung vorhandenen Sauerstoffs zu erklären, worauf auch die Mangan- und Siliciumverminderung trotz der Zusätze hindeutet. Eben dadurch lässt sich auch die Verminderung des Phosphorgehaltes erklären.

Analysen eines in Dowlais erzeugten Stahls ergaben²⁾:

¹⁾ Journal of the Iron and Steel Institute und Deutsche Gewerbeztg. 1871, S. 44. — ²⁾ Nach Petzhold (Bolley, Handb. d. chem. Technologie).

	Zusammensetzung	
	eines Stahlblocks	einer daraus gewalzten Schiene
Eisen	98·97	99·08
Kohlenstoff	0·45	0·40
Silicium	0·02	0·01
Schwefel	0·04	0·04
Phosphor	0·05	0·05
Mangan	0·45	0·40
Kupfer	0·02	0·02

Flammofenflussstahl für Kesselblech vom Stahlwerk zu Trenton ¹⁾ in New Jersey ergab in mehreren Proben:

Kohlenstoff . . .	0·160	0·120	0·120	0·125	0·120
Phosphor	0·153	0·113	0·275	0·314	0·272
Schwefel	0·003	0·008	0·007	—	—
Mangan	0·144	0·058	0·072	—	—
Silicium	0·174	0·015	0·025	—	0·052

Flammofenflussstahl von Neuberg, untersucht von Lill ²⁾, war folgendermaassen zusammengesetzt:

Kohlenstoff	0·687
Silicium	0·046
Phosphor	0·036
Schwefel	0·008
Kupfer	0·404
Mangan	0·119
Eisen	98·700 ³⁾

Der Flammofenflussstahl nimmt je nach seiner Zusammensetzung genau die Stellung ein, welche einem jeden ebenso zusammengesetzten Rohstahl ⁴⁾ zukommt und es sind Ansichten, wie sie z. B. von Kerl in seinem Grundrisse der Eisenhüttenkunde Seite 402 entwickelt werden, nach welchen der Flammofenflussstahl im allgemeinen (?) eine Mittelstufe zwischen Bessemer- und Tiegelgussstahl einnehmen soll, gänzlich unbegründet. Seine Eigenschaft sich leichter als Bessemerstahl zu Façonguss verwenden zu lassen, beruht lediglich in seiner grösseren Freiheit von absorbirten Gasen, welche einen dichteren Guss gestattet. Genau ebenso verhält sich Bessemerstahl, wenn man ihn im flüssigen Zustande in einen Regeneratorflammofen leitet und unter hoher Temperatur stehen lässt, wobei er seine absorbirten Gase verliert.

Schlacke.

Gruner ⁵⁾ hat eine Schlacke von der Hütte zu Firminy analysirt und die folgenden Bestandtheile gefunden:

¹⁾ Americ. Eng. und Min. Journal 1874, Vol. 17, No. 23, und Berg- und Hüttenm. Ztg. 1874, S. 347. — ²⁾ Oesterr. Jahrb. XXI, 1873. — ³⁾ Differenz. —

⁴⁾ Auch der Flammofenflussstahl wird zum Gussstahl erst durch Umschmelzen im Tiegel. — ⁵⁾ Annales des mines Sér. VI, T. XII, p. 187.

Kieselsäure	64.33
Thonerde	8.66
Eisenoxydul	21.89
Manganoxydul	2.74
Kalkerde	3.00

 100.62

Die Schlacke war glasisch und blasig. Sie enthielt zahlreiche metallische Eisenkörner, welche vor der Analyse mit Hilfe des Magneten nach Möglichkeit ausgeschieden wurden. Der Ueberschuss der Analyse deutet indessen auf einen Rückstand daran.

Metallabgang und Brennmaterialverbrauch.

Der Eisenabgang muss sich vor allen Dingen nach der Höhe des Silicium- und Mangangehalts im Roheisen richten und schwankt in Folge dessen sowohl nach der relativen Höhe des ersteren, als nach der absoluten Menge des letzteren. Der theoretisch berechnete Abgang wird indessen wegen der Aufnahme von Kieselsäure aus Sohle und Ofenwänden in die Schlacke wesentlich überschritten. Man rechnet auf mindestens 5, gewöhnlich auf 6 bis 8, oft auch noch auf 10 Proc. Abgang. Mit dem Abfalle an Schalen u. s. w. kommen selten unter 10 bis 12, oft 14 Proc. heraus.

Der Kohlenverbrauch vermindert sich wesentlich mit der Grösse der Anlage, da die Gaserzeugung um so gleichmässiger und erfolgreicher von statten geht, je mehr Gas in gleicher Zeit dargestellt wird.

Zuweilen gelingt es auf 60 bis 70 Kg Steinkohle herunterzukommen, der Regel nach braucht man 100, oft 110 bis 120 Kg, wobei Heizen des Glüh- und Schmelzofens, Abwärmen der Giesspfannen u. s. w. einbegriffen ist. Nach Kupelwieser ist auf österreichischen Werken der Kohlenverbrauch durchschnittlich sogar 140 bis 160 Kg.

Herstellung von Flusstahl im rotirenden Tellerflammmofen.

Pernot hat seinen rotirenden ursprünglich nur zum Puddeln bestimmten Ofen ¹⁾, nachdem er ihn mit Regeneratoren versehen hatte, auch zur Flammofenflusstahlbereitung vorgeschlagen und eingeführt ²⁾. Die ökonomischen Resultate hinsichtlich des Kohlenverbrauches und des Eisenabganges liessen aus der Construction des Ofens kein günstiges Verhältniss vorhersagen, obwohl die ersten Nachrichten ungemein gut lauteten. Einer handschriftlichen Mittheilung des Herrn Ingenieur Gautier ³⁾

¹⁾ Vergl. S. 327. — ²⁾ Annales des mines 1774, p. 65. — ³⁾ d. d. Paris, 19. Juli 1875.

zufolge stellt sich das Verhältniss indessen aus einem dreimonatlichen vergleichenden Versuche folgendermaassen:

	Für 1000 Kg Eingüsse		
	Im Pernot-Ofen für Schienen- eisen	für weichen Stahl	
Verbrauch an	Kohle . . 695 Kg ¹⁾	663 Kg ²⁾	{ 520 Kg Gaskohle } 710 Kg ³⁾ 190 " " "
Abgang . .	6 Proc.	8 Proc.	7 Proc.
Production in 24 Stunden	16 600 Kg	15 833 Kg	16 800 Kg für Schieneneisen 15 000 " " weichen Stahl
Arbeitslöhne	9·91 Mark		8·16 Mark
Reparaturen und Unterhal- tungskosten	13·18 " "		8·20 " "

Also ist der zu Gunsten des feststehenden Flammofens sprechende Unterschied doch nicht so erheblich, als man vorauszusetzen geneigt sein könnte; aber auch in keiner Weise sind die Angaben gerechtfertigt ⁴⁾, wonach sich die Production um das Doppelte höher, die Löhne und Anlagekosten auf die Hälfte ermässigen und noch viele andere Vortheile herausstellen sollen.

Beispiele.

Martin schreibt vor:

für harten, kaum schmiedbaren Stahl	auf 100 Gewichtsthle. Schmiedeseisen	110 bis 120	Gewichtsthle. Roheisen
für Werkzeugstahl	auf 100 Gewichtsthle.	" 80 " 90	" " "
für weichen Stahl (Homogeneisen)	auf 100 Gewichtsthle. Schmiedeseisen	70 " 75	" " "

Sollen noch Eisenerze zugesetzt werden, so fällt der Roheisenverbrauch entsprechend höher aus.

Sireuil ⁵⁾ in Frankreich.

Zu Homogeneisen für Gewehrläufe: 600 bis 700 Kg halbirtes oder weissstrahliges Roheisen. Nach dem Einschmelzen werden jede halbe Stunde 100 Kg gepuddeltes Eisen zugesetzt, welches aus Holzkohlenroheisen hergestellt ist, im Ganzen bis zu 1200 Kg. Nach sechs Stunden wird ein verbranntes Eisen (0·001 Kohlenstoff) erhalten. Dann werden 125 bis 150 Kg Spiegeleisen zugefügt, worauf nach einer Stunde abgestochen wird. Das Product enthält 0·0043 Proc. Kohlenstoff.

Oder: zu 700 Kg Roheisen werden 1100 Kg gepuddeltes Eisen zugesetzt. Man erhält ein verbranntes Eisen von 0·0022 Proc. Kohlen-

¹⁾ Zu 11·12 Mark; — ²⁾ zu 10·61 Mark; — ³⁾ zu 10·48 Mark, die Tonne Gaskohle zu 16 Mark, die Tonne gewöhnliche Kohle zu 11·20 Mark veranschlagt. — ⁴⁾ Vergl. Kerl, Grundriss der Hüttenkunde III, S. 405. — ⁵⁾ Nach Rinman.

stoff, fügt 125 Kg Spiegeleisen zu und erhält ein Product von 0:0037 Proc. Kohlenstoff.

Der Verbrauch an Steinkohle pro Hitze ist:

für das Schmelzen	1260 Kg
„ „ Glühen	1080 „
zusammen	2340 Kg

Unter Berücksichtigung des Abganges braucht man für 1000 Kg Stahlgüsse 1300 Kg Kohle.

Creuzot ¹⁾ in Frankreich.

Zu 1750 Kg Roheisen werden 1500 Kg Stahl eingetragen, darauf wird so lange gearbeitet, bis ein Zusatz von 100 Kg Spiegeleisen zur Rückkohlung genügt; oder: zu 1200 Kg Roheisen werden 1500 Kg Schmiedeeisenstücke, 1620 Kg Schmiedeeisenabfälle, 1550 Kg Stahl, endlich 425 bis 575 Kg Spiegeleisen zugesetzt.

St. Chamond in Frankreich ²⁾.

Bei der Flussstahlerzeugung im rotirenden Tellerofen von Pernot ³⁾ wurden nach dreimonatlichem Durchschnitte auf 1000 Kg Eingüsse verbraucht:

	für weichen Stahl	für Schieneneisen
An gutem Koksroheisen	302 Kg	282 Kg
„ Spiegeleisen	23 „	99 „
„ Schmiedeeisen, Blechabfällen, Drehspänen u. Stahlrückständen	756 „ ⁴⁾	679 „ ⁵⁾

Selessin ⁶⁾ in Belgien.

Der Einsatz beträgt 600 bis 800 Kg. Nach dem Einschmelzen werden 200 bis 250 Kg Puddeleisen in Form von Luppenbruchstücken, ferner Eisen- und Stahlabfälle zugesetzt. Am Schlusse wird mit Spiegeleisen zurückgekohlt. Jeder Ofen liefert jährlich ca. 1000 Tonnen Stahl.

Zu Dowlais in England ⁷⁾

besitzen die Flussstahlflämmöfen Vorglühherde. Sie werden lediglich zum Umschmelzen der Rückstände vom Bessemern und der Abfälle aus Bessemerstahl erzeugter Schienen verwendet.

¹⁾ Nach Notizen des Verfassers aus 1869. — ²⁾ Nach handschriftlichen Mittheilungen des Herrn Ingenieurs Gautier zu Paris. — ³⁾ Vergl. S. 550 u. 327. — ⁴⁾ Darunter Schmiedeeisen aus Koksroheisen 630 Kg und Blechabschnitte aus demselben Stahl 120 Kg. — ⁵⁾ Darunter Bessemerschienenabfälle 670 Kg. — ⁶⁾ Nach Noblet, Revue univers. 1873, t. 33, p. 33 und Berg- u. Hüttenm. Ztg. 1873, S. 308. — ⁷⁾ Nach Petzholdt, Handb. d. chem. Technol. von Bolley, Bd. VIII, 2. Abthl., S. 36.

Auf 762 Kg graues Bessemerroheisen kommen nach dem Einschmelzen 3556 Kg Schienenenden und 762 Kg Birnenrückstände (*Scrap*); endlich wird mit 457 Kg Spiegeleisen zurückgekohlt.

In 24 Stunden werden zwei Hitzen à 5080 Kg Product geschmolzen.

Zu Neuberg ¹⁾ in Oesterreich

werden Hitzen von 3360 Kg gemacht. Auf 100 Kg graues Roheisen für das Einschmelzbad kommen 280 Kg Abfälle von Schmiedeeisen und Stahl und endlich 20 Kg Spiegeleisen. Der zwischen 5 und 15 Proc. schwankende Verlust beträgt im Durchschnitt 8 Proc. (einschliesslich der 1 bis 2 Proc. betragenden Abfälle).

Man verbraucht auf 100 Kg Gussblöcke 80 bis 100 Kg Steinkohle, oder 140 bis 160 Kg Braunkohle.

Die Production beträgt jährlich pro Ofen ca. 3000 bis 3500 Hitzen.

Lesjöförs in Schweden ²⁾.

Die Flammöfen daselbst fassen 1275 Kg. Als Brennmaterial dient Holz. Der Boden wird aus gepochtem, reinem Quarze mit Zusatz von $\frac{1}{25}$ bis $\frac{1}{30}$ Thon hergestellt. Gewölbe und obere Theile der Regeneratoren sind aus Dinasziegeln hergestellt. Das Abstichloch wird mit einem Pfropfen von Grafit und darauf Quarzmasse verschlossen. Der Abstich erfolgt in Formen, welche sich auf einem Drehtische befinden. Der Herd hält sechs Wochen aus, die übrigen Theile sechs bis zwölf Wochen.

Das Roheisen ist fast ganz weiss. Nach einer halben Stunde ist es hinreichend heissflüssig und dann beginnt der Zusatz an Eisen.

Es sind pro Schicht drei Arbeiter beschäftigt.

Man brauchte im Durchschnitt von ca. 100 Schmelzungen ungefähr 0.989 cm Holz auf 100 Kg Product und setzte gleiche Menge Roheisen und Schmiedeeisen, sowie ein Viertel vom Roheisen an Stahlabfällen. Der Abgang betrug 8 Proc. Man erzeugte Eisen im Kohlenstoffgehalte von 0.1 bis 1.6 Proc.

Zu Munkfors in Schweden

wird seit 1868 Flammofenflusstahl dargestellt und zwar in zwei mit Regeneratoren und Lundin'schem Condensator ³⁾ versehenen Oefen, deren jeder nur 800 bis 1200 Kg Eisen fasst. Als Brennmaterial wird lufttrocknes Holz angewendet, und zwar werden 0.524 bis 0.628 cbem auf 100 Kg Product verbraucht. Man fabricirt hauptsächlich weiches Nagel-eisen ⁴⁾.

¹⁾ Denkb. d. österreich. Berg- u. Hüttenw. 1873, S. 246. — ²⁾ Nach Uhr, Jern. Kontorets Annaler 1871 und Berg- u. Hüttenm. Ztg. 1871, S. 298. —

³⁾ Vergl. S. 171. — ⁴⁾ Kerpely, Das Eisen auf der Wiener Weltausstellung 1873, S. 208.

Abarten der Flusstahlprocesse¹⁾.

Um ein festes Gusseisen zu erhalten, setzt man dem im Herde des Kupolofens oder im Flammofen, zuweilen auch schon in der Giesspfanne enthaltenen Eisen Feil-, Bohr- und Drehspäne von Schmiedeisen oder Stahl zu und rührt gehörig um. In Deutschland nennt man solches Eisen Stahlguss, in England Zäheisen (*tonghened cast iron*).

