

Sammlung Göschel

Hiller

# Eisen-Hütten-Kunde

N 260

Zweiter Teil

## Das Schmiedeeisen

von

A. Krauss

Diplom. Hütteningenieur

Mit 25 Figuren und 5 Tafeln



Leipzig

G. J. Göschel'sche Verlagshandlung

1902



---

Alle Rechte, insbesondere das Übersetzungsrecht,  
von der Verlagshandlung vorbehalten.

---



# Inhaltsverzeichnis.

---

	Seite
Das schmiedbare Eisen und seine Eigenschaften . . .	5
Schweißeisen (Fig. 1, 2) . . . . .	6
Flußeisen (Fig. 3) . . . . .	9
Schmiedbarer Guß (Eig.) . . . . .	14
Cementstahl (Eig.) . . . . .	15
Die Einwirkung der Fremdkörper . . . . .	16
Die mechanische Bearbeitung und ihr Einfluß . . . . .	19
Darstellung des Schweißeisens nach Cort . . . . .	20
„ „ Flußeisens . . . . .	30
„ „ „ nach Huntsmann . . . . .	30
„ „ „ „ Bessemer . . . . .	37
„ „ „ „ Thomas und Gilchrist . . . . .	55
„ „ „ „ Siemens und Martin . . . . .	64
Das Glühfrischen . . . . .	73
Das Zementieren . . . . .	75
Die Prüfung des schmiedbaren Eisens . . . . .	76
Die Erzeugung des schmiedbaren Eisens . . . . .	79
Register . . . . .	80

---

## Literatur.

---

Dürre: Anlage und Betrieb der Eisenhütten.

Kerpely: Bericht über die Fortschritte der Eisenhütten-  
technik.

Toldt: Regenerativ-Gasöfen.

Wüst und Borchers: Eisen und Metallhüttenkunde.

---

## Das schmiedbare Eisen.

Zur Herstellung von Waffen, Pflugscharen und anderen Gerätschaften bedurfte man schon im Altertum eines Materiales, das eine größere Festigkeit besaß als das spröde Roheisen, dessen Erzeugung erst dem Mittelalter vorbehalten war. In den kohlenstoffarmen Eisensorten (unter 2,3 % C.) fand man die gesuchten Eigenschaften, nämlich vermehrte Zugfestigkeit, Zähigkeit, sowie Schmied- und Schweißbarkeit und bezeichnete diese als schmiedbares Eisen. Von der Einteilung des I. Teils S. 7 ausgehend zerfällt das schmiedbare Eisen je nach seiner Darstellung in 2 Hauptgruppen.

### I. Schweisseisen.

### II. Flusseisen.

Das **Schweisseisen** entsteht aus einzelnen hoch erhitzten und stark erweichten Eisenkörnern, die eine teigartige Masse bilden und in der Weißglühhitze zu einem Stück zusammengeschweißt werden. Dieses schmiedbare Eisen ist nur in einem erweichten — nicht flüssigen — Zustand übergeführt worden. Daraus erklären sich die dünnen Schlackenschichten, welche das Gefüge des Schweißeisens durchsetzen. Der Schmelzpunkt des schmiedbaren Eisens liegt bei  $14 \div 1600^{\circ} \text{C}$ . und sein spezifisches Gewicht ist ungefähr 7,8. Die Eisengattungen, welche  $0,04 \div 0,4$  % Kohlenstoff enthalten, sind weich, leicht schmied- und schweißbar und

lassen bei geringem Phosphorgehalt eine Sehnensbildung erkennen, wie sie in Fig. 1 ersichtlich ist.



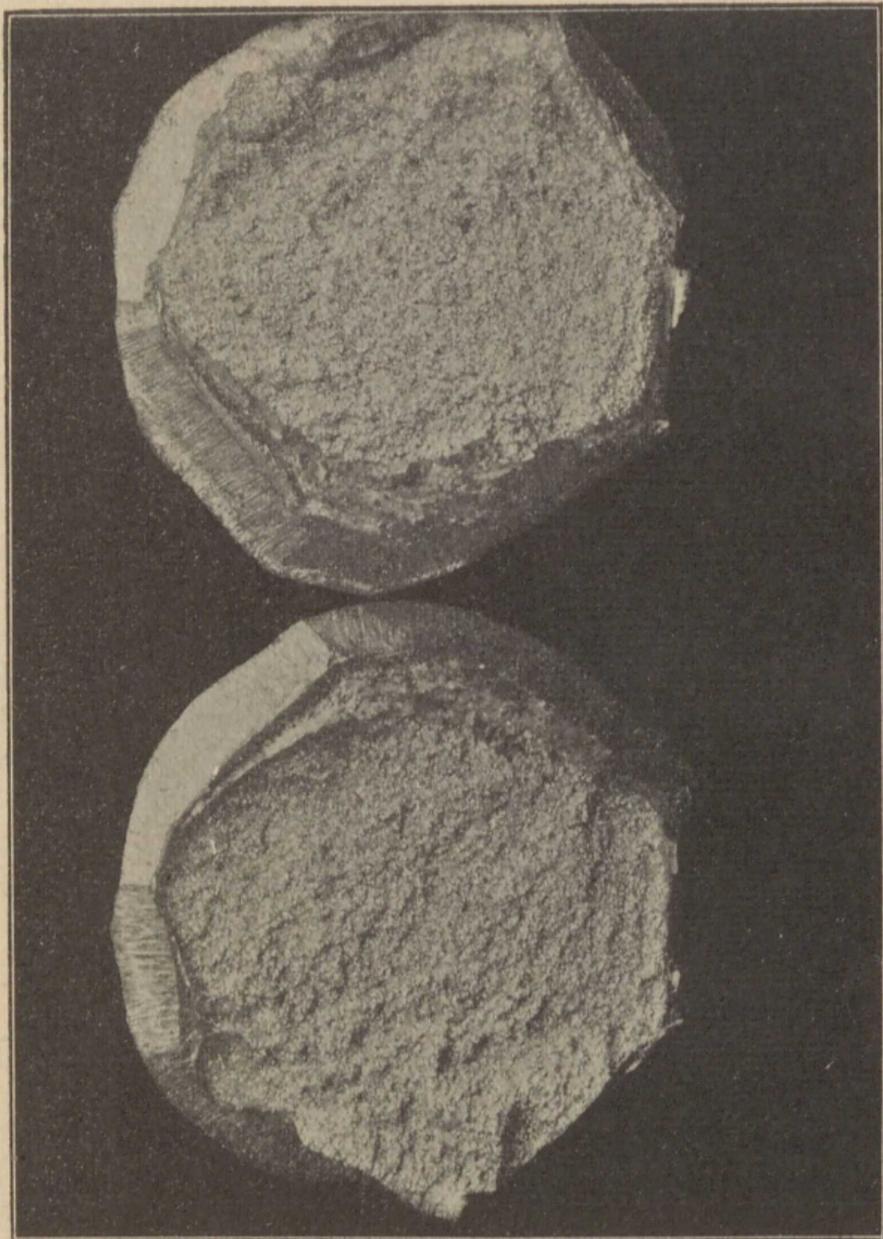
Schweißisen (Sehne).

Fig. 1.

Dieses Schweißisenstück wurde mit einem Meißel auf einer Seite eingekerbt und kalt umgebogen, wodurch die Sehnen sichtbar werden. Sie entstehen durch Zusammenschweißen der einzelnen Körner und erstrecken sich in der Richtung, in welcher das Eisenstück zuletzt gewalzt wurde. Kurzsehniges Eisen ist unbrauchbar. Das Rundeisen wird gleichsam aus einer Menge parallel aneinander gereihten Eisendrähte gebildet, die aber unter sich nicht gänzlich verbunden, sondern durch dünne Schlackenschichten getrennt werden, wofür die geringere Zugfestigkeit in der Quer- richtung den Beweis liefert. Das schmiedbare Eisen hat jedoch meistens ein krystallinisch-körniges Gefüge, welches bei raschem Abbrechen selbst eines sehnigen Schweißeisens zu beobachten ist. In Fig. 2 sind die Bruchflächen eines solchen photographisch aufgenommen, wobei die Krystalle deutlich hervortreten. Ein feineres Korn wird durch den höheren Kohlenstoff- gehalt des schmiedbaren Eisens bedingt. Dieses kohlen- stoffreichere Eisen (über 0,5 % C.) nimmt bei raschem Erkalten eine größere Härte an und wird „Schweiß- stahl“ bezeichnet, während die Übergangssorten unter dem Namen „Feinkorneisen“ laufen.

Nachfolgend einige Analysen des Schweißeisens:

		C	Si	Mn	P	S
Weiches Schweißisen		0,18	0,02	0,09	0,08	0,01
Schweiß- stahl	Feinkorneisen	0,6	0,06	0,19	0,09	0,01
	Schweißstahl	$\frac{0,85}{\div 1,0}$	0,10	0,25	0,09	0,01



Schweißeisen (Feinkorn).

Fig. 2.

Die Zugfestigkeit von Bauwerksschweißeisen in der Längsrichtung soll mindestens 34 kg auf 1 qmm Querschnitt und die Dehnung 12 % betragen, während die Festigkeitsuntersuchung bei Mantelblechen aus Schweißeisen über 30 kg auf 1 qmm und 5 % Dehnung ergibt. Der Schlackengehalt des Schweißeisens im roh bearbeiteten Zustande schwankt zwischen 2-4 %, doch steigt derselbe bei bearbeiteten Stücken höchst selten über 0,4 %.

Die verschiedenen Verfahren, nach welchen die Schweißeisendarstellung erfolgte, sind

1. Das Rennen (Schweißeisenerzeugung direkt aus den Erzen).

2. Das Frischen (Schweißeisenerzeugung durch Umschmelzen von Roheisen und Oxydation seiner Bestandteile [wie C, Si, Mn, P]).

a) Herdfrischen (Frischfeuerbetrieb) unter Verwendung von Holzkohlen.

b) Puddeln oder Flammofenfrischen unter Verwendung von Stein- oder Braunkohlen und Torf.

Von allen diesen Verfahren ist heute nur noch das letzte im Gebrauch.

Das **Flusseisen** ist, wie sein Name sagt, bei seiner Herstellung in flüssigen Zustand übergeführt worden, dabei hatte die Schlacke infolge ihres geringeren spezifischen Gewichtes Gelegenheit, sich aus der flüssigen Eisenmasse auszuscheiden. Sein Aufbau ist durch keine Schlackenschichten gestört, weshalb die Bruchproben in Fig. 3 eine gleichmäßige Zusammensetzung zeigen. Das feinste Korn unter den Flußeisensorten besitzt der kohlenstoffreichere Tiegelstahl, wie aus der Photographie



Tiegelstahl.  
Fig. 3.  
Flußeisenproben.

ersichtlich, dessen Bruchfläche ein graues samtartiges Aussehen hat. Die Härbarkeit des Flußeisens tritt erst bei einem Kohlenstoffgehalt von 0,4% C. ein und nimmt bei weiterem Steigen desselben zu. Diese härtbaren Flußeisenarten tragen die Bezeichnung „Flußstahl“. Alles Flußeisen nimmt Gase (Wasserstoff) in

## Hohlräume in Flußeisenblöcken. je nach der Siefertemperatur

normal



zu heiß (rauh Oberfläche)



zu kalt



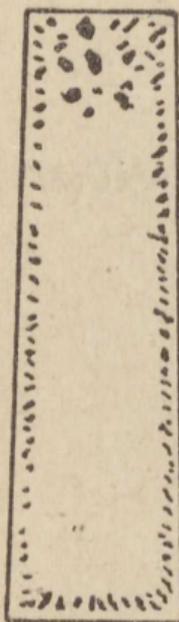
Sinker

Fig. 4.

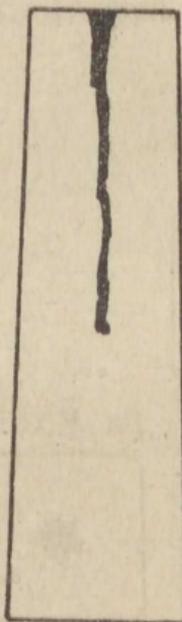
sich auf, die bei längerem Stehen und beim Erstarren zum Teil wieder entweichen, aber auch zu Hohlräumen (Blasenräumen), siehe Fig. 4 und 5, Veranlassung geben, und im wesentlichen die Ursache bilden, daß unganze Stellen im Eisen vorkommen. Das Schwinden des Flußeisens beträgt ungefähr 2% und ruft gleichfalls häufig Hohlräume hervor, welche oft ein Saugen

(Lunkern) zur Folge haben, so daß große Lunkern (Fig. 5) entstehen. Eine schlimme Eigenschaft des Flußeisens ist auch das Saigern, weshalb größere Gegenstände nie an allen Stellen die gleiche Zusammen-

### Längsschnitt durch Flußeisenblöcke.



Blasenzäume  
in einem  
richtig gegossenen Block.



Block mit Lunker.

Fig. 5.

setzung aufweisen, sondern lockere Stellen zeigen, welche zu manchen Mißerfolgen führten.

Durch Ätzen sind die Stellen, an denen Saigerungen stattfanden, leicht nachweisbar. Im allgemeinen hat aber das Flußeisen größere Festigkeit als Schweißeisen.

Die Analysen von Flußeisen ergeben:

	C	Si	Mn	P	S	
Härtere Gußstücke (Glocken etc.)	1,35	0,30	0,85	0,02	0,01	
Maschinenteile	0,4 ÷ 0,8	0,2 ÷ 0,5	0,4 ÷ 0,7	0,10 ÷ 0,018	0,01	
Dreh- u. Bohrstahl Chromstahl Wolframstahl Manganstahl Werkzeugstahl	1,2	0,16	0,18	0,018	0,01	1 ÷ 2% Chrom
	0,14 ÷ 0,6	0,12	0,05	—	—	1,5 ÷ 4% Wolfram
	1,4	0,2 ÷ 0,6	0,4 ÷ 1%	—	—	
	1,2 ÷ 1,4	—	10 ÷ 12%	—	—	
Panzerplatten Wellen Nickelstahl	0,88	0,08	1,1	0,02	0,02	2,5% Nickel
	0,3	0,16	0,76	0,02	0,03	2 ÷ 3% Nickel
Flußeisen für Träger	0,08 ÷ 0,15	0,02 max	0,4 ÷ 0,6	0,08 max	0,02	Winkel- I-Trägern etc.
Flußeisen für Schienen	0,25 ÷ 0,35	0,2 max	0,4 ÷ 0,8	0,1 max	0,02	
Stahlformgußstücke	0,2 ÷ 0,6	0,2 ÷ 0,5	0,5 ÷ 1%	0,1	0,02	

Flußeisensorten für Träger, Winkeleisen etc. haben einen durchschnittliche Zugfestigkeit von  $37 \div 45$  kg auf 1 qmm und eine Längsdehnung von 20 %, jedoch werden auch solche erzeugt, deren Zugfestigkeit 100 kg übersteigt.

Das Flußeisen wird mit Hilfe folgender Verfahren erzeugt:

1. Das Tiegelschmelzen eignet sich zur Darstellung von Werkzeugstahl, Kanonen, Wellen etc. und von Formgußstücken, Glocken, Maschinenteilen, während

2. Das Bessemer Verfahren (saurer Verfahren in der Birne) zur Darstellung von Bauwerkeisen, Schienen.

a) Die Kleinbessemerie zur Darstellung von Formguß.

3. Das Thomasverfahren (basisches Verfahren in der Birne) zur Darstellung von Bauwerkeisen, Schienen, Eisenbahnmaterial, Blechen.

4. Das Siemens-Martinverfahren. a) saurer Verfahren zur Darstellung von Blechen, Formguß. b) basisches Verfahren zur Darstellung aller Qualitätsflußeisensorten. Die neuen Verfahren, welche noch in diese Rubrik gehören sind: Das Duplexverfahren, Daelen-Pszczolka-, "Bertrand-Thiel und Talbot-Verfahren.

Schmiedbarer Guß. Die aus Roheisen gegossenen Gegenstände werden in fester Form durch Glühen mit Oxydationsmitteln in schmiedbares Eisen übergeführt, welches eine eigentümliche, schwammige Oberfläche zeigt. Auf dem Bruche schmiedbaren Gusses ist ein feines Korn von der äußeren grobkristallinen Schicht deutlich zu unterscheiden, was auf den verschiedenen Kohlenstoffgehalt des Stückes zurückzuführen ist. Dieser nimmt nach dem Innern zu und verleiht dem Eisen an den einzelnen Stellen mannigfaltige Eigen-

schaften. Die durchschnittliche Zugfestigkeit beträgt ungefähr 25 kg auf 1 qmm, aber die Dehnung nur 2 %.