Nach einem anderen Verfahren legt man die Späne schiedbaren Eisens in die Giesskelle und sticht das Gusseisen darauf ab, auch bereitet man sich ein Zwischenproduct, welches im Kupolofen eingeschmolzen werden muss, dadurch, dass man das Roheisen aus dem Hochofen in eisernen Formen oder Schalen absticht, in denen Drehspäne ausgebreitet liegen.

Alle diese Methoden bezwecken nur eine Herabminderung des Kohlenstoffgehaltes im Gusseisen, ohne doch bereits die Menge so zu verkleinern, dass schmiedbares Eisen, also Stahl, entsteht.

Schlussfolgerung.

Der Flusstahlflammofenprocess theilt gegenüber dem Tiegelschmelzen mit dem Bessemerflusstahlprocesse die Eigenschaft grosse Production zu gestatten, wenn auch der letztere ihn noch bedeutend übertrifft, da ein Paar mittlerer Birnen ca. 15 bis 16 Flammöfen ersetzen kann.

Der Flusstahlprocess gestattet die Benutzung weissen, siliciumarmen Roheisens und eine genaue Untersuchung des Productes während der Arbeit. Dies sind seine Vorzüge vor dem Bessemerflusstahlprocesse. In Bezug auf die erforderliche Reinheit der Materialien stehen beide ziemlich auf gleicher Stufe, obwohl es bei sorgfältiger Arbeit gelingt, durch den Flammofenprocess mehr Schwefel abzuscheiden, als durch den Bessemerprocess. Am günstigsten gestaltet sich die Combination beider Processe.

Der Flammofenflusstahl hat wegen des ruhigen Stehens des Stahlbades vor dem Abstiche in hoher Temperatur den Vorzug einen nicht so steigenden Stahl wie der entsprechende Bessemerprocess zu geben, weshalb es leichter mit ersterem gelingt, ohne Umschmelzung in Tiegeln dichten Façonguss zu erzeugen²⁾.

¹⁾ Das Umschmelzen von Schmiedeisen im Kupolofen wird im folgenden Kapitel erwähnt werden, vergl. S. 514. — ²⁾ Von dem Steigen des Stahles und den Mitteln es zu verhindern wird bei der Tiegelgussstahlbereitung ausführlich die Rede sein.

Hinsichtlich weiterer Fortschritte in diesem Prozesse ist besonders hervorzuheben, die Anwendung flüssigen Roheisens, welches in Kupolöfen eingeschmolzen wird. Es ist auffallend, dass diese Methode noch nirgends eingeführt ist, obwohl sie namentlich bei grösseren Anlagen, wo ein Kupolofen beständig schmelzen kann, um die Flusstahlöfen zu versorgen, gewiss richtig wäre. Es ist wohl anzunehmen, dass die nöthige Menge Sauerstoff zur Oxydation des Siliciums im Roheisen in diesem Falle leicht durch das vorgewärmte Schmiedeeisen oder den Stahl einzuführen wäre, da man den Glühofen nur mit einer Luftöffnung zu versehen braucht, um einen beliebigen Grad der Oxydation zu erzielen. Hat man reine Erze zu Gebote, so lässt sich — wie oben auseinandergesetzt — durch diese der nöthige Sauerstoff zuführen. Uebrigens liesse sich auch sehr wohl eine Combination des Feinfeuers mit dem Flusstahlöfen in der Weise denken, dass das flüssige gefeinte Eisen direct in letzteren abgestochen würde.

d. Rennflusstahl.

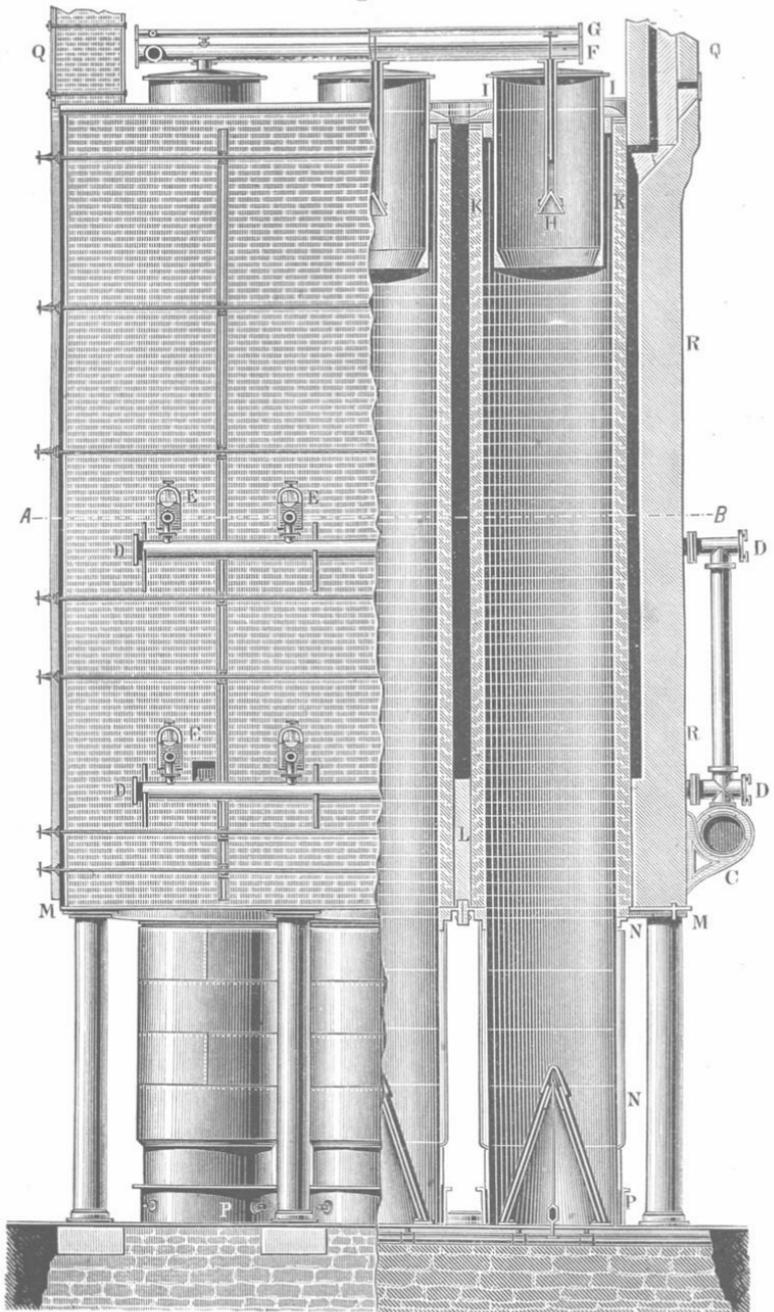
Der Uebergang von den eigentlichen Rennarbeiten zu den Rennflusstahlarbeiten war leicht gegeben, sobald die Flusstahlerzeugung bekannt wurde. Es brauchte zu den zu reducirenden Erzen nur Roheisen zugefügt, oder das reducirte Erz in geschmolzenes Roheisen geworfen zu werden, um beide Arbeiten mit einander zu vereinigen. So leicht ausführbar der Process aber auch im Principe erscheint, so schwierig gestaltet er sich in der Praxis und von allen Versuchen hat bisher noch keiner zu dem gewünschten Resultate geführt, nämlich Erze der gewöhnlichen Beschaffenheit mit 25 bis 40 Proc. Eisengehalt und den bekannten Verunreinigungen an Kieselsäure, Thonerde, Kalkerde etc. dadurch verwenden zu können.

Bei Gelegenheit der Beschreibung der Rennarbeiten in dem ersten Theile der Eisenhüttenkunde ist mehrfach darauf hingewiesen worden, wie man versucht hat, den Eisenschwamm, welcher durch Reduction von Erzen erhalten war, in einem Roheisenbade zu lösen. Derselbe Punkt ist bei der Besprechung des Siemens'schen Processes (Seite 261 und 273) erwähnt worden. Alle Experimentatoren haben dabei wesentliche Schwierigkeiten gefunden, weil der Eisenschwamm, aus reinen Erzen erzeugt, zu porös und daher zu leicht ist, um schnell unterzusinken, also von neuem Sauerstoff absorbirt, und den Process in eine einfache Erzstahlarbeit überführt.

Der Amerikaner Blair¹⁾ hat das folgende Verfahren angewendet, welches er auf alle Arten Erze zu übertragen hofft. Er reducirt die

¹⁾ Transactions of the American Institute of Mining Engineers Vol. II, p. 175: „The direct process in iron manufacture by Thomas Blair.“

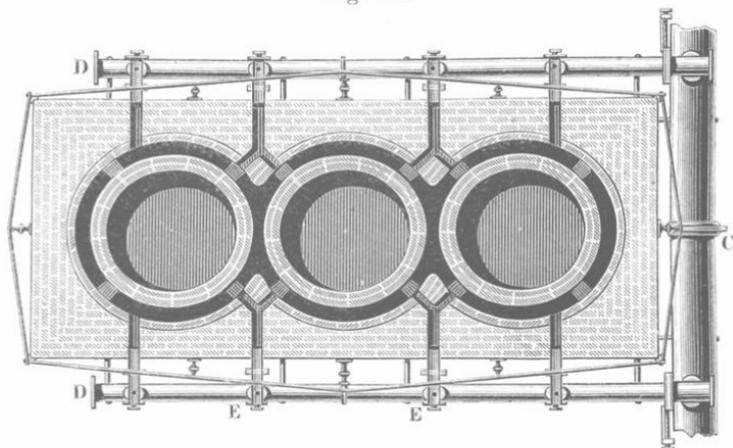
Fig 158.

Blair's Reductionsofen zu Glenwood. $\frac{1}{100}$.

Eisenerze in dem oberen ringförmigen Theile eines hohen Cylinders *K*, in dessen unterem Theile die vollständige Abkühlung stattfindet.

Der Ofen, welcher sich zur Darstellung von Eisenschwamm sehr wohl bewährt hat, ist in Fig. 158 und 159 abgebildet.

Fig. 159.

Blair's Ofen. Horizontalschnitt nach *AB* (Fig. 158).

Der Apparat besteht aus einem schachtförmigen Raume, welcher oben durch einen eingehängten Cylinder in zwei Theile getheilt ist, deren äusserer ringförmiger zur Reduction der Eisenerze dient. Der Raum hat 2·5 m Höhe bei nur 10·8 cm Weite. Der Cylinder ist oben geschlossen und empfängt durch den Deckel Wind (von *F*) und Gas (von *G*). Ausserdem befinden sich in den Seitenwandungen mehrere Oeffnungen, durch welche das überschüssige Kohlenoxyd in den Ringraum dringt. Die Verbrennungsgase finden ihren Abzug am unteren Ende der Röhre. Von aussen wird der ganze obere Ofenraum erhitzt, (*D* Gas- und *E* Luftzuführung). Die Erze, welche in den Ringraum durch Deckel *JJ* aufgegeben werden, sollen reducirt sein, sobald sie ihn verlassen, so dass der untere volle Raum nur noch zur letzten Vollendung der Reduction, hauptsächlich aber zur Abkühlung der Erze dient, bevor sie an die unten gelegenen, durch einen Ring *P* verschliessbaren Ziehöffnungen gelangen. *N* ist eine Wasserkühlung.

Blair glaubt nicht ganz mit Unrecht, dass grade dieser Apparat besser als die vor ihm erfundenen zahlreichen ähnlichen geeignet sei, einen vollständig reducirten, d. h. von oxydirtem Eisen freien Schwamm zu erzeugen und legt darauf einen besonderen Werth.

Würde man aber auch einen noch so vollkommen reducirten Eisenschwamm in seinem lockeren Zustande in ein Roheisenbad bringen, so würde das Resultat genau dasselbe sein, wie bei Siemens, Rogers und Anderen, d. h. der Schwamm würde so lange auf dem Bade schwimmen, bis er ganz oder theilweise verschlackt wäre. Um dies zu verhüten,

presst Blair ihn unter einer starken hydraulischen Presse (21928 Kg pro Quadratcentimeter) kalt in Form von cylindrischen Blöcken von 16 cm Durchmesser und 32 cm Länge¹⁾. Diese bringt er in das Roheisenbad und löst das Eisen — wie er angiebt — ohne wiederholte Oxydation auf, während die Gangarten ungeschmolzen und unverändert zurückbleiben. Blair hat nur die sehr reinen und reichen Eisenglanze vom Iron Mountain in Missouri und vom Lake Superior verwendet.

Sehr zu bezweifeln bleibt aber, ob dieser Process mit armen Erzen gelingt, in denen das oxydirte Eisen aufs innigste mit Gangarten gemengt ist, wie z. B. in allen unseren Thoneisensteinen, den meisten Braun- und Rotheisensteinen. Gerade für diese Erze wird ein Zusammendrücken des Eisenschwamms nur nachtheilig wirken und das Herauslösen des reducirten Eisens verhindern.

Hier müsste man also womöglich den pulverförmigen Zustand wünschen und denkt wohl an einen günstigen Erfolg, wenn man etwa die Erze mit einem Kohlenoxydstrome in das Roheisenbad einbliese, so dass sie darin aufsteigen müssen.

So wenig auch der Blair'sche Process geeignet ist, Hoffnungen zu erwecken auf ein Gelingen mit den gewöhnlichen armen Erzen, so sehr verdient doch diese Art der Flussstahlerzeugung die Beachtung und aufmerksame Verfolgung Seitens der Hüttenleute, weil sie einen der Wege andeutet, auf welchem man vielleicht auch phosphorhaltige Erze benutzen kann, ohne den Phosphorgehalt in das Metall überzuführen, was ja den Vorzug der eigentlichen Rennarbeiten bildet.

Das Schwierigste wird immer die Leitung der Temperatur bleiben, welche beständig auf gleicher, wenn auch möglichst geringer Höhe gehalten werden muss, während sich fortwährend abkühlende Einflüsse geltend machen.

Es möge hier kurz der Methode von Kazetl gedacht werden, welcher die Siemens'sche Idee das Eisen aus einer dasselbe enthaltenden geschmolzenen chemischen Verbindung, einer Schlacke, zu fällen, weiter verfolgte, nachdem die von Kerpely²⁾ und Anderen in der letzteren Richtung angestellten Versuche durchaus ungünstige Resultate ergeben hatten. Kazetl will aus der Schlacke, welche durch Schmelzung der Erze ohne Reduction in einem Schmelzofen gebildet werden kann, durch Kohlenoxyd das Eisen ausfällen.

Kupelwieser³⁾ macht mit Recht darauf aufmerksam, wie schwierig es sei, selbst unter der Voraussetzung, dass die Bildung einer nur Eisenoxydul haltenden Schlacke gelänge, in demselben Apparate das Eisen auszufällen, weil damit sofort eine ganz anders silicirte Schlacke entste-

1) Ein ganz ähnliches Verfahren hatte bereits weit früher Chenot benutzt, wie weiter unten S. 565 mitgetheilt wird. — 2) Berg- u. Hüttenm. Ztg. 1874, S. 365 u. 373. — 3) Oesterreich. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenwesen 1874, S. 488.

hen würde, welche einen völlig veränderten Schmelzpunkt gegen die ursprüngliche besässe, und in der That ist ein solcher Process, auch selbst wenn er in zwei verschiedenen Apparaten durchgeführt werden soll, kaum denkbar ohne Zuschläge (wie etwa Manganoxyde oder Kalk), welche bei Erzeugung einer eisenfreien Schlacke die ursprüngliche Silicierungsstufe aufrecht erhalten. Kazetl will nun ausserdem das Eisen in einem flüssigen Zustande ausfällen; doch hierin dürfte eine ebensogrosse Schwierigkeit als Unvollkommenheit des Processes beruhen, weil man sicher sein kann, damit den Hauptvortheil, ein phosphorfreies oder phosphorarmes Eisen zu erhalten, wieder aufzugeben.