Analysiert erhält man:

(0,25 ÷ 0,4) % Kohlenstoff, (0,4 ÷ 0,6) % Silicium,  
0,2 % Mangan, 0,06 % Phosphor (0,02 ÷ 0,1) % Schwefel.

Das Verfahren zur Erzeugung schmiedbaren Gusses wird „Glühfrischen“ (Tempern) bezeichnet und findet Anwendung bei der Fabrikation von kleinen Maschinenteilen, Rädern von Grubenwagen, Schraubenschlüsseln und anderen Massenartikeln.

Cementstahl (Blasenstahl): Dieser Stahl wird aus weichem und daher reinem Schmiedeeisen erzeugt, ohne dasselbe vorher flüssig zu machen oder in einen teigartigen Zustand zu bringen. Die Schmiedeeisenstäbe werden außen mit Kohlenstoff umgeben, welcher durch anhaltendes Glühen in das Schmiedeeisen übergeht und es durch höhere Kohlung in Stahl umwandelt. Er ist auf dem Bruche durch sein grobblättriges Gefüge und sein gelblich weißes Aussehen zu erkennen. Das Gefüge kann durch Bearbeiten in ein feinkörniges verwandelt werden, doch wird der Cementstahl meistens durch Umschmelzen im Tiegel zu Tiegelstahl oder durch gleichzeitiges Auswalzen mehrerer Stäbe zu einem Blocke Gärb- (Raffinier) stahl verarbeitet, welcher als Werkzeugstahl in den Handel kommt.

Die chemische Zusammensetzung ist:

(0,8 ÷ 1,2) % Kohlenstoff, (0,08 ÷ 0,15) % Silicium,  
(0,1 ÷ 0,2) % Mangan, (0,05 ÷ 0,1) % Phosphor,  
(0,02 ÷ 0,15) % Schwefel.

Die Cementstahldarstellung geschieht in besonderen Öfen (Cementieröfen) und wird „Cementieren“ genannt.

Die Einwirkung der chemischen Zusammensetzung auf das Gefüge, sowie auf die Schmied- und Schweißbarkeit, Festigkeit und Zähigkeit.

Der Kohlenstoff (C) bringt im wesentlichen die Eigenschaften des schmiedbaren Eisens hervor. Nie tritt er in graphitischer Form, sondern als Härtungs- oder Carbidkohle und nur selten aber als Temperkohle auf. Eisen mit 0,04 % Kohlenstoff und sehr geringen Beimengungen an Silicium, Mangan, Phosphor, Schwefel ist sehr weich und zäh. Im erhitzten Zustand läßt es sich leicht schweißen und in beliebige Formen schmieden. Das reine Eisen hat den höchsten Schmelzpunkt und die größte Zähigkeit, dagegen aber eine geringere Festigkeit und auf der Bruchfläche ein gröberes Korn, als das kohlenstoffreichere Eisen. Mit zunehmendem Kohlenstoffgehalt steigt die Festigkeit und wird das Gefüge feinkörniger, während die Zähigkeit, sowie Schmied- und Schweißbarkeit bei 1,2 % Kohlenstoff nahezu verschwunden sind. Der Kohlenstoff beeinflusst die Härte des gegossenen oder glühend gewalzten Eisens und verleiht ihm zum Teil seine Naturhärte. Durch rasches Erkalten eines Eisenstücks wird das Entstehen der Carbidkohle vermieden und diese in Härtungskohle übergeführt, welche dem Eisen seine Glashärte gibt. Das Erhitzen auf  $7 \div 750^{\circ}$  und langsames Abkühlen genügt jedoch, um aus Härtungskohle wieder Carbidkohle herzustellen. Soll ein bestimmter Härtegrad (Anlaßhärte) erreicht werden, so bedarf man hierzu einer geringeren Temperatur und wird das Verfahren Anlassen bezeichnet. Die Härtungsfähigkeit des Eisens ist aber erst bei einem Kohlenstoffgehalt von 0,5 % deutlich erkennbar und steigt mit der Zunahme des Kohlenstoffs.

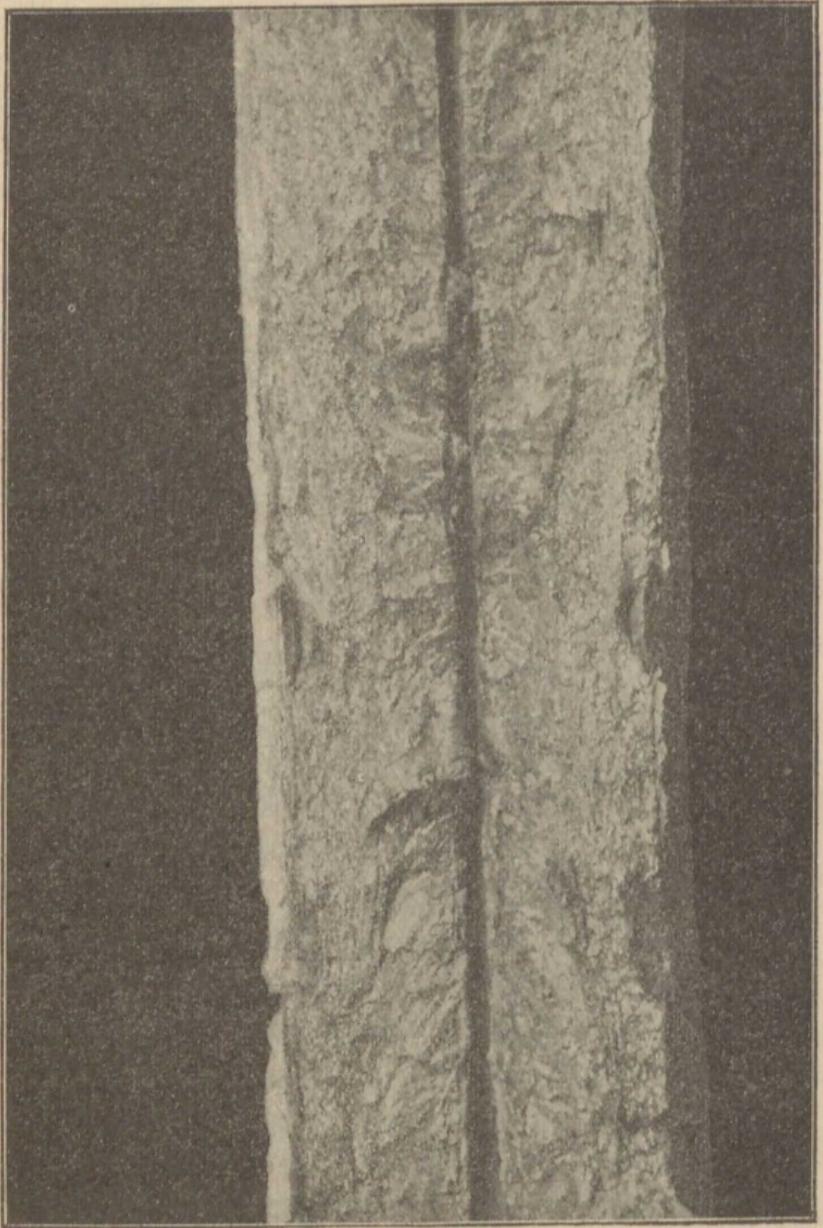
Durch Silicium (Si) wird die Festigkeit des Eisens zwar erhöht, jedoch beträgt diese Beimengung im schmedbaren Eisen selten mehr als 0,5 %, weil Silicium, namentlich bei kohlenstoffarmen Eisen, ungünstig auf die Schmied- und Schweißbarkeit einwirkt. Ein gutes, weiches Schmiedeseisen soll deshalb nur einen Siliciumgehalt von 0,02 % aufweisen.

Phosphorreiches Eisen ist kaltbrüchig und hat ein grobkörniges Gefüge, welches in Fig. 6 ersichtlich ist. Sein länglich geformtes Korn besitzt eine bläulich weiße Farbe und ist daher leicht von phosphorarmen, feinkörnigen Eisen zu unterscheiden. Phosphor (P) macht das Eisen spröde und sein Einfluß wächst mit dem Gehalt an Kohlenstoff. Sobald der Phosphorgehalt 0,1 % übersteigt, verringert er die Festigkeit des Schmiedeisens.

Schwefel (S) ruft bei 0,1 % Rotbruch hervor, wenn nicht durch einen Mangangehalt des Eisens dieser Wirkung etwas entgegen gearbeitet wird. Die Schmied- und Schweißbarkeit wird durch den Schwefelgehalt nicht beeinträchtigt, wogegen die Festigkeit und Zähigkeit eine geringe Abnahme zeigt.

Mangan (Mn) vermag die Härte und Festigkeit des Eisens zu steigern, doch muß zugleich mit einer Abnahme der Zähigkeit, Schmied- und Schweißbarkeit desselben gerechnet werden.

Durch einen Nickelgehalt (Ni) bis zu 16 % wird die Schmiedbarkeit des Eisens nur wenig beeinflusst, dagegen erhöht sich die Zugfestigkeit bis zu 120 kg auf 1 qmm Querschnitt, ohne daß eine bedeutende Abnahme der Zähigkeit zu konstatieren wäre. Der Nickelgehalt hat ein sehr feinkörniges, samartartiges,



Phosphorreiches Flußeisen.

Fig. 6.

dichtes Gefüge und findet Verwendung zu Panzerplatten, Wellen, nahtlosen Röhren etc.

Chrom (Cr) erhöht die Festigkeit, erniedrigt aber die Schmied- und Schweißbarkeit, so daß bei 1% Chrom letztere Eigenschaften vollständig verloren gehen. Das Gefüge wird durch den Chromgehalt feinkörniger, doch ist dies auch zum Teil auf die gleichzeitige Zunahme des Kohlenstoffgehalts zurückzuführen.

Wolfram (W) hat die gleiche Wirkung auf das schmiedbare Eisen wie Chrom.

Aluminium (Al). Schon 0,2% hiervon vermindern die Schweißbarkeit des Eisens, die Schmiedbarkeit jedoch erfährt erst bei  $2 \div 3\%$  eine geringe Abnahme.

Kupfer (Cu) bis zu 0,4% bringt keine Veränderung der Schmiedbarkeit und Zähigkeit hervor.

Sauerstoff erzeugt Rotbruch, sobald in Form von Eisenoxydul ( $\text{FeO}$ ) ungefähr 0,5% im Flußeisen vorhanden sind. Ein Zusatz von (Ferromangan) Eisenmangan, Siliciumeisen (Ferrosilicium), Siliciumcarbid (Carborundum  $\text{SiC}$ ), oder auch von Aluminium zerstören den schädlichen Einfluß des Eisenoxyduls, indem sie dasselbe unter Bildung von Manganoxydul bzw. Kiesel-erde oder Tonerde zu Eisen reduzieren.

Die anderen Beimengungen, wie Arsen (As); Antimon (Sb); Zinn (Sn) wirken höchst ungünstig auf das Schmiedeseisen ein und sind daher möglichst zu vermeiden.

Alle im schmiedbaren Eisen befindlichen Fremdkörper geben demselben verschiedenartige Eigenschaften und ist es deshalb oft schwer festzustellen, welche zu den Mißerfolgen geführt haben.

Die mechanische Bearbeitung (Hämmern,

Walzen, Pressen, Stanzen) macht das Gefüge immer dichter und feinkörniger und ist um so leichter zu vollziehen, je weiter die Elastizitätsgrenze von der Bruchgrenze des Materiales entfernt ist, denn nur nach Überschreitung der ersteren vermag man das Eisen in beliebige Formen zu schmieden. Infolge des Bearbeitens nimmt die Festigkeit und Sprödigkeit des Materiales zu, während die Zähigkeit vermindert wird. Auf diese Veränderung ist beim Stanzen und Lochen von Blechen zu achten, denn um die gestanzten Öffnungen entstehen spröde Ringe, welche durch Ausfeilen, Bohren oder Glühen beseitigt werden müssen, indem solche Stellen leicht zu Rissen Veranlassung geben. Durch Ausglühen (Rotglut) der bearbeiteten Stücke und langsames Abkühlen erlangt man die ursprüngliche Festigkeit und Zähigkeit des Materials wieder, was namentlich bei geschmiedeten Stücken, Blechen, gezogenen Drähten geschieht. Es ist bekannt, daß gegossene Stücke wegen ihres ungleichmäßigen Erkaltes innere Spannungen erhalten, weshalb sie oft Stunden (größere Stücke sogar Tage) lang geglüht werden. Andauernde Erschütterungen rufen keine Gefügeänderung hervor, solange die Elastizitätsgrenze des Eisens nicht überschritten wird.

### **Die Darstellung des Schweißeisens.**

Das älteste Verfahren ist direkt aus Erzen mit Hilfe des Rennfeuers das Schweiß Eisen herzustellen, dabei waren große Eisenverluste nicht zu umgehen, weil die Eisenoxyde nur teilweise durch die Holzkohle reduziert wurden und zum großen Teil in die Schlacke übergingen.

Nach Erfindung des Roheisens erkannte man, daß

es weit rationeller ist, zuerst aus den Erzen das Roheisen zu gewinnen und dann aus diesem das schmiedbare Eisen herzustellen. Derselbe Ofen wie beim Rennen wurde für das Herdfrischen benützt. Man verwendete die Roheisenabfälle aus der Gießerei und schmolz sie mit Holzkohle nieder, wozu ein Gebläse diente. Das flüssige Roheisen wurde auf dieselbe Weise verarbeitet, wie bei dem späteren Puddelprozeß. Das Herdfrischen ist aber heute ebenfalls verlassen, weil der rasch steigende Bedarf an Schweißeisens die Verwendung der teureren Holzkohle ausschloß. An ihre Stelle ist die Stein- und Braunkohle getreten.

#### Puddeln oder Flammofenfrischen.

Im Jahre 1784 baute der Engländer Cort den ersten Puddelofen, in welchem das Roheisen durch eine Steinkohlenfeuerung niedergeschmolzen und in schmiedbares Eisen umgewandelt wurde. Das Roheisen darf bei diesem Verfahren mit dem Brennstoff nicht in Berührung kommen, um durch die Asche der Stein- oder Braunkohlen keine Verunreinigung der geschmolzenen Masse hervorzurufen. Daher griff man zur Rost- und Gasfeuerung, bei welcher das Brennmaterial in einem vom Herde getrennten Raum verbrannt und somit eine Verunreinigung des Bades nicht zu befürchten ist. In Fig. 7, 8, 9 und 10 sehen wir die Konstruktion eines Puddelofens, wie er heute noch vielfach in manchen Werken angetroffen wird. Der Puddelofen setzt sich im wesentlichen aus drei Abteilungen, der Feuerung (r), dem Herd (h) und dem Fuchs (f), zusammen. Die Rostfeuerung (r) besteht bei Verwendung von Steinkohlen aus einem einfachen Planrost und von Braunkohlen aus einem Treppenrost. In



der Abbildung 7 und 8 ist der Planrost aus einzelnen Stäben gebildet, welche auf zwei drehbaren Eisenstangen (n) ruhen, damit der Rost gesenkt und die daran haftende Schlacke entfernt werden kann. Durch die Schüröffnung (g) wird der Rost mit Steinkohlen beschickt. Die Abgrenzung der Rostfläche geschieht durch feuerfest gebaute Wände (m) und die Feuerbrücke (i), welche den Herdraum vom Roste trennt. Der Herd selbst ist auf gußeisernen Platten (Leg-eisen) (l) errichtet, die unten von Luft gekühlt werden und oben mit einer basischen Masse (b) von 120 mm Stärke überdeckt sind. Die Dimensionen des Herdes sind für einen Einsatz von 220 ÷ 250 kg berechnet. Der Feuerbrücke (i) gegenüber ist die Fuchsbrücke (u), die den Herdraum gegen den Fuchskanal abschließt, dessen Mittellinie aber gegen die Herdmitte um 80 ÷ 100 mm versetzt ist. Auf der Vorderseite des Herdes befindet sich die nach der Feuerbrücke (i) verschobene und mit einer Öffnung (e) versehene Ein-satztüre (t), welche durch den Hebel (a) hochgezogen werden kann. Durch diese Konstruktion ist der Puddler in Stand gesetzt, auf der ganzen Herdfläche mit seinem Gezäh arbeiten zu können. Die Rückwand des Herdes, sowie die Feuer- und Fuchsbrücke sind mit Wasserkühlung (w) ausgerüstet, welche stündlich 0,7 ÷ 0,9 cbm Wasser verbraucht. Die Überwölbung des Herdes (120 ÷ 150 mm stark) steigt nach vorn an, dadurch, sowie infolge der Verschiebung der Mittellinie des Fuchskanals werden die über die Feuerbrücke schlagenden Flammen rasch nach der Vorderseite gelenkt und die bei (e) einströmende kalte Luft nach dem Fuchskanal geführt. In Fig. 7 ist ein fliegender (ansteigender) Fuchskanal eingezeichnet, welcher die heißen