In denselben Fehler verfällt auch Ehrenwerth ¹⁾, welcher den festen oder rotirenden Flusstahlflammofen anwenden will, um die mit Kohle gemengten Erze bei niedriger Temperatur zu reduciren, bei hoher Temperatur in Gegenwart eines Ueberschusses von Kohle zu kohlen und unter Benutzung flüssigen, überhitzten Roheisens einzuschmelzen, wobei ein flüssiges und doch reines Product erfolgen soll.

Es verträgt sich eine hohe Temperatur mit einer alleinigen Reduction des Eisens nicht und die einzige Möglichkeit zum Ziele zu gelangen, scheint gegenwärtig noch immer, sobald man es mit unreineren Erzen zu thun hat, darin zu liegen, wie bei dem Katalonischen Rennfeuer oder dem alten Stückofen ein festes Eisen zu erzielen, aus welchem Schlackenreste, die sich im flüssigen Aggregatzustande befinden, ausgesaigert oder mechanisch entfernt werden können.

¹⁾ J. v. Ehrenwerth, Darstellung von Eisen und Stahl direct aus Erzen. Ein Vortrag, 1875.

B. K o h l e n s t a h l .

Der Kohlenstahl wird wie der Flussstahl durch Schmelzung hergestellt, aber der höhere Kohlenstoffgehalt wird zugeführt, ohne dass gleichzeitig die Eisenmenge vermehrt wird. Statt des kohlenstoffhaltigen Eisens muss also ein eisenfreier Körper benutzt werden, und dieser Körper ist der Regel nach ein verkohltes Brennmaterial, Holzkohle oder Koks, welche beide im wesentlichen aus Kohlenstoff mit geringen Beimengungen von Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff, sowie Aschenbestandtheilen bestehen.

Man hat zwei Methoden, von denen die erste in Tiegeln ausgeführt wird, die andere im Gebläseschachtofen.

a. Tiegelkohlenstahl.

1. Damaststahl (Wootzstahl).

Man nennt — wie Abtheil. I, S. 250 ¹⁾ bereits ausführlich erörtert ist — Damast oder Damascirung des Stahls jene eigenthümliche ader- oder wellenförmige Zeichnung, welche hervortritt, wenn man den polirten Stahl mit schwacher Säure anätzt. Der indische Stahl, welcher früher hauptsächlich in Damascus zu Säbelklingen verarbeitet wurde, zeigte diese Eigenthümlichkeit in ganz besonders schöner Weise. Die dem Auge wegen einer gewissen Parallelität angenehmer erscheinenden verworrenen Linien würden schwerlich allein dem Damascener- oder Damaststahl seinen von Alters her bis heutigen Tags unbestrittenen Weltruf verschafft haben, wenn nicht gleichzeitig eine ausgezeichnete Qualität des

¹⁾ Vergl. auch Wilkinson. Engines of War. „On swords, bronze and iron; and on the cause of the pattern, or watering of the Damascus blades.“ p. 184 et seq. und Percy, Iron, p. 860.

selben, namentlich eine grosse Elasticität in gehärtetem Zustande, hinzugekommen wäre.

Der Stahl wird in einer höchst unvollkommenen Weise bereitet, aber gerade dieser technisch unvollkommenen Methode der Darstellung verdankt er zum grössten Theil seine beliebten Eigenschaften.

Das Material zu der Damaststahlbereitung bildet ein durch Rennarbeit in kleinen Schachtöfen erzeugtes Eisen, dessen Darstellung in der ersten Abtheilung Seite 489 u. f. beschrieben wurde. Dasselbe wird noch heiss in kleine Stücke zerschlagen und diese werden mit grünen Blättern und kleinen Holzstückchen gemischt in Thontiegel von geringem Fassungsvermögen eingesetzt.

Von diesen letzteren werden gegen 20 gemeinschaftlich in einem Gebläseofen mehrere Stunden lang erhitzt. Hierbei kohlt sich das Eisen an der Oberfläche so stark, dass der erzeugte Stahl zu fließen beginnt, während die inneren kohlenstoffärmeren Theile nur in einen teigigen Zustand gerathen. Man lässt das Product im Tiegel erkalten und schlägt letzteren entzwei. Das Product, Wootz genannt, ist in diesem Zustande ein inniges Gemenge von Eisentheilen verschiedenen Kohlenstoffgehalts. Die kohlenstoffreicheren Theile durchziehen die ärmeren aderartig. Namentlich an den Wandungen des Tiegels zeigt sich reichlicher das kohlenstoffreichere Eisen und deshalb wird der Klumpen unter Einwirkung der Luft zuvörderst ausgeglüht, wobei die Kruste nicht unerheblich entkohlt wird. Nun wird das Stück nochmals erhitzt und unter Hämmern ausgeschmiedet. Hierdurch werden die verschieden gekohlten Theile zwar durcheinander gearbeitet, bilden aber in der Hauptsache doch Lagen mit einigermaassen parallelen Begrenzungen.

Wird ein solches Stück nach dem vollendeten Ausschmieden und Abschleifen angeätzt, so greift die Säure, mit welcher dies geschieht, die einzelnen Theile des Eisens in Folge ihres abweichenden Kohlenstoffgehalts in verschiedener Weise an. Das kohlenstoffarme Eisen behält seinen metallischen Glanz, obwohl es am stärksten gelöst wird, während das kohlenstoffreichere sich mit einer fest anheftenden schwarzen Schicht überzieht, welche von ausgeschiedenem Kohlenstoff herrührt. Sowohl das verschiedene Korn, welches den Reflex des Lichtes bedingt, als die verschiedene Farbe bringen jene schöne Wirkung hervor, welche man um so höher schätzt, in um so gefälligerer Form die Begrenzungslinien geschwungen sind.

Es entsteht zuvörderst die Frage, ob man bei dem hohen Werthe des Damaststahls denselben nicht auf gleiche oder ähnliche Weise in Europa herstellen könne. Die Antwort darauf muss entschieden bejahend in technischer, aber verneinend in ökonomischer Beziehung ausfallen. Eben nur jene sehr billigen Arbeitslöhne, welche in Indien bei der Erzeugung des Eisens und Stahls Platz greifen, dabei die nur dort mögliche Benutzung der Rennarbeit zur Darstellung eines sehr reinen Eisens aus an sich schon vorzüglichen Erzen machen noch eine Production ren-

tabel, welche es hier nicht sein würde. Da aber gerade die technische Unvollkommenheit der Methode die Beschaffenheit des Products bedingt, so lässt sich die Arbeit auch durch keinen besseren und daher auch bei uns billigeren Process ersetzen.

Künstlicher Damast.

Man hat zwar versucht durch Zusammenschweissen von Stahl- und Schmiedeisenstreifen oder Drähten verschiedenen Kohlenstoffgehalts, durch Winden, Durchhämmern und wiederholtes Schweissen des Products ein dem echten Wootzstahl gleiches Product zu erhalten, aber wenn auch ein ähnlicher Charakter erlangt wird, kommt doch niemals dieser künstliche Damaststahl dem echten an Schönheit gleich.

Clouet und Hachette ¹⁾ haben namentlich eine Reihe von Versuchen angestellt, um durch Zusammenschweissen verschiedener Eisen-theile die Wirkung des echten Damastes nachzuahmen. Sie nahmen entweder Stahlplatten verschiedenen Kohlungsgrades und pressten diese in eine gravirte Platte, wodurch alle entsprechenden Theile gleiche Verlängerungen erhielten, und schweissten dann das Packet zusammen; oder sie schweissten Bündel von Stahlstäben oder Draht zusammen, gaben denselben eine schraubenförmige Drehung, theilten sie der Länge und der Quere nach und schweissten die Stücke wieder zusammen. Es unterliegt keinem Zweifel, dass man auf solche Weise recht schöne Muster erzeugen kann, namentlich auch jene am Damaststahl von Liebhabern oft begehrten ringförmigen Figuren, ohne doch die Linienstellung des echten Damasts zu erreichen.

Noch viel weniger schön wird der nach Mille's Verfahren hergestellte Stahl. Hierbei werden in ein Packet von Stahlblättern Punzen eingeschlagen und nachher durch Fortfeilen der Hervorragungen wellenförmige Linien hervorgerufen.

Ebensowenig ist das Verfahren Bréant's empfehlenswerth. Derselbe schmilzt Schmiedeisen mit Kohle im Tiegel (auf 100 Theile Eisen 2 Theile Lampenruss mit oder ohne Zusatz von Mangan, auch Feilspäne von grauem Gusseisen oder oxydirtem Eisen) und lässt dann den Stahl recht langsam erkalten. Hierbei sollen sich die ungleich gekohlten und nicht hinreichend gemischten Massen zum Theil nach dem specifischen Gewichte trennen und nach dem Erkalten ähnliche Muster zeigen wie der echte Damaststahl. Man sieht das Verfahren ist viel zu sehr vom Zufall abhängig und es lässt sich leicht erkennen, dass dasselbe in keiner Beziehung besser ist als das nachher beschriebene indische.

¹⁾ Bergwerksfreund V, S. 390.

Das Auffinden geringer Mengen von Mangan, Nickel, Chrom, Wolfram, Aluminium, Kupfer, Arsen u. s. w. im echten Damaststahl hatte früher auf den Gedanken gebracht, dass man durch einfache Legirung mit derartigen Stoffen das gleiche Ziel erreichen würde, aber wenn sich auch Stahl, der grössere oder geringere Mengen jener Stoffe enthält, wirklich etwas verschieden gegen die Einwirkung der Säure zeigt, so ist doch diese Verschiedenheit keineswegs in dem Grade merklich, dass selbst bei hinreichender Ungleichmässigkeit der Vertheilung eine dem echten Damaststahle nur annähernde Zeichnung entstehen sollte.

So hat z. B. de Luyne¹⁾ trotz vielfacher Versuche mit Legirungen von Eisen mit Mangan, Nickel und Wolfram weder ein dem indischen gleiches, noch ein ebenso billiges Product herzustellen vermocht.

Wie übrigens bereits in der ersten Abtheilung²⁾ erörtert, ist keineswegs das Vorhandensein jener Stoffe nothwendig zur Bildung von Damaststahl, denn viele Arten des echten enthalten thatsächlich gar nichts davon.

Der indische Process.

Buchanan hat 1807 den indischen Process genau beschrieben³⁾.

Ein Eisenstück, welches etwa der dritte Theil eines in den gewöhnlichen indischen Oefen⁴⁾ erzeugten Eisenklumpens ist, wird in einem conischen Tiegel von rohem Thon, mit Holz von *Cassia auriculata* und zwei grossen glatten Windenblättern (*Convolvulus* oder *Ipomoea*) zusammengebracht, der Tiegel hierauf mit einem Deckel von rohem Thon verschlossen, verschmiert und in der Nähe eines Feuers gut getrocknet. Der Schmelzofen besteht aus einem kleinen runden Schacht, der sich etwas nach oben erweitert. Ein Thonrohr führt den aus zwei Bälgen, die abwechselnd bearbeitet werden, kommenden Wind an den Boden des vertieften Feuerraums, welcher zuvörderst mit Holzkohle gefüllt wird. Sodann wird rings um dessen Mündung auf den etwas geneigten Boden des Ofenschachts eine Reihe von Tiegeln mit dem Deckel nach aussen gelegt, darauf eine zweite Reihe in derselben Weise und schliesslich wird das so gebildete Kuppelgewölbe durch einen einzigen Tiegel als Schlussstein vollendet. Hierauf wird der der Windform gegenüber liegende Tiegel wieder herausgezogen und durch einen Iren, welcher mit seiner Mündung nach innen liegt, ersetzt. Dieser letztere kann nun leicht während der

1) Bergwerksfreund IX, S. 225. — 2) S. 28 u. a. a. O. — 3) Percy, Iron, p. 773 aus A Journey from Madras through the countries of Mysore, Canara, and Malabar. By Francis Buchanan, M. D. London, 1807, 2, p. 20. Der fragliche Process wurde auf der Reise von Sira nach Seringapatam beobachtet. —

4) Vergl. Abtheil. I, S. 489 u. f.

Arbeit entfernt werden und es bildet sich dadurch eine Oeffnung, welche als Feuerloch zur Einführung frischen Brennmaterials dient. Nach dem Anzünden der Holzkohlen und dem Anlassen des Gebläses wird die Arbeit in 4 Stunden vollendet. Das Tiegelgewölbe wird darauf zerstört, durch ein neues ersetzt und die Arbeit unmittelbar wieder fortgetrieben. Man macht täglich der Regel nach 5 Hitzen zu 14 Tiegeln.

Die erkalteten Tiegel werden zerbrochen und liefern jene wohlbekannteren conischen Wootzkuchen mit etwas strahliger oder besser radial faltiger Oberfläche, welche Handelswaare bilden. Diese Kuchen sind umgeben von etwas glasiger Schlacke. Jeder Tiegel soll etwas über ein Kilogramm liefern, giebt aber selten mehr als 0.9 Kg. Ist der Stahl gar nicht geflossen, was auch vorkommt, so zeigt sich nur eine geringe Kohlung und das Product ist ein gewöhnliches Schmiedeisen.

Heath ¹⁾ giebt eine etwas abweichende Schilderung. Nach ihm werden die durch Rennarbeit gewonnenen Eisenklumpen zuvörderst zu Stäben ausgeschmiedet, letztere in kleine Stücke geschnitten und davon im ganzen 0.23 bis 0.90 Kg in den Tiegel gebracht, vermischt mit $\frac{1}{10}$ des Gewichts an getrockneten Holzspänen und bedeckt mit einem oder zwei grünen Blättern.

Dann wird die Mündung des Tiegels mit Thon gefüllt, welcher, fest aufgestampft, den Zutritt der Luft ganz abschneidet. Das Holz soll nach Heath von *Cassia auriculata*, die Blätter von *Asclepias gigantea* und nur, wenn letztere nicht zu beschaffen sind, von *Convolvulus laurifolius* herrühren. Das weitere Verfahren wird genau so wie von Buchanan beschrieben, aber die Zeit des Schmelzens nur auf 2 $\frac{1}{2}$ Stunde, die Zahl der Tiegel dagegen auf 20 bis 24 angegeben. Auch Heath führt als Kennzeichen vollendeter Schmelzung die radialen Faltungen auf der Oberfläche des Stahlkegels und die Freiheit derselben von Löchern oder Auswüchsen an, wogegen bei unvollkommener Arbeit (ungenügender Hitze) die Oberfläche löcherig erscheint und oft hervorragende unveränderte Eisenstücke umschliesst.

Die Stahlkuchen werden nun mehrere Stunden hindurch in einem Holzkohlenfeuer bei einer Temperatur wenig unter dem Schmelzpunkte ausgeglüht, wobei man den Wind um das Eisen spülen lässt. Heath giebt als Grund für diese Arbeit den bei der Schmelzung erhaltenen zu hohen Kohlenstoffgehalt an, welcher nachträglich durch das Ausglühen wieder gemindert werden solle.