## Schweißofen II.

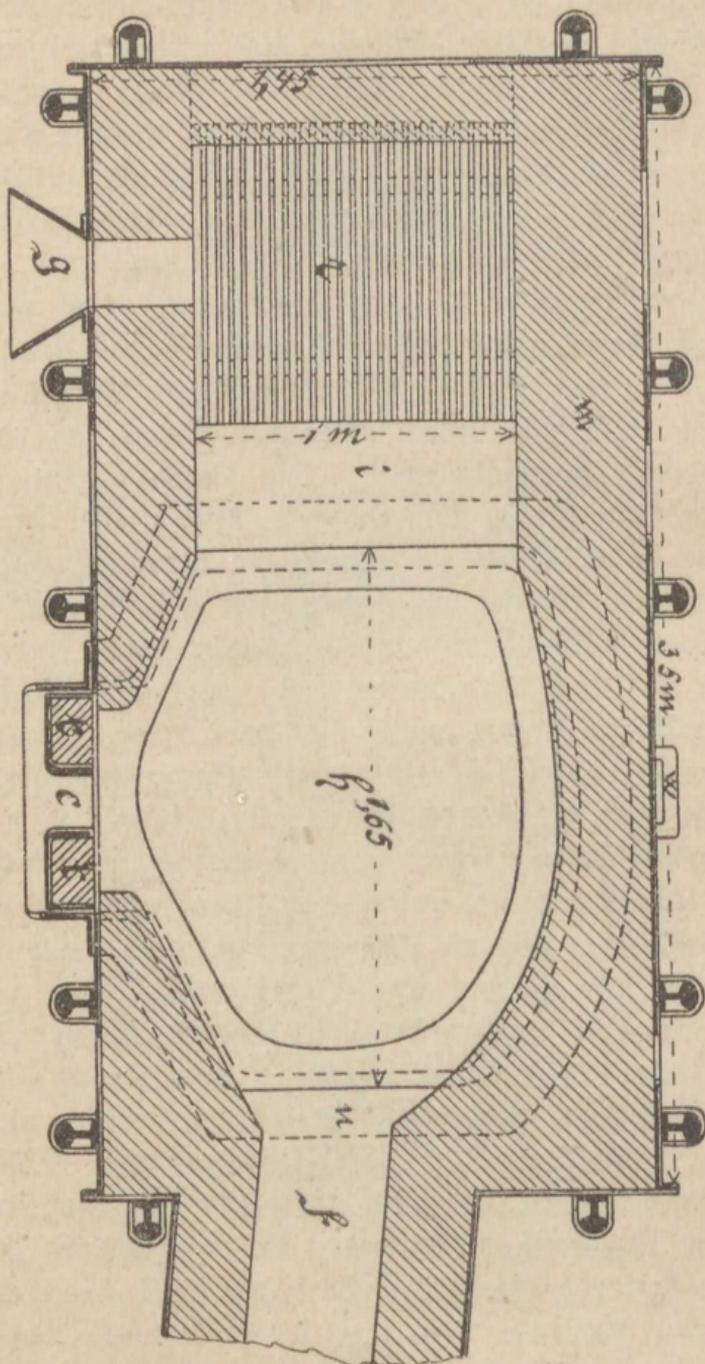
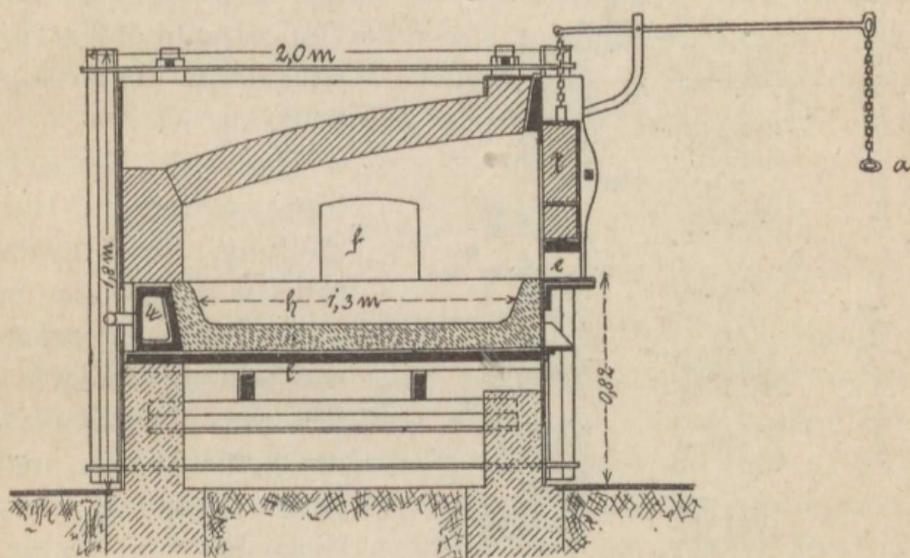


Fig. 8.

Verbrennungsprodukte nach dem Dampfkessel (D. K.) oder sofort nach dem Schornstein (s) leitet. Der fließende Fuchs ist abwärts geneigt und muß an der Seite eine Öffnung haben, durch welche die Schlacke nach außen gelangt, da im Verlauf des Prozesses mitunter ein Teil der Schlacke über die Fuchsbrücke fließt. Zur weiteren Ausnützung der heißen Abgase ordnet



Puddelofen. III.

Fig. 9.

man hinter jedem Fuchs einen liegenden Dampfkessel mit ungefähr  $20 \div 30$  qm Heizfläche an. Diese liefern den nötigen Dampf (5 kg Überdruck) für die Luppenhämmer (D. H.) oder dampfhydraulischen Luppenpressen und das Walzwerk (L. W.). Trotz dieser Maßregel bleibt die Ausnützung der Steinkohle eine geringe und beträgt der Wirkungsgrad nur ungefähr 0,8. In dem Lageplan des Puddelwerks (Fig. 10) stehen jedesmal

2 Öfen sehr nahe beisammen, weil man die Erfahrung gemacht, daß auf diese Weise errichtete Anlagen am meisten dem Zweck entsprechen, indem bei kleineren Öfen die Arbeit und Bedienung weit leichter geschieht, als bei den großen Doppelpuddelöfen mit Einsätzen von 5 ÷ 600 kg.

Betrieb: Die Leg-eisen werden zur Herstellung des Herdes mit Ton bestrichen und darauf eisenoxydreiche zerkleinerte Schlacken (Puddel- oder Schweißofenschlacken u. auch Erze) gegeben und diese bis zum Sintern erhitzt. Mittelst Stangen bricht man die Masse auf, bis sie ein gleichmäßiges Gemisch gibt. Hierauf erfolgt ein Zusatz von Hammerschlag (Walzensinter), welcher die Schlacke durch die

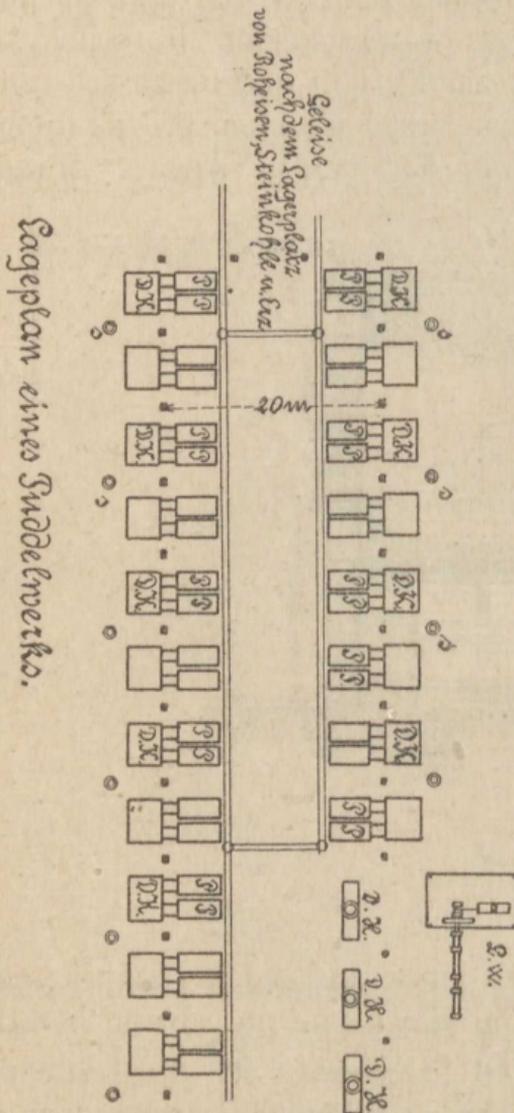


Fig. 10.

Anreicherung mit Eisenoxyduloxyd strengflüssiger macht. Nach längerem Erhitzen wird die basische Masse auf dem Boden und an den Seiten des Herdes verteilt.

Auf diese Weise erhält man einen muldenförmigen Herd, der sich nun zum Betriebe eignet. Die zerkleinerten Weißisenmasseln und etwas graues Roheisen werden durch die Ersatztüre (t) in den Ofen gebracht und auf die Herdsohle gestellt. Je zwei Stücke werden aufrecht gegeneinander gelehnt, wodurch man ein schnelleres Schmelzen des Roheisens erreicht. Die chemische Zusammensetzung des Roheiseneinsatzes ist von der Sorte des zu erzeugenden Schweißeisens abhängig. Bei Darstellung von feinkörnigem Schweißisen verwendet man durchschnittlich einen Einsatz von:

(2,5 ÷ 3) % Kohlenstoff, (0,5 ÷ 1) % Silicium,  
(1 ÷ 1,5) % Mangan und höchstens 1 % Phosphor.

während die Stahlfabrikation einen höheren Mangan Gehalt erfordert, um die zu schnelle Entkohlung zu vermeiden. Als Zuschlag zum Roheisen wird ungefähr 20 ÷ 40 % des Einsatzes an Hammerschlag oder Eisenerzen gegeben. Während des Einschmelzens, welches 30 ÷ 45 Minuten in Anspruch nimmt, wird die Türöffnung (e) mit einer Eisenplatte abgeschlossen, um die dort einströmende kalte Luft abzuhalten und ein Abkühlen der Vorderseite zu vermeiden. Die von den Verbrennungsgasen mitgeführte Luft bewirkt die Oxydation des im Roheisen enthaltenen Siliciums und Mangans zu Kieselsäure bzw. Manganoxydul, wobei eine bedeutende Wärme entwickelt wird, die zur Erhöhung der Badtemperatur wesentlich beiträgt. Diese vereinigen sich nun zu einer leicht flüssigen, kiesel-sauren Schlacke ( $\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$ ). Auch ein Teil des Eisens wird zu Eisenoxydul oxydiert, welches mit Kieselsäure eine ähnliche Schlacke ( $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ ) bildet.

Die letztere löst den Hammerschlag ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) auf und geht in eine eisenoxydreiche Schlacke über, die durch Abgabe von Sauerstoff auf den Kohlenstoff des Roheisens einwirkt. Der Kohlenstoff wird nicht mit Hilfe der Luft, sondern durch die eisenoxydreiche Schlacke zu Kohlenoxydgas ( $\text{CO}$ ) verbrannt, deren Oxydgehalt an der Oberfläche stetig erneuert wird. Der Puddler führt nach dem Einschmelzen eine Kratze (Rührhaken) durch die Öffnung (e) in den Ofen, rührt mittelst Vor- und Rückwärtsbewegen derselben die flüssige Masse um, wodurch das Roheisen in innige Berührung mit der Schlacke gelangt. Diese Arbeit beschleunigt die Bildung von Kohlenoxydgas, das unter heftigem Aufwallen des Bades entweicht. Infolge des lebhaften Kochens fließt zu gleicher Zeit ein Teil der Schlacke aus der Öffnung (e). Die anderen Beimengungen, wie Phosphor und Schwefel, werden gleichfalls im Verlauf des Prozesses oxydiert. Der Phosphor geht in Phosphorsäureanhydrid ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) über, welches von der Schlacke aufgenommen wird. Auch Schwefel wird zu schwefliger Säure verbrannt, die sich aber verflüchtigt. Die Oxydation desselben ist jedoch sehr von der Dauer des Prozesses abhängig, weshalb ein Mangangehalt von günstigem Einfluß ist. Bei fortschreitender Entkohlung des Eisens erhöht sich dessen Schmelztemperatur und würde es, um flüssig gemacht werden zu können, einer weit höheren Badtemperatur bedürfen, als wie sie im Puddelofen erreicht wird. Aus diesem Grunde bilden sich auf der Oberfläche kleine Eisenkörner schmiedbaren Eisens, welche sich zu einem blumenkohlformigen Gebilde vereinigen und den Herd ausfüllen. Dadurch wird die Arbeit des Puddlers erschwert, was ihn veranlaßt nun die Brechstange (Spitze)

zu nehmen, mit welcher er die steife Masse aufbricht, öfters umsetzt und endlich zu 3 ÷ 5 Ballen (Luppen) zusammendrückt. Diese werden nahe an die Feuerbrücke gelegt, um durch hohe Erhitzung die Schlacke möglichst aus ihnen zu entfernen. Unter Dampf-hämmern (D. H.) oder hydraulischen Pressen formt man die Luppen zu rohen Blöcken und entfernt hierbei einen großen Teil der anhaftenden Schlacke. In einer Hitze werden diese Blöcke sofort in den Luppen-walzwirken zu Rohschienen verarbeitet.

Der ganze Puddelprozeß erfordert etwa  $1\frac{1}{2}$  ÷ 2 Stunden und wird der Abbrand des Roheiseneinsatzes dabei 10 ÷ 15 % betragen. Innerhalb 24 Stunden setzt man in einem Puddelofen 12 ÷ 14 Chargen durch und verbraucht zur Erzeugung von 1000 kg Rohschienen aus weichem, schmiedbaren Eisen ungefähr 8 ÷ 900 kg und zu solchen aus Stahl 1200 kg Steinkohle. Die entstehende Schlacke ist von großem Einfluß auf den Verlauf des Prozesses und ihre Zusammensetzung von der Darstellung der Schweißeisensorte abhängig. Eine Durchschnittsanalyse ist im folgenden angegeben:

(52 ÷ 65) %	(5 ÷ 15) %	(2 ÷ 8) %
Eisenoxydul,	Eisenoxyd,	Manganoxydul,
(4 ÷ 7) %	(1 ÷ 3) %	(15 ÷ 20) %
Kalkerde und Magnesia,	Tonerde,	Kieselsäure,
(2 ÷ 5) % Phosphorsäure ( $P_2O_5$ ).		

Durch mechanische Vorrichtungen hat man die schwere Arbeit des Puddlers zu ersetzen gesucht, jedoch haben diese Konstruktionen sich bisher nicht bewährt. Um die gleichmäßige Zusammensetzung der Rohschienen konstatieren zu können, bricht man sie an verschiedenen Stellen ab, und je nach dem Befund des Bruches sortiert

man fein- und grobkörnige Stücke, die mit Draht in Pakete gebunden zur weiteren Verarbeitung gelangen. Die feinkörnigen Schienen werden meistens zur Tiegelstahlerzeugung verwendet, weshalb sie zu quadratischen Stäben gewalzt, im Wasser rasch abgekühlt und in Stücke zerkleinert, wie sie für den Tiegel sich eignen.

Die Schweißeisendarstellung nimmt von Jahr zu Jahr ab und wird durch das Flußeisen immer mehr verdrängt; sie ist daher nur noch für die Erzeugung von Spezialsorten gewinnbringend.