Immerhin bleibt der Wootzstahl eine der kohlenstoffreicheren Sorten, denn er lässt sich sehr schwer schweissen und nur bei dunkler Rothglut schmieden, während er bei höherer Temperatur leicht springt ²⁾.

¹⁾ Josiah Marshall Heath; Appendix to the Report on the Government Central Museum, Madras. By Edward Balfour. Madras 1856, p. 1, aus Madras Journal of Literature and Science 2, p. 184 durch Percy, Iron, p. 774. —

²⁾ Vergl. auch Experiments and Observations to investigate the Nature of a kind of Steel manufactured at Bombay, and there called Wootz with Remarks

Henry hat die folgenden Analysen (b. zeigt eine wiederholte Bestimmung) von einem Stück Wootzstahl in Form einer 10 cm langen und 2·5 cm im Quadrat starken Stange mitgetheilt ¹⁾:

		a.	b.
Kohlenstoff	{ amorph	1·333	1·340
	{ grafitisch	0·312	—
Silicium		0·045	0·042
Schwefel		0·181	0·170
Arsenik		0·037	0·036
Eisen (aus der Differenz)		98·092	
		100·000	

Aluminium fehlte. Das specifische Gewicht war 7·727.

Nach einer Analyse Faraday's aus dem Jahre 1819 ²⁾ enthielt ein indischer Wootzstahl:

1·3 Proc. Silicium und
0·65 „ Aluminium.

Dr. Pearson ³⁾ führt folgende Bestimmungen des specifischen Gewichts an:

1. Wootzstahl	7·181
2. desgl. von einem anderen Stück	7·403
3. No. 1 ausgeschmiedet	7·647
4. No. 2 desgl.	7·503
5. Geschmolzener Wootzstahl	7·200
6. Gehärteter Wootzstahl	7·166

2. Eisenschwammprocess (Rennkohlenstahlprocess).

An den indischen Process schliesst sich sachgemäss die Benutzung eines durch Reduction aus Erzen enthaltenen Eisenschwammes bei vollkommener Schmelzung an. Das Product wird dann wohl Rennkohlenstahl genannt.

Chenot ⁴⁾, dessen Rennarbeit in Abtheilung I, Seite 582 u. f. ausführlich beschrieben wurde, hat den Eisenschwamm als Material in folgender Weise benutzt. Der Eisenschwamm wird gemahlen, durch Magnete so weit wie möglich von eisenfreien Gangarten getrennt, darauf mit Holzkohlenpulver, Harz oder ähnlichen kohlenstoffreichen Substanzen gemischt oder in flüssige Kohlenwasserstoffe, Holztheer, Fette u. s. w. ⁵⁾ eingetränkt.

on the Properties and Composition of the different States of Iron. By George Pearson, M. D., F. R. S. Read June 11, 1795. — ¹⁾ Journal für praktische Chemie, Bd. 57, S. 236. — ²⁾ Berg- u. Hüttenm. Zeitschr. 1869, S. 153. — ³⁾ Percy, Iron, p. 776. — ⁴⁾ Percy, Iron, p. 766, aus Revue universelle IV, 1859, p. 40 (Grateau). — ⁵⁾ Petroleum wäre, wenn es Chenot gekannt hätte, sicherlich nicht ausgelassen worden. Bei Anwendung fettiger Substanzen soll-

Der so vorbereitete Eisenschwamm wird nun stark (auf $\frac{2}{3}$ seines ursprünglichen Volumens) zusammengepresst und dabei in die Form kleiner cylindrischer Stücke gebracht ¹⁾, welche in Tiegeln geschmolzen werden.

Nach vollendeter Schmelzung soll der Rest der Gangarten auf dem Metallbade schwimmen und nach Zufügung von etwas Sand zur Verschlackung derselben vor dem Gusse abgezogen werden. In jeden Tiegel kommen 18 bis 25 Kg Eisenschwamm, welche in 4 Stunden einschmelzen. Die, wie der Rennprocess Chenot's ²⁾, seinerzeit mit vieler Reclame behandelte Methode ist verlassen worden; sie hilft nicht über die Schwierigkeit fort, welche die nothwendige Verschlackung der Gangarten ohne Eisenoxydation macht. Würde man bei vollkommenem Luftausschluss einen Stahl erzeugen können, welcher gewissermaassen zwischen den unberührt bleibenden, d. h. ungeschmolzenen und eisenfreien Gangarten aussaigerte, so würde der Möglichkeit der Ausführung des Processes nichts mehr entgegenstehen, auch wenn die Erze weder vollkommen noch nahezu reines Eisenoxyd sind, aber eine solche Ausführung ist bisher noch nicht gelungen.

Es möge bei dieser Gelegenheit bemerkt werden, dass — wenn man der Combination des Hochofen- und Bessemerprocesses nicht die Anerkennung der vollkommensten Eisenerzeugung unter der Voraussetzung zugestehen will, dass es gelingt, einen Phosphorgehalt unschädlich zu machen —, sich dann gegenwärtig für eine Darstellung im Grossen in der That nur die beiden Wege bieten, entweder (nach dem Vorgange von Siemens) aus einer flüssigen Eisenschlacke das Eisen im festen Zustande auszufällen, während eine flüssige Schlacke übrig bleibt, oder aus einem mit den Gangarten vermischten Eisenschwamm das höher gekohlte Eisen in flüssiger Form auszusaigern, während jene im festen Zustande zurückbleiben.

3. Tiegelkohlenstahl aus festem Schmiedeeisen.

Wenn schon nach Heath die Inder zur Darstellung des Wootz ausgeschmiedetes Renneisen benutzten, so liegt in der Anwendung des durch einen der Frischprocesses hergestellten Schmiedeeisens gewiss nichts Neues. Mushet liess sich indessen im Jahre 1800 einen solchen Process patentiren ³⁾, wonach Schmiedeeisen in Form von Stäben oder Ab-

ten die unzertheilten Klumpen des Eisenschwamms benutzt werden, welche erst nachträglich einer Zerkleinerung unterlagen und, um einen zu hohen Kohlenstoffgehalt zu vermeiden, mit unimprägnirtem Eisenschwamm gemischt dem weiteren Verfahren übergeben wurden. — ¹⁾ Man sieht Blair (S. 556) hat dieses Verfahren nachgeahmt für den analogen Flussstahlprocess. — ²⁾ Vergl. Abtheil. I, S. 583. — ³⁾ Manufacture of Cast-Steel, and an improved Coking Furnace, A. D. 1800, Nov. 13, No. 2447, und Mushet, Papers on Iron and Steel, 1840, p. 525.

fällen mit kohlenstoffhaltigen Substanzen geschmolzen werden sollte. Die dazu benutzte Holzkohle sollte $\frac{1}{100}$ des Eisengewichtes nicht überschreiten. Er wendete den Process hauptsächlich zur Erzeugung eines kohlenstoffarmen Stahls oder kohlenstoffreichen Schmiede Eisens an und schlug dann nur $\frac{1}{140}$ bis $\frac{1}{150}$ an Holzkohle zu.

1839 erhielt Vickers ein Patent¹⁾ auf die Herstellung von Stahl durch Schmelzung in Tiegeln von je 45·36 Kg Eisenbohrspänen oder Schmiedeisenabfällen mit 1·36 Kg schwarzem Manganoxyde und 1·36 Kg bester gemahlener Holzkohle²⁾.

Ein ähnliches Product von Shortridge, Howell & Co. zu Sheffield erregte wegen seiner vorzüglichen, dem geringen Kohlenstoffgehalte³⁾ zuzuschreibenden Eigenschaften, nämlich einer grossen Zähigkeit, verbunden mit Schweissbarkeit und etwas grösserer Härte, als gewöhnliches Schmiedeisen besitzt, bei der Londoner Ausstellung 1862 grosses Aufsehen. Man wandte damals den wie es scheint 1856 zuerst von Howell⁴⁾ gebrauchten Ausdruck Homogeneisen (*Homogeneous metal*) an, welcher indessen, später ebenso und häufiger für Flussstahl gebraucht, keine gute Bezeichnung ist.

Es mögen hier noch einige von Percy⁵⁾ mitgetheilte, zum Theil auf gänzlicher Unkenntniss des chemischen Vorgangs gegründete Versuche Tiegelkohlenstahl herzustellen erwähnt werden.

Brooman⁶⁾ wollte Eisen mit Cyansalzen und Salmiak schmelzen. Die Mischung sollte sein: Auf 100 Gewichtstheile Holzkohle 60 Gewichtstheile Kochsalz, 5 Gewichtstheile Ziegelmehl oder Manganoxyd, 10 Gewichtstheile Salmiak, 5 Gewichtstheile Ferrocyankalium. Dazu das 80fache der Holzkohle an Eisen.

Thomas⁷⁾ nimmt eine Mischung von 16 Gewichtstheilen Kochsalz, 3 Gewichtstheilen Ferrocyankalium, 1 Gewichtstheil doppeltchromsaurem Kali, 4 Gewichtstheilen pulverisirter thierischer Kohle, dabei 1 Gewichtstheil der Mischung auf 40 Gewichtstheile Eisen, als seine Erfindung in Anspruch.

Binks⁸⁾ will cyanhaltige und ammoniakhaltige Substanzen anwen-

1) A. D. 1839, June 25, No. 8129. — 2) Vickers wollte übrigens auch Roh-eisen dazu mischen, circa 14 Kg mit etwas über 1 Kg Manganoxyd und 1·5 Kg Holzkohle, was einen Uebergang zur Tiegelflussstahlbereitung (S. 516) geben würde. — 3) Es enthielt 0·23 Proc. Kohlenstoff oder etwa $\frac{1}{430}$ wenn, wie Percy

(Iron, p. 777) angiebt, ausserdem 0·334 Proc. fremde Substanzen (Silicium, Schwefel, Phosphor, Mangan) darin waren. — 4) Improvements in the manufacture of cast-steel. A. D. 1856, Oct. 9, No. 2369, vergl. S. 515. — 5) Iron, p. 801. —

6) A communication, A. D. 1856, Febr. 12, No. 359, Abridgments, p. 218. —

7) A communication, George Cumming Thomas, A. D. 1856, Sept. 3, No. 2039. —

8) Christopher Binks, A. D. 1856, Nov. 14, No. 2695 und A. D. 1856, Nov. 25, No. 2711.

den, auch Ströme von Stickstoff, Kohlenoxyd und Ammoniak durch geschmolzenes Eisen leiten.

Am drolligsten dürfte das Patent von Charles Low¹⁾ sein, welcher Schmiedeeisen in Tiegeln schmelzen will mit einer Mischung von 42 Gewichtstheilen schwarzem Manganoxyd, 8 Gewichtstheilen Grafit, 14 Gewichtstheilen Holzkohle und 2 Gewichtstheilen Salpeter. Mit Recht bemerkt Percy hierzu: „Diese Mischung gäbe gewiss ein herrliches Feuerwerk!“

Endlich ist noch zu erwähnen, dass bei der Tiegelkohlenstahlbereitung, welche eine Zeitlang einige Ausdehnung gewonnen hatte, oft Thon zugeschlagen wurde, dass indessen hiermit nur eine Eisenverschlackung verbunden sein kann und dass abgesehen von dem Zuschlage einigen Manganoxydes zur Bildung einer leichtflüssigen Schlackendecke, welche die Aschenbestandtheile der Holzkohle und abbröckelnde Tiegeltheilchen aufnimmt, ein Zuschlag überhaupt nicht zu empfehlen ist. Uebrigens sind auch selbst Manganoxyde, oder wie Andere²⁾ vorgeschlagen haben Eisenoxyde (Hammerschlag) deshalb gefährlich, weil sie die Tiegelwände stark angreifen und anfressen und daher praktisch oft mehr Schaden als Nutzen anrichten.

Schlussfolgerung.

Die Tiegelkohlenstahlerzeugung nach indischer Methode ist für europäische Verhältnisse zu kostspielig; ebenso die Combination der neueren Rennarbeiten mit dem Umschmelzen im Tiegel unter Zusatz von Kohle, wenn sie überhaupt ausführbar ist; die Tiegelkohlenstahlerzeugung mit festem Schmiedeeisen ist nur für kleine Productionen berechnet, lässt sich besser durch Flussstahlerzeugung ersetzen und wird daher ebenfalls immer nur eine beschränkte Anwendung behalten, wenn sich auch nicht verkennen lässt, dass durch Zusammenschmelzen reinen Schmiedeeisens mit Holzkohle ein sehr vorzügliches Product erzeugt werden kann. Die Unsicherheit des Kohlungsgrades indessen lässt diesen Process ebenfalls gegen die Combination des im Folgenden beschriebenen Cementirens mit nachfolgendem Umschmelzen zu Gussstahl zurücktreten.

b. Kupolofenstahl.

Wird Schmiedeeisen in einem Gebläseschachtofen mit hinreichendem Aufwande von Koks oder Holzkohle durchgeschmolzen, so kohlt sich das

1) A. 8. 1844, May 25, No. 10 204. — 2) z. B. Howell.

selbe höher und kann je nach der Zeit des Verweilens im Ofen und der herrschenden Temperatur in Stahl oder Roheisen umgewandelt werden. Auf diese Weise gelingt es aus einem Roheisen, welches durch directe Stahlerzeugung kein brauchbares Product geben würde, ein solches zu erhalten, wenn man es zuvörderst durch Ueberführung in Schmiedeeisen mittelst eines Frischprocesses reinigt und dann zurückkohlt.

Parry in Ebbw Vale hat den Vorgang benutzt, nicht um direct Stahl zu erzeugen, sondern um Eisenabfälle (Durchstösse von Kesselblech, Blechschnitzel, Stabeisenenden und dergleichen mehr), welche aus einem phosphorhaltigen Eisen durch Puddeln hinreichend phosphorfrei erhalten waren, in Roheisen umzuwandeln. Dieses Roheisen wurde in einen Bessemerapparat abgestochen, dort wieder ganz entkohlt und durch Spiegeleisen zurückgekohlt.

Man hat diesen Process zu Königshütte in Oberschlesien ¹⁾ nachgeahmt, ihn auch hinsichtlich des Resultats bestätigt gefunden, aber in ökonomischer Beziehung die Erfahrung gemacht, dass das Product viel zu theuer ausfällt, um das Verfahren im Grossen anwenden zu können.

Der Vorgang des Kohlens wird wesentlich erleichtert, wenn man mit dem Schmiedeeisen geringe Mengen Roheisen durchschmilzt. Es wird dann nur zur Verschlackung anhaftenden Sandes u. s. w. ein geringer Kalkzuschlag nothwendig.

Ist auch der Process, wie angegeben, zu einer Stahlerzeugung im Grossen nicht geeignet, so empfiehlt er sich doch zur Verwerthung von Abfällen, welche sich im Flussstahlflamofen wegen zu grosser Feinheit nicht wohl verarbeiten lassen, wie Drehspäne, Feilspäne, Hobelspane etc. Diese schmilzt man im gewöhnlichen Giessereikupolofen mit Roheisen durch und erhält dann ein Product, welches meist ein wenig kohlenstoffärmer ist, als das Gusseisen ohne diesen Zusatz sein würde, weil bei schnellerem Schmelzen eine sehr viel höhere Kohlung nicht stattfindet. Das Product ist dann für zähe Gusswaren, wie Wellen und dergleichen mehr, sehr geeignet ²⁾.

Auch hier finden sich mancherlei Uebergänge zur Erzstahlerzeugung. Man lässt nämlich zuweilen die Späne, welche mit dem Roheisen durchgeschmolzen werden sollen, zuvörderst an der feuchten Luft liegen, besprengt sie wohl auch mit schwacher Säure oder Eisenvitriol, mischt sie mit Steinsalz oder besprengt sie mit Salzlösung. Ist auch der Zweck mehr der, die feinen Späne, welche leicht durch den Wind ausgeblasen werden und oft in Form eines starken rothbraunen Rauchs verbräunen, zu compacten Massen zusammenzukitten, so wirkt doch die mehr oder minder stark eingetretene Oxydation der Kohlung entgegen, da zuvörderst eine entsprechende Reduction eintreten muss. Bei hinreichend

¹⁾ Vergl. S. 244 u. Preuss. Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenwesen Bd. XIV, S. 156. — ²⁾ Es wird oft wie das analoge Flussstahlproduct (S. 554) Stahlguss genannt.

schnellem Durchschmelzen und geringerem Kohlenaufwand geht der Process mehr oder minder in eine Flusstahlerzeugung über.

Praktische Ausführung des Parry'schen Processes.

Der Ofen, welcher sich im allgemeinen nicht von den gewöhnlichen Kupolöfen unterscheidet, hat ausser der horizontalen Form noch eine zweite kleinere, welche mit 30 bis 45° Stechen abwärts geneigt ist. Diese letztere soll die schnelle Kohlhung des Eisens begünstigen, wobei vorausgesetzt werden muss, dass der Windstrom das sich am Herde ansammelnde Eisen nicht treffen kann, da sonst gerade das Umgekehrte, nämlich eine heftige Entkohlung, stattfinden würde.

Nachdem der Ofen angeheizt ist, wird er mit je 355 Kg Koks (sammt etwas Kalk zur Verschlackung der Asche) auf 1000 Kg Schmiedeeisen in Form von 10 bis 15 cm langen Abfällen und Enden von Puddelisen beschickt und zwar so, dass immer 200 Kg Eisen gleichzeitig aufgegeben werden. Der Ofen wird beständig voll gehalten. Ein Ofen von 0.76 m im Quadrat, mit abgerundeten Ecken und 3.05 bis 4.57 m Höhe, der den Wind von einer horizontalen Düse von 0.06 und einer geneigten Düse von 0.03 m Durchmesser erhielt, wobei der Wind eine Pressung von 0.17 bis 0.21 Kg auf den Quadratcentimeter hatte, kohlte in der Stunde eine Tonne Eisen.

Parry bemerkt, dass oxydirtes Eisen als dichter brauner Rauch aus der Gicht entweichen würde, wäre nicht die Kohlensäule hoch genug, um stets von neuem eine Reduction herbeizuführen. In der That sah aber der Verfasser in Ebbw Vale selbst bei diesem Prozesse stets den braunen Rauch entweichen und auch Percy²⁾ sagt, dass man denselben auf weite Entfernungen bemerken könnte. Bei einem 1 m hohen Ofen zeigte sich wirklich ein Verlust von $\frac{1}{5}$ des Eisens durch Sublimation.

Nach dem Patente wollte Parry das erzeugte gekohlte Eisen von neuem dem Puddelprocesse unterwerfen, ja das Verfahren mehrfach wiederholen, um ein vorzüglich reines Product zu erzeugen.

Parry hoffte so aus phosphorhaltigem Roheisen ein Schmiedeeisen zu erzielen, welches für den Cementirprocess wohl geeignet sei. Er giebt als einen Erfahrungssatz an, dass durch das Puddeln der Schwefelgehalt auf $\frac{1}{3}$, der Phosphorgehalt auf $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{5}$ verringert werden könne und daher bald ein hinreichend reines Eisen erreicht werden müsse.

Sind die Koks schwefelhaltig, so soll möglichst viel Kalk zugesetzt werden, auch sollen die ersteren im trockenen Zustande in Kochsalz- oder Sodalaug getaucht oder diese Stoffe in den Ofen gestreut werden.

¹⁾ Improvements in the manufacture of Iron and Steel. A. D. 1861, No. 2900, und Percy, Iron, p. 665. — ²⁾ Iron, p. 667.

In Ebbw Vale war nicht ein Puddelprocess, sondern, wie bereits erwähnt, ein Bessemerfrischprocess mit dem Kohlungsprocess direct verbunden.

Anschliessende Methoden.

Wo man keine geeigneten Apparate zur unmittelbaren Wiederverarbeitung von Stahl- und Schmiedeeisenabfällen besitzt, noch solche einrichten kann oder will, giebt man die genannten Abfälle im Hochofen mit den Erzen auf¹⁾. Es findet dann eine Kohlung zu Roheisen statt. Die an sich leicht ausführbare Methode kann nur da ökonomisch günstige Resultate liefern, wo jene Abfälle geringeren Werth als das Roheisen haben, oder wo man das Eisen direct aus dem Holzkohlenhochofen in den Bessemerapparat leitet.

Eine Methode, welche man als Flammofenkohlenstahlmethode bezeichnen könnte, ist von Bérard vorgeschlagen. Derselbe hatte einen Ofen mit zwei Herden construiert²⁾, entkohlte darin zuvörderst Roheisen durch Gebläseluft und kohlte das Product wieder durch Kohlenwasserstoff. Er hoffte durch Wiederholung dieses Processes einen phosphor- und schwefelfreien Stahl zu erhalten. Der versuchsweise zu Montataire ausgeübte Process führte natürlich hinsichtlich des Phosphors nicht zum Ziele und ergab im übrigen ungünstige ökonomische Resultate.

¹⁾ Mit geringem (0·015 cbm) Mehraufwand von Holzkohle kann man 14 bis 16 Proc. des Erzgewichtes an Roheisen umschmelzen. Vergl. Journal of the Iron and Steel Institute und Purtscher im Polytechn. Centralbl. 1875, S. 234.

— ²⁾ Vergl. Annales des Mines XII, Sér. VI, p. 170.

C. C e m e n t s t a h l.

Der Cementstahl wird durch Kohlung von Schmiedeeisen erhalten, ohne dass das Product in den flüssigen Aggregatzustand übergeht, wie beim Flussstahl und Kohlenstahl. Das Kohlungsmittel ist, wie bei letzterem, Kohle und zwar nur in Form von Holzkohle.

Die allgemeinen Grundsätze des Uebergangs von Kohlenstoff in das Eisen bei der Erhitzung eines mechanischen Gemenges beider Stoffe ohne Erreichung des Schmelzpunktes sind bereits S. 507 erörtert worden. Es ist dort gezeigt, wie bei bestimmten Temperaturen das Eisen einen bestimmten Kohlenstoffgehalt aufzunehmen im Stande ist, welcher bei hinreichender Zeit der Einwirkung sich in der ganzen Eisenmasse gleichmässig durch Molecularwanderung vertheilt; wie daher bei jeder Temperatur stets anfangs eine kohlenstoffreichere Rinde entsteht und erst allmählig die Kohlunng bis zum Kerne fortschreitet, dann aber nicht höher getrieben werden kann, ohne dass gleichzeitig die Temperatur gesteigert wird. So kann man zwar nach Belieben jede Art von höher gekohltem Eisen bis zum Gusseisen hin erzeugen, wenn man die entsprechende Zeit und eine hinreichende Temperatur anwendet, ist aber die Grenze des Kohlenstoffgehalts eines schmiedbaren Eisens wesentlich überschritten, so erfolgt Schmelzung und damit hört die Möglichkeit der Cementation auf und der Process geht in einen der Kohlenstahlarbeit analogen über.

Der Process wird der Regel nach in der Art ausgeführt, dass Schmiedeeisen von Stabform in Holzkohlen eingepackt bei einer bestimmten, etwa der Kupferschmelzhitze gleichen Temperatur so lange erhitzt wird, bis es die der Temperatur entsprechende Kohlenstoffmenge gleichmässig aufgenommen hat. Seltener erhitzt man schmiedeeiserne Gegenstände nur so lange bis sie eine kohlenstoffreichere Rinde erhalten haben, die ihnen äusserlich die Eigenschaft des Stahls (Härte, Härbarkeit und Politurfähigkeit) verleiht. Im letzteren Falle nennt man den Process Oberflächenhärtung.

Vorgänge beim Cementiren.

Ueber die chemischen Vorgänge beim Cementiren sind die verschiedenartigsten Hypothesen aufgestellt worden, welche in der ersten Abtheilung der Eisenhüttenkunde S. 131 ausführlich besprochen wurden und hier nur noch einmal kurz zusammengestellt und kritisch behandelt werden sollen, ohne auf die Quellen ausführlich zurückzugehen.

Reiner Kohlenstoff in Berührung mit Eisen kohlt dieses bei erhöhter Temperatur und der Kohlenstoff pflanzt sich durch Molecularwanderung bis ins Innere der compacten Eisenmasse fort.

Die Möglichkeit einer solchen Einwirkung ist hinreichend bewiesen. Margueritte ¹⁾ hat gezeigt, dass Diamant, also chemisch reiner Kohlenstoff, in einer Atmosphäre von chemisch reinem Wasserstoffe, in einem für Herdgas und undurchdringlichen doppelt glasierten Porcellanrohre, reines Eisen kohle.

Es ist indessen nicht erforderlich, dass die bei der Cementation vor sich gehende Kohlhung allein durch den festen Kohlenstoff der Holzkohle erfolge, weil erstens die Holzkohlen nicht aus reinem Kohlenstoff bestehen und zweitens zwischen den Zwischenräumen der einzelnen Stücke atmosphärische Luft eingeschlossen bleibt, welche einen Einfluss haben kann.

Holzkohlen enthalten neben festem Kohlenstoff an Gasen: Kohlen-säure, Kohlenoxyd, Grubengas (zuweilen auch ölbildendes Gas), Wasserstoff, Stickstoff, Sauerstoff — mehrere Analysen sind in der Abtheil. II, S. 281 mitgetheilt —, ferner Wasser und endlich Aschenbestandtheile. Man kann im Durchschnitt 9 bis 10 Proc. Wasser, 7 Proc. andere (meist permanente) Gase und 1 bis 2 Proc. Asche rechnen. In der Asche ist hauptsächlich Kalium und Calcium enthalten ²⁾. Von diesen Bestandtheilen kommen nur die kohlen- und stickstoffhaltigen in Betracht, sowie vermittelnd die Aschenradicale, namentlich Kalium.

Von den kohlenstoffhaltigen Gasen mit Ausnahme der Kohlen-säure, welche ausser Betracht kommt (S. 509), kann eine Wirksamkeit nur bei Temperaturen unter 800⁰ erwartet werden, denn dann sind sie sämmtlich aus der Holzkohle ausgetrieben. Wären es diese Gase also, welche die Cementation allein bewirkten, so wäre eine weitere Erhitzung und eine tagelange Fortsetzung des Processes ganz überflüssig. Das Kohlenoxyd muss den Anfang machen, denn wie S. 510 erörtert, wirkt es kohlend nur bei Temperaturen unter 400⁰; die Kohlenwasserstoffe können noch weiterhin wirksam sein (S. 511). Da nun die Erfahrung lehrt, dass bei jedem Cementationsprocesse frische Kohlen den alten zugeführt werden müssen, um den Kohlungsprocess nicht allzusehr zu verzögern, so darf man die Einwirkung dieser kohlenstoffhaltigen Gase nicht

¹⁾ Abtheil. I, S. 134. — ²⁾ Vergl. I. Theil der Metallurgie S. 73.

ableugnen, aber man kann mit Bestimmtheit behaupten, dass sie nicht allein kohlend wirken, sondern nur den Anstoss geben zu dem chemischen Vorgange der Verbindung des festen Kohlenstoffs mit dem Eisen. Derartige Anregungen zu chemischen Reactionen, welche wohl nur durch Erzeugung galvanischer Ströme zu erklären sind, stehen nicht vereinzelt da.

Die Bildung von Cyan aus dem Kohlenstoffe und dem Stickstoffe der Luft würde, wenn man die Temperatur zur Reduction des in der Asche enthaltenen Kaliums für genügend erachtet, möglich sein. Ueber die zweifelhafte Wirksamkeit des Cyankaliums ist schon Seite 512 ausführlich gesprochen. Man hat nicht nöthig dessen Thätigkeit zur Erklärung des Cementirprocesses herbeizuziehen.

Die Eisenstäbe, welche zur Cementation verwendet worden waren, zeigen auf ihrer Oberfläche eine Menge von Blasen, welche dem Stahl auch den Namen Blasenstahl, (*blister steel, blistered steel, acier boursoüfflé, acier poule*) verschafft haben. Die Erklärung für diese Blasen ist sehr verschieden versucht worden. Percy ¹⁾ schreibt sie der Expansion eingeschlossener Gase zu und in der That kann eine andere Erklärung auch kaum Platz greifen, während dieselbe andererseits vollständig genügt. Dass solche Blasen nur an der Oberfläche entstehen, hat darin seinen Grund, dass sich die im Innern entwickelnden Gase allmählig durch die in Folge der hohen Temperatur weiter von einander getrennten Molecüle des Eisens so lange hindurchwinden, als sie einen starken nach allen Seiten gleichen Widerstand finden. Sobald sie indessen unter die letzte Lamelle nahe der Oberfläche treten, hört der Widerstand nach dieser Seite hin auf und es entsteht eine blasenartige Anschwellung. Schwieriger ist die Entscheidung, welche Gase die Ursache sind. Dass in den wohlgeschmiedeten Stäben, welche man zu benutzen pflegt, keinerlei Gase sich eingeschlossen befinden, die nur in Folge der erhöhten Temperatur expandiren, darf wohl als sicher angenommen werden. Die betreffenden Gase müssen sich daher bei dem Processe selbst erzeugen.

Diejenigen, welche voraussetzen, dass die Cementation nicht durch Wanderung des festen Kohlenstoffs, sondern durch Gase, namentlich Cyan, entstehe, finden die Erklärung in dem gasförmigen Rückstande, also Stickstoff, Kaliumdampf, Wasserstoff u. s. w., welcher nach Abgabe des Kohlenstoffs permanent verbleibt.

Wenn man sich aber für die Molecularwanderung und nur den neben-sächlichen Einfluss jener Gasarten entscheidet, so muss die Gasentwicklung einer anderen Ursache zugeschrieben werden. Nun befinden sich in allen durch einen Frischprocess entstandenen Schmiedestücken kleine Schlackentheile eingeschlossen, welche um so weniger entfernt wurden, je weniger Schweissprocessen das Eisen ausgesetzt gewesen war. Die Schlackentheilchen sind entschieden Garschlacken oder auch einfach Ham-

¹⁾ Iron, p. 772.

merschlag. Kommt mit diesen der wandernde Kohlenstoff in Berührung, so bildet sich so lange Kohlenoxyd, bis der Sauerstoff des Eisenoxyduls verbraucht ist. Dies Kohlenoxyd expandirt und giebt die Blasen.