## Die Darstellung des Flußeisens.

### Tiegelstahl.

Das älteste Verfahren der Flußeisenerzeugung ist das Umschmelzen schmiedbaren Eisens im Tiegel, das im Jahre 1730 von dem Uhrmacher „Huntsmann“ erfunden wurde. Nach seinen Angaben wurde in England der Tiegelstahl (Gußstahl, Tiegelflußeisen) eingeführt und gelangte dieses Verfahren von dort nach Deutschland, wo es die Firma Krupp und der Bochumer-Verein verbesserten und als erste im Stande waren, große Gußstücke aus Flußeisen herzustellen. Es ist bekannt, daß sich mit abnehmenden Kohlenstoff der Schmelzpunkt des schmiedbaren Eisens bedeutend erhöht, darum wird nur wenig kohlenstoffarmes Eisen (sog. Mitisguß) im Tiegel umgeschmolzen, wogegen aber der Stahl häufig diesem Verfahren unterworfen ist. Die Überführung der Wärme in das Metall ist bei direkter Berührung des Metalls mit den heißen Gasen viel bedeutender, als bei Verwendung von Tiegeln, doch hat das Tiegelschmelzen den Vorzug, daß eine

schädliche Einwirkung der Flamme auf das Erzeugnis unmöglich und das Flußeisen keine Gase in sich aufzunehmen vermag. Auch zeichnet sich das Tiegelflußeisen durch seine vorzüglichen, bei anderen Verfahren unerreichbaren Eigenschaften aus, weshalb es auch trotz des hohen Preises bis heute Verwendung findet.

Tiegel. Als Schmelztiegel sind hauptsächlich Graphittiegel im Gebrauch, welche bei einer Temperatur ( $1600^{\circ}$  C.) ihre Form und Festigkeit bewahren. In diesen verhält sich der umgeschmolzene Stahl vollkommen ruhig, während er in gewöhnlichen Tontiegeln unruhig und zum Steigen geneigt ist. Die Tiegel werden aus feingemahlenem Graphit (von Ceylon oder Passau) und Ton unter Zusatz von Magerungsmitteln hergestellt. Der Graphit besteht aus:

(70 : 85) % Kohlenstoff, (10 : 20) % Kieselsäure, (0,5 : 6) % Tonerde, (0,5 : 1) % Eisenoxyd, (1 : 2) % Wasser und nur wenig Alkalien, wie Kalium- und Natriumoxyd.

Er wird in Kugelmühlen oder Kollergängen staubfein gemahlen und in einigen Werken vor seiner Verwendung durch Behandeln mit Salzsäure (HCl) von Eisenoxyd und Alkalien gereinigt. Die Entfernung der Kieselsäure aber kann nur durch Flußsäure (HF) erreicht werden. Der Ton, welcher das Bindemittel für den Graphit bildet, weist etwa folgende Zusammensetzung auf:

(30 : 40) % Tonerde, (45 : 55) % Kieselsäure, (0,4 : 0,8) % Eisenoxyd, (0,5 : 1) % Kalkerde, (0,1 : 0,4) % Magnesia, (1 : 3) % Alkalien und (10 : 15) % Wasser.

Diese beiden (Graphit, Ton) werden angefeuchtet, in bestimmtem Verhältnis miteinander in Kollergängen innig gemischt, dann gebrannter Ton oder alte sorgfältig

ausgelesene, eisenfreie Tiegelscherben als Magerungsmittel beigemischt. Das Mischungsverhältnis ist ungefähr  $(30 \div 50)\%$  frischer Ton,  $(20 \div 70)\%$  Graphit und etwa  $(10 \div 20)\%$  gebrannter Ton. Die gut gemischte Masse wird entweder auf Töpferscheiben von Hand geformt oder in Gypsformen mit einer Schablone hergestellt, doch sind auch vielfach Pressen zur Fabrikation von Tiegeln in Anwendung. Hier wird ein Stempel (Mönch) in die möglichst luftfreie Graphitmasse eingedrückt, wodurch der Tiegel (t) die in Tafel I gezeichnete Form erhalten. Die Größe der Tiegel ist meistens für einen Inhalt von  $30 \div 50$  kg Stahl berechnet. Innerhalb  $3 \div 4$  Wochen werden die fertigen Tiegel langsam an der Luft und nachher in erwärmten Räumen (bei  $40 \div 50$  C.) getrocknet und zuletzt in einem Brennofen geglüht, wozu nur eine leichte Rotglut nötig ist. Ein guter Tiegel darf außen keine Risse, auf dem Längsschnitt keine sich überlagernde Schichten aufweisen und hält  $2 \div 3$  Schmelzungen aus. Jedoch verwenden viele Werke den Tiegel nur einmal, um Betriebsstörungen zu vermeiden, welche der Durchbruch eines Tiegels hervorrufen könnte.

Die Untersuchung von Tiegeln für die Stahlzeugung ergab:

$(45 \div 52)\%$  Graphit,  $(10 \div 16)\%$  Tonerde,  $(32 \div 38)\%$  Kieselsäure,  $(1 \div 2)\%$  Eisenoxyd,  $(0,2 \div 1)\%$  Kalkerde und Magnesia, dabei betrug der Gehalt an körnigem Sand  $(10 \div 12)\%$ .

#### Der Bau der Schmelzöfen:

Zum Schmelzen kleinerer Mengen sind die Piatöfen, Baumann- und Basse-Selve-Öfen im Gebrauch. Beim Piatofen benützt man nur den natürlichen Luftzug zum Verbrennen des Koks, welcher den Tiegel rings umgibt, während die beiden anderen Systeme

ein schwaches Gebläse in Anwendung bringen. Alle drei Öfen sind mit einer Kippvorrichtung zum Gießen des Stahls versehen, um die Tiegel hierzu nicht herausheben zu müssen, was zugleich einen Wärmeverlust bedeuten würde. Der Tiegel hält dort 20 ÷ 30 Chargen aus. Der Koksverbrauch in diesen Öfen stellt sich bei Erzeugung von 1000 kg Stahl auf etwa 1200 kg.

Durch die Erfindung der Siemensfeuerung im Jahre 1861 ist es möglich, mehrere Tiegel zugleich in einem Flammofen auf die nötige Temperatur zu erhitzen. Solche Öfen lassen eine bessere Ausnützung der entwickelten Wärme zu, doch steigt der Wirkungsgrad selten über 0,04. Als Heizmaterial dienen hier Stein- und Braunkohlen, was eine wesentliche Ersparnis gegenüber dem Koks bedeutet. Die Tiegel kommen hierbei mit dem Brennstoff und der Asche nicht in Berührung und sind somit jederzeit leicht zugänglich. In Tafel I sind Zeichnungen eines Tiegelofens mit Siemensfeuerung ausgeführt. Der längliche feststehende Herdraum fast 16 Tiegel (t) und ist durch Abheben der Deckel (d) mit Hilfe des Hebels (h) von oben zugänglich. Die Herdsohle besitzt in der Mitte einen Kanal (k), um dem Stahl bei schadhaft gewordenen Tiegeln schnellen Abfluß zu verschaffen. Zu beiden Seiten des Herdes befinden sich die Wärmespeicher, je einer für Gas und Luft, die letzteren sind etwas größer dimensioniert, weil das Gas immer mit einem Luftüberschuß von ungefähr 10 ÷ 20 % verbrannt wird. Die Wärmespeicher ( $l_1g_1$ ) bzw. ( $l_2g_2$ ) sind mit feuerfesten Steinen (Dinaziegeln mit 97 % Kieselsäure) gitterartig ausgesetzt. Man rechnet für eine Tonne der in 24 Stunden vergasten Steinkohle ungefähr 2 ÷ 3 cbm Gitterraum. Die Luft und das Gas leitet man

bei ihrer Ausströmung z. B. aus den Wärmespeichern ( $l_1$ ) bzw. ( $g_1$ ) senkrecht mit verschiedener Geschwindigkeit aufeinander, um das Gas zur raschen Verbrennung zu zwingen. Durch die abwärts geneigten Kanäle ( $a_1$ ) bzw. ( $a_2$ ) gibt man der entstehenden Flamme die Richtung nach unten.

Manche Tiegelöfen sind für 50 ÷ 100 Tiegel eingerichtet und mit seitlichen Türen zum Einsetzen und Herausnehmen versehen. Diese oberirdischen Öfen haben sich in großen Gußstahlfabriken sehr bewährt.

Die Kosten belaufen sich je nach der Größe des Ofens auf 16 ÷ 30 000 Mark.