Diese gleichfalls von Percy aufgestellte Annahme giebt eine ausreichende Erklärung. Indessen ist noch zu erwähnen, dass Henry ¹⁾ dem Einflusse des Schwefels die Entstehung der Blasen zuschreibt. Nach ihm fand sich in einer Eisenstange vor dem Cementiren ein Gehalt von 0·577 Proc. Schwefel, nachher nur 0·017 Proc., so dass 0·560, d. h. 97 Proc. des gesammten Schwefels während des Processes entwichen sein müssen. Henry glaubt, dass letzteres in Form von Schwefelkohlenstoff geschehen sein werde, welcher die Blasen bilde, und führt als Analogon die Bildung von Schwefelkohlenstoff bei der Erhitzung von Schwefelkies mit Holzkohle an. Percy entgegnet darauf mit Recht, dass Schwefelkies bei der Erhitzung schon an sich Schwefel entwickle, während bei der geringen Menge Schwefel im Eisen davon nicht die Rede sein könne. Uebrigens deute auch die Unregelmässigkeit der Blasen auf eine ungleiche Vertheilung der die Gase erzeugenden Substanz.

Geschichtliches ²⁾.

Von der Geschichte des sehr alten Cementationsprocesses ist wenig bekannt. Die Alten scheinen ihn als solchen nicht gekannt zu haben ³⁾. Réaumur beschreibt ihn vollständig ⁴⁾ in der Art, wie er fast unverändert noch bis heutigen Tages ausgeführt wird.

Kerl ⁵⁾ giebt ohne Citat der Quelle an, dass die Cementstahlbereitung den Engländern schon gegen Ende des 17. Jahrhunderts bekannt gewesen und angeblich durch einen Arbeiter aus der deutschen Grafschaft Mark eingeführt worden sei.

Der Cementirofen.

Die folgenden Zeichnungen sind Percy's Metallurgie ⁶⁾ entlehnt für welche sie von dem Stahlfabrikanten Sanderson zu Sheffield geliefert wurden.

Die Abbildungen (Figuren 160 bis 163) zeigen ein zusammengebautes Ofenpaar. Den Haupttheil bilden die beiden in Fig. 162 im Grundriss, in Fig. 163 im Aufriss sichtbaren Kästen *aa*, welche einen oblongen

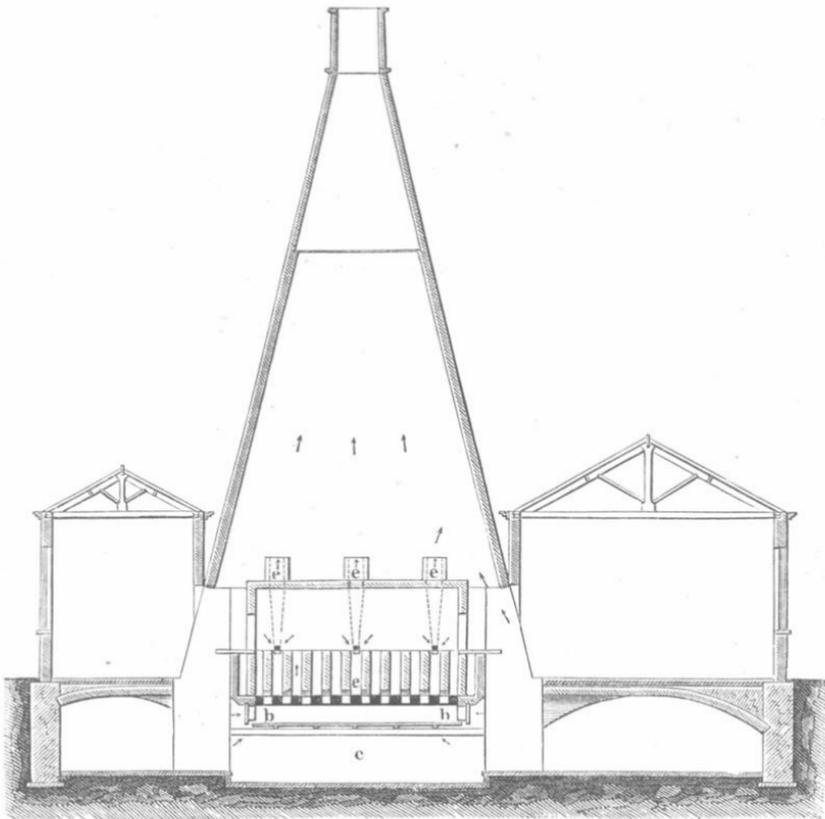
¹⁾ Percy, Iron 773. — ²⁾ Nach Percy, Iron, p. 768. — ³⁾ Beckmann, history of Inventions and Discoveries, 2. Bd. 1814, p. 4, p. 241. — ⁴⁾ L'art de convertir le fer forgé en acier et l'art d'adoucir le fer fondu. Paris 4. 1722. — ⁵⁾ Grundriss der Metallurgie, Bd. III, S. 395. — ⁶⁾ Iron, p. 769.

Horizontal- und einen trapezischen Verticalquerschnitt besitzen. Sie bestehen aus feuerfesten Sandsteinplatten.

Die Sandsteintafeln ¹⁾, welche gut zusammengestossen werden müssen, erhalten der Regel nach am Boden 10 bis 13 cm Dicke, die Seiten, welche seltener aus einer einzigen Lage, als vielmehr aus zwei übereinander angeordneten Reihen bestehen, erhalten in der untersten Reihe dieselbe Stärke, in der obersten nur 6 bis 8 cm. Man nennt diese Kästen, welche das Eisen und die Kohle aufnehmen, Kisten (*chests*).

Unter den Kisten und zwar in der Mitte des Ofens geht ein Rost (*b*)

Fig. 160.

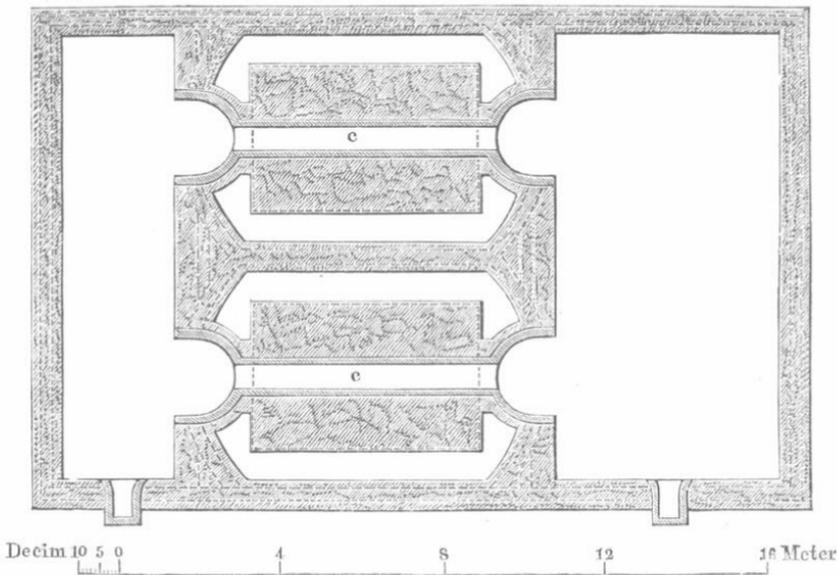


Cementiröfen. Längenschnitt.

der ganzen Länge nach hindurch und ist mit zwei Aufschüttethüren versehen, während sich darunter der Aschenfall *c* befindet. Die Feuergase ziehen von der Feuerung aus um die beiden Kisten in einer grossen Zahl von Kanälen herum, deren unterer horizontaler Theil deutlich aus der

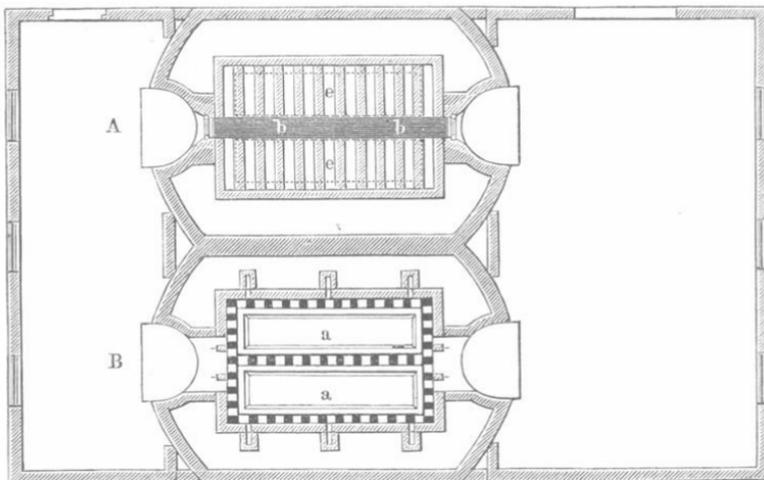
¹⁾ In Sheffield aus der Kohlensandsteinformation.

oberen Hälfte der Fig. 162 zu ersehen ist, während der verticale in den Fig. 161.



Cementiröfen. Grundriss durch den Aschenfall.

Fig. 162.



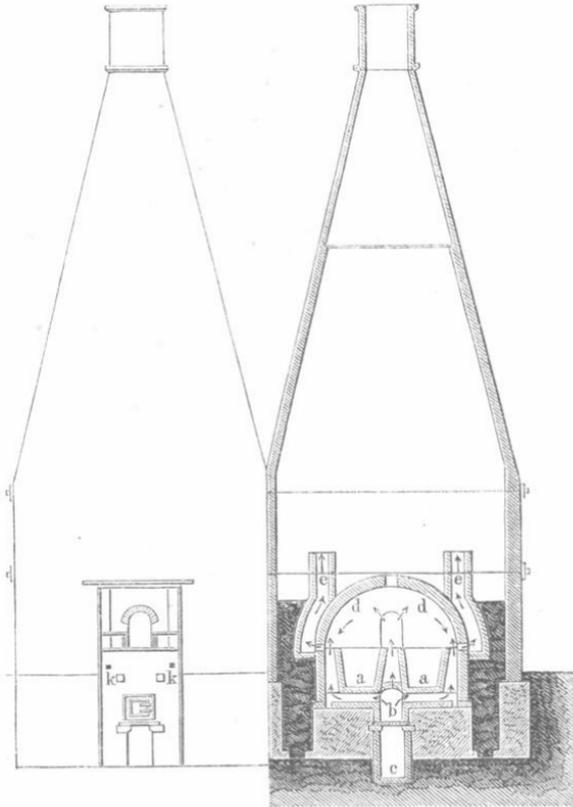
Cementiröfen. Horizontalschnitt durch die Züge unter den Kisten und durch die Kisten. schwarz gedruckten Quadraten der unteren Hälfte der Zeichnung kenntlich wird. Diese Kanäle ¹⁾ münden unter einem Gewölbe *d* (Fig. 163), aus

¹⁾ Deren Querschnitt der Regel nach 114 bis 229 mm im Quadrat beträgt.
Percy, Metallurgie. II. Abthl. 3.
(Wedding, Schmiedeseisen u. Stahl.)

welchem sie durch mehrere kleine Essen *e* (drei an jeder Seite) in einen Hohlkegel ziehen, welcher sie in geeigneter Höhe in die Luft führt, um nicht allzubelästigend für die Nachbarschaft zu wirken ¹⁾.

Zwei Oeffnungen, gross genug, um einen Menschen hindurchzulassen,

Fig. 163.



Ansicht und Verticallschnitt.

verbinden die Hütte mit dem durch das Gewölbe *d* überspannten Raume. Die beiden Oeffnungen *kk* dienen zum Herausnehmen der Probestangen.

Die Kisten.

Obwohl die meisten Oefen zwei Kisten enthalten, giebt es doch auch deren mit einer oder mit drei Kisten. Ein einkistiger Ofen von Friedrichs-

¹⁾ Diese kegelförmigen Rauchmäntel sind sehr charakteristisch für die Cementiröfen und verleihen z. B. der Stadt Sheffield neben den Essenreihen der Gussstahlschmelzöfen ein ganz eigenthümliches Ansehen.

thal in Württemberg findet sich in Dingler's polytechnischem Journal, Band CXLVI, abgebildet. Von demselben, der mit Hochofengasen geheizt wurde, ist weiter unten die Rede.

Tunner ¹⁾, welchem Oesterreich wie die Einführung so viele Zweige der Eisenindustrie, so auch die Einführung des Cementirprocesses zu danken hat, schlug zuerst vor, statt zweier, drei Kisten anzulegen, von denen die mittlere etwas höher als die seitlichen stehen sollten. In der That sind derartige Anordnungen sowohl in Steiermark als auch in Schweden ²⁾ ausgeführt worden, aber die etwas grössere Schwierigkeit die Kisten zu besetzen und zu entleeren hat ihnen keinen allgemeinen Anklang verschafft.

Die Kisten bestehen nicht immer aus Sandsteinplatten, sondern auch oft aus Platten von feuerfestem Thon, oder aus Mauersteinen, oder sind aus Masse um Modelle aufgestampft.

Die Wände der Kisten werden, wenn sie aus feuerfesten Ziegelsteinen gemauert werden sollen, aus zwei hochkantigen Schichten Ziegeln im Verbands hergestellt (im Ganzen 0·114 m stark), der Boden dagegen aus drei flachliegenden Schichten. Als Mörtel dient eine sehr feine Schläpfe von feuerfestem Thon. Dann erhalten die Kisten der Regel nach statt des trapezischen einen quadratischen oder oblongen Verticalquerschnitt.

Werden die Kisten aus Masse hergestellt, so benutzt man einen sehr quarzreichen Thon, welcher um hölzerne Modelle mit angewärmten eisernen Schlägeln sorgfältig aufgestampft wird.

Was die Dimensionen der Kisten anbelangt, so sind sie im Mittel 2·80 bis 3·40 m lang, 0·70 bis 1·10 m hoch und 0·70 bis 0·90 m breit, doch haben sich in dieser Beziehung mancherlei Aenderungen geltend gemacht.

Während die älteren Oefen nur 5000 Kg Eisen fassten, hat man später solche bis zu 40 000 Kg eingerichtet, ist aber im Durchschnitt bei 15 000 bis 20 000 Kg Eisen Fassungsvermögen stehen geblieben ³⁾.

Gewölbe.

Statt des feststehenden Gewölbes über dem Kistenraume hat man, um die Zugänglichkeit zu vergrössern, auch ein bewegliches Gewölbe angebracht.

Ein solches besteht aus zwei gleichen Theilen, deren jeder auf einem eisernen mit Rollen versehenen Rahmen ruht, so dass jede Hälfte leicht für sich fortgeschoben werden kann.

¹⁾ Oesterr. Jahrb. 1854, S. 121, ein sehr ausführlicher Aufsatz mit Abbildung. — ²⁾ Dort nach Rinmann schon in den vierziger Jahren bekannt (Karsten, Eisenhüttenkunde IV, S. 490). — ³⁾ Le Play, Berg- u. Hüttenm. Zeit. 1844, S. 317.

Weiteren Eingang scheint sich diese Construction nicht verschafft zu haben, überhaupt nur auf kleine Oefen beschränkt geblieben zu sein.

Feuerung.

Während man für Steinkohlen fast überall den einfachen Planrost, wie er oben beschrieben wurde, beibehalten hat, ist man bei Anwendung von Braunkohle der Regel nach zum Treppenrost übergegangen.

So sind z. B. in Leoben für jeden Ofen zwei Treppenroste angeordnet, welche in je in einen kürzeren Planrost am unteren Ende ausmünden, während zwischen den beiden letzteren ein Gewölbe eine nur zur halben Höhe gehende Trennung der Feuerplätze bildet ¹⁾.

Hin und wieder hat man an Stelle der nur schwach ziehenden kleinen Essen und des höheren Rauchmantels eine eigentliche Zugesse angewendet, dann aber der Kostspieligkeit letzterer wegen je zwei Oefen mit einer gemeinschaftlichen Esse versehen.

In Westfalen finden sich z. B. je zwei Cementiröfen mit einer zwischen denselben frei und auf besonderem Fundamente stehenden Esse. Die Gewölbe der Oefen haben dann je vier Zugessen, welche in horizontale, mit Schieber versehene und in die Esse einmündende Kanäle auslaufen.

Abweichungen.

Man hat statt des festen Brennmaterials Generatorgase oder Hochofengase vorgeschlagen. Will man erstere benutzen, so ist die Anlage von Regeneratoren erforderlich um die gleichmässige Temperatur zu erzielen, ohne welche der Process unausführbar ist. Diese Einrichtung macht die Anlage complicirter und ist daher bisher nur selten zur Anwendung gelangt.

Hochofengase empfehlen sich durchaus nicht. Der Process hat so wenig Zusammenhang mit dem Hochofenprocesse, dass eine Vereinigung auf einem gänzlichen Verkennen der ersten Grundlagen eines rationellen Hüttenbetriebes beruht ²⁾.

Praktisch macht die Benutzung der Hochofengase keine Schwierigkeit, wie die Ausführung zu Friedrichsthal in Württemberg lehrte, wo sie bei einem einkistigen Ofen durchgeführt war. Die Gase gingen, nachdem sie unter Luftzuführung entzündet waren, an einer Seite der Kiste aufwärts, dann durch den gewölbten Raum und an der anderen Seite abwärts, unter die Sohle der Kiste und endlich zur Esse ³⁾.

¹⁾ Eine Abbildung dieser Construction findet sich in dem Aufsätze von Tunner, Oesterr. Jahrb. 1854. — ²⁾ Vergl. Abtheil. II, S. 330. — ³⁾ Polytechn. Journ. Bd. 146, S. 284.

Ausführung des Processes.

Nachdem die Kisten sorgfältig nachgesehen, etwa entstandene Risse verschmiert und auf die Sohle eine schwache Schicht von trockenem Sand oder Thon ausgebreitet ist, welcher bei der nächsten Hitze in etwa von neuem entstehende Risse hineinrieseln und den Luftzutritt abschliessen soll, wird eine circa 60 mm starke Holzkohlenschicht gegeben.

Die Kohlenstücke sollen eine bestimmte Grösse haben und werden daher doppelt gesiebt, so dass nur solche von 6·5 bis 19·6 mm Durchmesser zurückbleiben. Der frischen Kohle wird jedesmal $\frac{1}{2}$ selten weniger, bis herab zu $\frac{1}{4}$, bereits gebrauchter Kohle zugemengt. Die Kohle giebt beim Cementiren in Folge des Zerspringens eine Menge Staub und dieser muss ebenfalls zuvörderst abgesiebt werden. Vielleicht ist dieser praktische Grund maassgebender für die Nothwendigkeit neue Kohlen anzuwenden, als alle jenen oben erörterten Theorien. Uebrigens geben allerdings auch die englischen Arbeiter zu, dass ganz frische Kohle zu stark (*too finely*) einwirke und dass daher, wenn die Anwendung nicht zu umgehen ist, der Ofen in niedriger Temperatur gehalten, folglich auch der Process verlängert werden müsse. Eigenthümlich und vielleicht gerade durch das Zurückbleiben der Aschenbestandtheile der verzehrten Kohle erklärlich ist der jedesmal mit der alten Kohle nach dem Absieben vorgenommene Waschprocess, nach welchem erst die wieder getrocknete Kohle mit der frischen gemengt wird. Man zieht Laubholzkohle der Nadelholzkohle vor, obgleich beide Arten gebraucht werden ¹⁾.

Die Frage, warum Laubholz- und namentlich Eichenkohlen besser als Nadelholzkohlen wirken, ist wohl hauptsächlich auf die grössere Dichte zurückzuführen. Dass der höhere Gehalt an kohlendenden Gasen oder an Kalium in der Asche einen wesentlichen Einfluss haben solle, ist nach dem oben Gesagten nicht wahrscheinlich.

Die Cementkohle wird vor der Anwendung ganz schwach befeuchtet, um das Stauben zu verhüten. Häufig setzt man dem Wasser dabei etwas Chlornatrium, kohlen-saures Kali, oder Natron, oder Holz-asche bei, ohne dass dadurch etwa ein besserer Erfolg erzielt würde. Vielleicht wirken diese Substanzen einem Verstäuben der zurückbleibenden Aschen-theile durch Sinterung mit denselben entgegen.

Auf die unterste Holzkohlenschicht kommen die Eisenstäbe, deren gewöhnliche Dimensionen 78 mm Breite bei 19·6 mm Stärke sind ²⁾, während ihre Länge ungefähr der der Kiste entspricht, wegen der Ausdehnung in

¹⁾ In Schweden wird besonders Birke, in England Eiche, in Westfalen Buche, in Steyermark Tanne benutzt. — ²⁾ Die Breite schwankt zwischen 60 und 140, die Stärke zwischen 8 und 20 mm.

der Wärme aber etwas dagegen zurückbleiben muss. Die Stäbe werden flach gelegt und dürfen sich nicht berühren, obwohl sie im übrigen möglichst nahe an einander gebracht werden.

Das Eisen muss möglichst schlackenfrei sein, im übrigen bedingen seine Beimengungen an Phosphor, Schwefel etc. die Qualität des Stahls. Man zieht das bei Holzkohle im Herde gefrischte dem gepuddelten, und das gehämmerte dem gewalzten vor, lediglich wegen der grösseren Reinheit von Schlacke.

Auf die Eisenschicht kommt unter sorgfältiger Füllung der Zwischenräume wieder eine Lage Holzkohle von circa 13 mm Stärke und nun wechseln derartige Schichten ab, bis den Schluss der Füllung eine starke Holzkohlenschicht macht, die noch überdeckt wird mit einer Lage Stahlschleifstaub (*wheelswarf*). Dieser beim Schleifen der Stahlwaaren entstehende Staub besteht aus dem Abrieb der Schleifsteine, d. h. Kieselsäure, und Stahlpartikelchen, welche zum Theil, da sie glühend werden, in Berührung mit der Luft oxydirt worden sind. Das Gemisch giebt beim Erhitzen eine kieselsäurereiche Schlacke, welche sintert ohne zu schmelzen und welche die Eigenthümlichkeit besitzt, wie ein Kautschukventil, die Gase aus kleinen sich bildenden Kratern hinaus, die atmosphärische Luft aber nicht hineinzulassen.

Es giebt kein gleich vortreffliches Ersatzmittel für den Schleifstaub, obwohl man mancherlei Substanzen ausprobirt hat.

In Sheffield wendet man z. B. auch das Pulver des Kohlensandsteins (Ganister¹) an, welches als Chausseestaub gewonnen wird und von dem Abrieb der Hufeisen und Radreifen wohl auch etwas eisenhaltig sein mag.

Angefeuchtetes Thonmehl vertritt ebenfalls zuweilen die Stelle des Schleifstaubs, namentlich in Schweden. Es muss ziemlich fest eingestampft werden. Empfehlenswerth ist es immerhin, bei Anwendung irgend eines dieser Materialien zuvörderst eine feuchte, gut eingepresste Decke zu geben und diese mit trockenem Pulver zu überstreuen, welches letztere, in alle Risse der trocknenden Masse einrieselnd, den Luftzutritt abhält ohne das Entweichen von Gasen aus dem Innern ganz zu verhindern. In Westfalen pflastert man zuweilen zuvörderst mit Ziegeln auf der obersten Kohlschicht und häuft darauf losen Quarzsand.

Aus jeder Kiste lässt man einen oder zwei der Stäbe in der obersten Reihe durch die Probeöffnungen (*k*, Fig. 163) etwas herausragen, verschmiert aber den bleibenden Zwischenraum sorgfältig.

Nach dem Besatz der Kisten werden die Zugangsöffnungen zu dem überwölbten Raume (*d*) vermauert und sorgfältig verschmiert, so dass keine Luft eindringen kann, und darauf beginnt die Feuerung.

In England benutzt man als Feuerungsmaterial stets eine nicht backende und keine fließende Schlacke gebende Steinkohle, in Oesterreich auch Braunkohle, in Schweden Holz oder Torf. Die ältesten Cemen-

¹) Vergl. S. 346.

tiröfen in England scheint man mit Holzkohle gefeuert zu haben, an deren Stelle dann bald Holz trat ¹⁾. Von der Anwendung der Generator- oder Hochofengase ist bereits oben die Rede gewesen.

Die Wartung der Feuerung bedarf grosser Sorgfalt, um einen unerwünschten Wechsel der Temperaturen zu vermeiden. Man heizt langsam, etwa 24 Stunden hindurch, an, dann muss die Kupferschmelzhitze ²⁾ erreicht sein.

Die Kohlung, während welcher dieser Temperaturgrad möglichst gleichförmig erhalten werden muss, dauert nun 7 bis 10 Tage. Für Federstahl, welcher direct verarbeitet werden soll, nimmt man 7, für Gärbstahl, welcher durch Schweissung weiter behandelt werden soll, 8, für Stahl, der durch Umschmelzen in Gussstahl verwandelt werden soll, 9 bis 10 Tage. Gegen Ende des Processes zieht man eine der Probestangen heraus, schliesst das Loch sorgfältig durch einen Thonpfropfen und untersucht den Bruch des Probestabs im ungehärteten und gehärteten Zustande, beurtheilt darnach, auch wohl nach einer Kohlenstoffprobe den Kohlungsgrad und geht je nach Bedürfniss noch eine Zeitlang weiter mit der Kohlung, oder man schliesst den Process ab und lässt den Ofen abkühlen, was 3 bis 4 Tage in Anspruch nimmt, worauf die Zugänge geöffnet werden und ein Mann in den noch immer sehr warmen Ofen kriecht, um die Kisten zu entleeren.

Die Stangen werden dann sofort zerbrochen, um nach der Beschaffenheit des Bruchs sortirt zu werden.

Beschaffenheit des Productes.

Die Stäbe sind vor und nach dem Einsatz nicht nur in ihrer Zusammensetzung, sondern auch in ihrem Aussehen wesentlich verschieden. Sie zeigen zuvörderst, wenn sie vorher noch so glatt waren, nachher jene bereits oben besprochenen Blasen. Dieselben haben die Grösse von einem Hirsekorn bis zu einer Nuss. Je kleiner und gleichmässiger vertheilt diese Blasen auftreten, um so besser ist der Stahl. Lange (bis 3 cm) Blasen sind stets der Beweis eines schlackenreichen, ungleichmässig vertheilte Blasen der eines ungleichförmigen Eisens. Je härter, d. h. kohlenstoffreicher der Stahl ausfällt, um so mehr Blasen pflegt er unter gleichen Umständen zu haben.

Der Stahl hat gegen das Materialeisen eine Gewichtszunahme von 0.5 bis 0.75 Proc. erlitten. Während das eingesetzte Eisen zähe und biegsam war, ist der Cementstahl spröde und lässt sich leicht zerbrechen. Während der Bruch des ersteren glänzend, krystallinisch (wie alles Herdfrischeisen) und von der bläulichen Eisenfarbe war, zeigt der letztere

¹⁾ Karsten, Eisenhüttenkunde IV, S. 488. — ²⁾ 1000 bis 1200° C. (vergl. Bd. I der Metallurgie, S. 246), welches einer hellen Gildglühhitze (Orangeglühhitze), noch keiner Weissglut entspricht.

einen matten, mehr blättrigen, obwohl nach innen krystallinischen Bruch von gelblicherer Farbe.

Eisenstäbe, welche zu früh herausgezogen werden, zeigen zwar eine kohlenstoffreichere Rinde von der zuletzt angegebenen Beschaffenheit, aber noch einen Eisenkern.

Karsten ¹⁾ beschreibt die allmäligen Veränderungen des Bruches sehr richtig folgendermaassen: „Der zackige Bruch macht einem blättrigen Gefüge Platz. Zuerst erscheinen diese Blättchen mit einer weissen Farbe, so dass das Eisen das Ansehen eines sehr schlechten kaltbrüchigen Eisens haben würde, wenn es sich von diesem nicht durch die grössere Gleichheit und die regelmässigeren Stellung der Blättchen gegen einander unterschiede. Beim Fortgange des Processes nehmen diese Blättchen immer an Grösse ab, verlieren aber in demselben Verhältniss ihre weisse Farbe und bekommen ein immer dunkler gefärbtes Ansehen. Zuletzt werden sie so klein, dass sie dem unbewaffneten Auge als Körner erscheinen. Ist die graue Farbe erst wenig gesättigt, so zeigt sie einen sehr weichen Stahl an, mit dem zunehmenden Dunkelwerden der Farbe erlangt der Stahl eine immer grössere Härte, und wenn die Körner endlich ein sehr dunkles und sehr feines Ansehen erhalten, so dass man die dunkeln Körnchen nicht mehr unterscheiden kann, sondern die Masse sich in einem fest geschlossenen Zustande darstellt, so wird der Stahl so mild, dass er sich kaum noch schweissen lässt.“

Eigenthümlich ist die entschiedene Kohlenstoffausscheidung in grafitischer Form, welche lebhaft an die Erscheinung im Anfange des Processes bei der Darstellung schmiedbaren Gusseisens erinnert.

Rinmann ²⁾ zeigte, dass der Kohlenstoff im Eisen in drei Modificationen vorkomme, welche sich bei der Lösung in Salzsäure oder verdünnter Schwefelsäure auch unter drei verschiedenen Gestalten abscheiden, nämlich als Grafit (aus Roheisen), als Kohleneisen (aus ungehärtetem Roheisen und Stahl), als Kohlenwasserstoff (aus gehärtetem Roheisen und Stahl). Alle drei treten zusammen in ungehärtetem Roheisen auf, die beiden letzteren sowohl im Stahl wie im Roheisen. Rinmann bezeichnet den aus ungehärtetem Stahl sich abscheidenden Kohlenstoff als Cementkohle, den aus gehärtetem Stahl entweichenden als Härtungskohle. Er trennt sie auch durch die Art der Lösung, wenn sie zusammen vorkommen. Durch schnelle Lösung des Eisens in hoher Wärme erhält man Grafit, durch langsame Lösung Grafit und Cementkohle, durch Jod Cement- und Härtungskohle.

In ungehärtetem gerecktem Cementstahl fand Rinmann:

0·52 Proc.	Härtungskohle,
0·90 "	Cementstahl,
0·30 "	Grafit,

¹⁾ Eisenhüttenkunde IV, S. 482. — ²⁾ Dingl. polytechn. Journ. Bd. 185, S. 134, aus Akad. Fört. 22, No. 6, p. 443.

in einem ungehärteten:

1.48 Proc. Härtungskohle,
0.02 „ Grafit.

Es wird auf dieses Verhalten des Kohlenstoffs beim Härten des Stahls zurückgekommen werden.

Einige Analysen von Cementstahl haben ergeben:

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	
Kohlenstoff	amorph	1.87	{	0.627	1.20	1.24	1.48
	grafitisch			0.105	0.30	0.30	0.02
Silicium	—	0.10	0.030	—	—	—	
Phosphor	—	—	—	—	—	—	
Schwefel	—	—	0.005	—	—	—	
Mangan	—	—	0.120	—	—	—	
Stickstoff	—	—	—	0.016	—	0.016	

No. 1. ist weicher Elberfelder Cementstahl nach Bromeis ¹⁾,

No. 2. und 3. sind englische Cementstahlsorten,
ungehärtet ausgeschmiedet und kalt gehämmert ²⁾,

No. 4. desgl.

No. 5. desgl. ungehärtet ausgeschmiedet,

No. 6. desgl. gehärtet ³⁾.

Ergebnisse und Beispiele.

An Holzkohle zur Cementirung werden im Durchschnitt auf 100 Kg Schmiedeseisen 27 Kg verbraucht, an Feuerungsmaterial 75 bis 80 Kg Steinkohle, 150 bis 300 Kg Braunkohle oder Torf, 300 bis 325 Kg Holz.

Die Kosten der Darstellung des Cementstahls vertheilen sich nach einer Angabe Kerpely's ⁴⁾ auf 1000 Kg Schmiedeseisen wie folgt:

Heizsteinkohle	10 Rmk.
Arbeitslohn	6 „
Holzkohle	3 „
Zinsen des Anlagecapitals	1 „
Reparatur der Kisten	1 „
Werkzeuge, Beleuchtung	1 „
Generalkosten	3 „
Zusammen	25 Rmk.

Sheffield. Ausführlich berichtet Kerpely unter Benutzung eines von Seeborn in Sheffield gehaltenen Vortrags über die Cementstahlbereitung in England ⁵⁾, aus welchem hier nur einige Daten entnommen sind.

¹⁾ Liebig u. Wöhler's Ann. Bd. 43, S. 244. — ²⁾ Kerl, Grundriss der Hüttenkunde III, S. 398. — ³⁾ Dingl. polytechn. Journ. Bd. CLXXXV, S. 134. — ⁴⁾ Kerpely, Fortschritte, 8 bis 10, S. 699. — ⁵⁾ Fortschritte 8 bis 10, S. 693.

Man benutzt schwedisches und englisches Schmiedeisen, letzteres nur für geringere Stahlsorten. Auch unter dem schwedischen Schmiedeisen giebt es sehr verschiedene Varietäten, unter denen das Dannemora-eisen den höchsten Ruf besitzt. Man unterscheidet im Producte:

1. Federstahl (*Spring heat*) mit $\frac{1}{2}$ Proc. Kohlenstoff; die Umwandlung in Stahl ist nur auf der äusseren Rinde deutlich wahrnehmbar, die Härte wenig von Schmiedeisen verschieden.
2. Handelsstahl (*Country heat*) mit $\frac{5}{8}$ Proc. Kohlenstoff, ohne rohen Kern, hauptsächlich zu Gärbstahl benutzt.
3. Schweisstahl (*Single shear heat*) mit $\frac{3}{4}$ Proc. Kohlenstoff, giebt umgeschmolzen schon ein schwer schweisbares Product.
4. Doppelschweisstahl (*Double shear heat*) mit 1 Proc. Kohlenstoff ganz gleichförmig gekohlt.
5. Werkzeugstahl (*Steel through heat*) mit $1\frac{1}{4}$ Proc. Kohlenstoff.
6. Feilenstahl (*Melling heat*) mit $1\frac{1}{2}$ Proc. Kohlenstoff, im Bruche blättrig.

Der Cementstahl wird sorgfältig sortirt. Verworfen werden:

1. Stäbe, welche statt gleichmässigen Uebergangs scharfe Linien für verschiedene Kohlungsstufen zeigen, eine Eigenschaft, welche der Engländer *flushed* nennt. Solche Stäbe sind zu schnell cementirt und geben im Gussstahl und Gärbstahl Längsrisse.
 2. Verbrannte (*aired*) Stäbe, welche durch Zutritt der Luft oxydirt wurden und sich durch rothe Oberfläche kenntlich machen.
 3. Glasirte (*glazed*) Stäbe sind das Product übertriebener Feuerung.
- Vorsicht muss bei zweifach cementirten Stäben angewendet werden, da ihr Bruchaussehen nicht immer dem wahren Kohlenstoffgehalte entspricht.

Cementirrmittel ausser Holzkohle.

Es giebt eine grosse Menge von Vorschlägen, das Cementiren durch Zusatz anderer Stoffe als Holzkohle zu bewirken oder zu befördern, von denen nur einige mitgetheilt werden sollen.

Feste Stoffe. Am meisten sind zur Beförderung der Cementation Cyanverbindungen empfohlen, wie Cyankalium, Blutlaugensalz, oder Zusätze, welche diese Salze bilden, als Alkalien oder alkalische Erden in Form von kohlensaurem Kali oder Natron und kohlensaurem Baryt, welche mit dem Kohlenstoff der Holzkohle und dem Stickstoff der Luft sich in Cyankalium, Cyannatrium und Cyanbarium umwandeln sollen, ferner organische stickstoff- und kohlenstoffhaltige Substanzen, z. B. von Holland ¹⁾ Seidenabfälle und Coconreste sammt Puppen, welche getrocknet und dann gemahlen werden sollen, von Bouillet ²⁾ Zucker, Hornspäne, animalisches Fett, Blut, Pech ³⁾ etc.

¹⁾ John Holland A. D. 1849, Juli 18, No. 12705. — ²⁾ A. D. 1854, Oct. 11, No. 2174. — ³⁾ Letzteres nach Payne in Pulverform.

Réaumur war zu dem Resultate gelangt, dass ein Gemenge aus 2 Theilen Russ, 1 Theil Kohlenstaub, 1 Theil Asche und $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ Theile Kochsalz das beste Cementmittel sei und dass nächstdem Grafit mit dem besten Erfolge angewendet werde ¹⁾. Dass Salz und Asche keinen andern Zweck habe, als das Verstäuben der Holzkohle zu verhindern, ist, wie bereits oben erläutert, anzunehmen, obwohl Karsten und Andere glauben, dass auch eine weitere Einwirkung dadurch erzielt werde, dass eine Oxydhaut der Stäbe zuvörderst durch das Kochsalz fortgebeizt werde.

Karsten führt noch Borax, Alaun, Essig, Wein als Zusätze an, die, wenn sie nicht gar nachtheilig auf das Eisen wirken, jedenfalls ohne Nutzen sind.

Gase. Nicht unrationell ist der Vorschlag, kohlenstoffhaltige Gasarten, namentlich Leuchtgas, zu benutzen. Schon 1825 nahm Charles Macintosh ein Patent auf die Cementation des Eisens bei Weissglut durch Kohlenwasserstoff ²⁾ und 1824 wiederholte Professor Bismara zu Cremona dasselbe Verfahren ³⁾. Obwohl der Process in chemischer Beziehung leicht ausführbar ist, scheiterte er doch an praktischen Schwierigkeiten. Es ist nämlich nicht wohl möglich, ganz luftdichte Gefässe herzustellen, innerhalb derer das doch immer unter Pressure stehende Leuchtgas auf das Eisen einwirken kann, und sobald Luft Zutritt, verbrennt das Leuchtgas und eine Zerstörung der Kisten ist unvermeidlich. Wenn man, wie Bismara vorschlug, das Eisen etwa in Gasretorten einlegen will, so ist das kein für die grosse Praxis geeignetes Verfahren. Zudem ist Leuchtgas ein viel zu werthvolles Product, um es an Stelle der billigen Holzkohle setzen zu können.

Oberflächenhärtung.

Die Oberflächenhärtung ist eine Cementation, welche nur auf Theile fertig bearbeiteter Gegenstände übertragen wird. Bei kleineren Gegenständen, welche bei diesem Prozesse in Gefässen enthalten sind, nennt man das Verfahren auch Einsatzhärtung oder Einsetzen.

a. Oberflächencementation grösserer Gegenstände.

Ehe man die ganz stählernen Eisenbahnschienen anzufertigen verstand, pflegte man Eisen für den Fuss, Stahl für den Kopf zu benutzen und beide Eisenarten durch Schweissung zu vereinigen. Diese Schweissung machte oft bedeutende Schwierigkeiten und Unvollkommenheiten

¹⁾ Karsten, Eisenhüttenkunde IV, S. 495. — ²⁾ A. D. 1825, May 14, No. 5173. — ³⁾ Prechtl, Encycl. 15, S. 68.

derselben führten zu Unglücksfällen auf Eisenbahnen. Man zog daher oft ganz schmiedeiserne Schienen, auf deren Schweissung man sich unbedingt verlassen konnte, vor. Um nun indessen solchen Schienen einen der Abnutzung mehr widerstehenden Kopf zu geben, versah man diesen Theil mit einem Stahlüberzug. Das hierbei angewendete Verfahren scheint 1863 zuerst auf der Phönixhütte zu Laar bei Ruhrort in Benutzung gekommen zu sein.

Die Schienen werden in eine grosse Cementirkerse eingesetzt, welche übrigens direct als Herd eines Flammofens oben offen sein und so von der Flamme von oben geheizt werden kann. Sie werden so eingepackt, dass der zu cementirende Kopf in eine Kohlenschicht kommt, der weichbleibende Fuss in einer Schicht von trockenem gemahlenem Thonpulver liegt. Wendet man verdeckte Kisten nach Art der Cementirkerse an, so kann, was jedenfalls vorzuziehen ist, die Schiene mit dem Fuss nach oben liegen. Man verminderte so den Einfluss kohlender Gase auf den nicht zu cementirenden Theil. Hat man offene Kerse, so ist diese Anordnung nicht möglich, da die Kohle verbrennen würde. Man muss also die Kohlenschicht nach unten, den Fuss nach oben legen. Statt Thon, Sand zu wählen, ist nicht zu empfehlen, da bei dem geringsten Luftzutritt Schlackenbildung an den damit eingepackten Theilen stattfindet.

Eisenbahnradreifen, welche auf gleiche Weise behandelt werden sollen, packt man, um an Material zu sparen, in ringförmige Kästen. Dieselben stehen in Oefen mit kreisförmigen Roste. Die Flammen werden um den Cementirkerse geführt und vereinigen sich dann in einer central darüber liegenden Esse.

b. Einsatzhärtung (*case hardening*).

Kleinere Gegenstände, meist bearbeitete Werkzeuge, welche an einzelnen Stellen, z. B. an den Schneiden, in Stahl umgewandelt werden sollen, werden in Blechkästen mit Holzkohle eingesetzt, nachdem die nicht zu härtenden Theile mit Thonschlamm überstrichen und getrocknet sind.

Statt der Holzkohle wendet man thierische Kohlen (namentlich Knochenkohle, Lederkohle, Hornkohle, Klauen- und Hufenkohle) an, setzt auch wohl Blutlaugensalz hinzu.

Das Erhitzen geschieht der Regel nach in kleinen Koks- oder Holzkohlenfeuern und die fertig cementirten Gegenstände werden noch heiss herausgenommen und sofort gehärtet.

Diese Methode wird besonders für solche Gegenstände angewendet, bei denen nur an einer politurfähigen Oberfläche gelegen ist, wie Knöpfe, Kettenglieder u. s. w. — Gegenstände, welche schneiden sollen und daher eines wiederholten Anschliffs bedürfen, werden natürlich, wenn sie auf diese Weise verstäht sind, sehr schnell unbrauchbar.

Der Engländer Dodd¹⁾ construirte einen für Einsatzhärtung bestimmten Cementofen, in welchem fünf Kisten der Quere nach, d. h. rechtwinklig zur Feuerung angeordnet waren, und hoffte dadurch den Vortheil eines ziemlich continuirlichen Betriebes zu erlangen, da die Enden der Retorten von aussen zugänglich sind, und so ein Füllen und Entleeren ohne Unterbrechung der Feuerung möglich ist. Die Temperaturdifferenzen, welche indessen hierbei entstehen, scheinen so grosse praktische Hindernisse zu bieten, dass der Ofen keinen Eingang gefunden hat. Im übrigen nahm Dodd eine ganze Menge von höchst überflüssigen Zusatzpulvern zur Holzkohle als seine Erfindung in Anspruch, wie Soda, Potasche, Holzasche und überhaupt alkalische Substanzen, kohlensauen und doppelt kohlensauen Kalk und dergleichen mehr.

Nach Rinmann soll ein Cementirpulver aus 4 Theilen gepulverter Birkenkohle, 3 Theilen Russ und 1 Theil verkohltem Leder am besten anwendbar sein²⁾.

Bei stählernen Feilen und Raspeln vermehrt man oft die natürliche Härte, in der sie den Hieb erhalten, durch Oberflächenhärtung³⁾. Man lässt sie in reinem Kohlenfeuer braunroth werden, reibt sie dann schnell mit Horn ab, glüht sie noch einmal bis zur lichtrothen Glühhitze zwischen Kohlen und taucht sie dann schnell in kaltes Wasser. Auch überzieht man sie kalt mit einem Brei aus verkohltem Leder und ebensoviel Russ mit Bierhefen oder aus verkohltem Leder, Russ und Milch, trocknet den Ueberzug schnell und glüht in reinem Kohlenfeuer bis zur hellrothen Glühhitze, worauf das Ablöschen in kaltem Wasser erfolgt.

Auch hier werden Zusätze von Kochsalz, Salmiak etc. benutzt, welche Salze sicherlich nur als Auflockerungsmittel dienen und verhindern, dass die sehr feine Kohle sich zu dicht anlege und als schlechter Wärmeleiter eine gleichmässige Erhitzung störe.

Blutlaugensalz, welches gepulvert auf das rothglühende Eisen gestreut wird, wirkt viel schwächer.

Noch unvollkommener wird derselbe Zweck durch Eintauchen in flüssiges Roheisen erreicht, oder durch Ueberstreichen des schweissarmen Schmiedeisenstückes mit möglichst heiss gemachten Roheisenstückchen.

Nach Karmarsch⁴⁾ steckt man das erhitzte Schmiedeisenstück auch wohl in einen Haufen Feilspäne von grauem Gusseisen und dreht es einige Zeit lang darin herum.

Einsatzhärtung durch andere Stoffe als Kohlenstoff.

In der Abtheil. I, S. 64 u. f. und S. 95 u. f. sind Beispiele davon angeführt, dass auch auf andere Weise als durch Kohlenstoffzuführung

¹⁾ Cf. Specific. 1853, No. 571 und 1530. — ²⁾ Karsten, Eisenhüttenkunde IV, S. 506. — ³⁾ Loc. cit. — ⁴⁾ Technologie I, S. 30.

eine Oberflächenhärtung erzielt werden kann; erstens durch einen Strom von Ammoniak und andere stickstoffhaltige Körper unter Bildung von Stickstoffeisen, ein Vorgang, welcher allerdings auf die Möglichkeit doppelter Wirksamkeit stickstoff- und kohlenstoffhaltiger organischer Substanzen hinweist. Dasselbe kann zweitens durch Arsenik erreicht werden. In der That werden Feilen etc. vor dem Härten oft mit einem Teige aus stickstoffhaltigen organischen Substanzen, wie Leder, Horn u. s. w., oder einer Lösung von arseniger Säure in Chlorwasserstoffsäure oder einem Gemisch beider zugleich überstrichen. Auch Phosphor bringt bekanntlich eine grössere Härte hervor und es ist leicht eine harte Haut auf Eisen zu erzeugen, wenn man dasselbe Phosphordämpfen aussetzt.

Aber alle diese Methoden führen zu sehr spröden Verbindungen und ersetzen daher selbst dann, wenn sie billiger wären oder sind, keineswegs das Härten durch Kohlenstoff.