Betrieb. Die in einem besonderen Ofen leicht vorgewärmten Tiegel werden mit einer abgewogenen Menge von Schweiß- oder Cementstahl und etwas Flußeisenabfällen beschickt. Die Zugaben wie Chrom, Wolfram, Eisenmangan (auch Braunstein  $MnO_2$ ) werden bei Erzeugung besonderer Stahlsorten gleichfalls abgewogen in die Tiegel gegeben. Die Tiegeldeckel werden mit einem Lehmpropfen verschlossen, am Rande abgedichtet und alsdann auf die Tonplatten (p) im Herde gestellt. Angenommen, die Umsteuerungen seien so gestellt, daß die Luft und das Gas aus den Wärmespeichern ( $l_1$ ) bzw. ( $g_1$ ) kommen, von dort in den Kanal ( $a_1$ ) gelangen und im Herdraum verbrennen, so müssen jetzt die heißen Verbrennungsprodukte den Herdraum und die Wärmespeicher ( $g_2$ ) und ( $l_2$ ) durchziehen und ihre Wärme an diese Wandungen abgeben. Hierauf werden sie nach den Umsteuerungen zurückgeleitet, von welchen sie nun durch den Schornstein entweichen. Die erläuternden Zeichnungen hierzu sind bei dem Siemens-Martinofen in Fig. 21 ÷ 25 zu sehen. Während der Anheizung des Ofens wird jede halbe Stunde um-

gesteuert, dagegen genügt bei vollem Betriebe ein Richtungswechsel für Gas und Luft nach Verlauf einer Stunde, so daß die Gase den umgekehrten Weg einschlagen wie er eingezeichnet ist, also aus ( $g_2$ ) und ( $l_2$ ) nach ( $a_2$ ;  $a_1$   $g_1$   $l_1$ ) und dem Schornstein. Innerhalb 3 ÷ 4 Stunden ist der Einsatz in den Tiegeln flüssig geworden und beginnt heftig zu wallen, wobei Kohlenoxydgas (CO) entweicht. Dieses bildet sich durch teilweise Reduktion der im Einsatz enthaltenen Oxyde. Nach beendigter Kochperiode läßt man den Stahl eine Zeitlang abstehen, um das Steigen in der Gußform zu verhüten. Durch Einführen einer Stange in die Deckelöffnung (e) erhält man die Gewißheit über die Beschaffenheit des Stahles. Ist derselbe gebrauchsfertig, so zeigt sich an der Stange eine hellbraune statt der schwarzen Schlacke, auch ist dann an ihr kein Funkensprühen mehr sichtbar. Durch Umschmelzen und Reduktion von Kieselsäure nimmt der Stahl aus der Tiegelmasse etwas Silicium und Kohlenstoff in sich auf. Bei Tiegeln mit 50 % Graphit ist aber eine Zunahme von 0,1 % Kohlenstoff im Stahl in Betracht zu ziehen. Der Phosphor- und Schwefelgehalt verringert sich im Verlauf des Prozesses nicht im geringsten, weshalb nur ein sehr reines Ausgangsmaterial Verwendung finden kann. Im Tiegel wird demnach eine Absonderung der eingeschlossenen Schlacke und Gase, eine teilweise Reduktion der enthaltenen Oxyde und eine Kohlenstoffanreicherung erzielt. Der eventuell beigegebene Braunstein erleidet gleichfalls eine Reduktion. Die Schlacke setzt sich zusammen aus:

- (20 ÷ 30) % Tonerde, (15 ÷ 25) % Manganoxydul,
- (2 ÷ 4) % Eisenoxydul, 0,5 % Kalkerde und Magnesia,
- (40 ÷ 50) % Kieselsäure.

Die Tiegel werden nun mittelst einer Zange aus dem Ofen gehoben und nach dem Gießplatz getragen. Zum Gießen größerer Stücke darf der Strom des einfließenden Stahls nie unterbrochen werden. Man findet deshalb meist zwei Eingüsse an den Formen, so daß von 2 Seiten zugegossen werden kann. Auf diese Weise werden oft, durch Zuzammengießen des Inhalts aus Hunderten von Tiegeln, Stücke von mehreren Tonnen Gewicht hergestellt. Wird ein Aluminiumzusatz von 0,1 % oder bei Schmiedeblocken nur bis zu 0,04 % beigegeben (damit kein Steigen und Undichtwerden des Gußstückes eintritt), so ist der Inhalt der Tiegel in einer größeren Pfanne zu vereinigen, der dann erst aus dieser in die Form gegossen wird. Die im Tiegel befindliche Schlacke muß beim Gießen vermittelst einer Eisenstange von einem Arbeiter zurückgehalten werden. Innerhalb 24 Stunden werden durchschnittlich 3 ÷ 5 Chargen in einem Ofen durchgesetzt und aus ungefähr 1050 kg Schweißstahl mit 14 ÷ 1500 kg Steinkohlen 1000 kg Stahl gewonnen. Die Fabrikationskosten für die Tonne sind 120 ÷ 200 Mark.

#### Besondere Arten des Verfahrens.

Mitisguß. Die Darstellung ganz weichen Flußeisens im Tiegel erfordert eine sehr hohe Temperatur und beansprucht die Tiegel in bedeutendem Maße. Mit Erfolg hat man hier die Naphthafeuerung angewandt, doch bleibt diese auf die Gegenden beschränkt, wo die Naphtha vorkommt (Rußland, Nordamerika). Der Mitisguß wird überhaupt nur sehr wenig ausgeführt.

Damaststahl: Schon im Altertum hat der in Indien hauptsächlich erzeugte Stahl eine große Rolle in der Waffentechnik gespielt. Das im Rennfeuer dar-

gestellte äußerst reine Schmiedeisen wurde im Tiegel mit Holzkohle verpackt, geglüht und zum Teil geschmolzen. Die beim Ätzen mit Säuren (Damaszierung) auftretenden Figuren sind auf den verschiedenen Kohlenstoffgehalt der einzelnen Eisenstellen zurückzuführen.

Durch Zusammenschmelzen im Tiegel von Eisenerzen und Roheisen oder von weichem Schmiedeisen mit Roheisen, wollte man vor der Einführung der neueren Flußeisenverfahren Stahl herstellen, allein die Versuche scheiterten meistens an dem unreinen Roheisen, welches nur schwierig in der hierfür nötigen Reinheit zu erzeugen war.

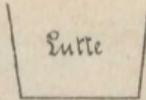
Bessemer- und Thomasverfahren (Windfrischen).

Bei dem schon besprochenen Puddelverfahren wird der Kohlenstoff nur auf einem Umwege und mit Hilfe der eisenoxydreichen Schlacke verbrannt, während das Bessemer- und Thomasverfahren die unmittelbare Oxydation des Kohlenstoffs durch den Sauerstoff der Luft erreicht. Nach langen schwierigen Versuchen gelang es dem Engländer Henry Bessemer im Jahre 1855 aus flüssigem Roheisen durch eingeblasene Luft Flußeisen zu gewinnen. Das Bessemerverfahren (saueres) verschaffte sich infolge der vielen Verbesserungen und der konstruktiv raschen Vervollkommnung<sup>o</sup> schnellen Eingang. Zum Auskleiden der Bessemerbirne benützt man saure feuerfeste Steine, welche eine Entphosphorung des Roheisens nicht zulassen. Es zeigte sich, daß nur aus phosphorarmen Roheisen (Bessemerroheisen mit höchstens 0,1 % Phosphor), ein brauchbares Schmiedeisen zu erhalten ist. Man versuchte zwar die Entphosphorung durch Anwendung einer basischen Ausfütterung in der Art, wie sie im Puddelofen gebraucht

wird, zu erreichen, jedoch hat sich diese in der hohen Temperatur keineswegs bewährt. Erst später im Jahre 1878, gelang es den Engländern Thomas und Gilchrist ein widerstandsfähiges, basisches Futter aus Dolomit herzustellen, welches die Entfernung selbst eines hohen Phosphorgehalts unter Zuschlag von gebranntem Kalk ermöglichte. Für die deutsche Eisenindustrie, welche hauptsächlich phosphorreiche Erze zur Verfügung hat, ist diese Erfindung von großer Tragweite.

#### Der Bau der Bessemer- und Thomaswerke:

Die Konstruktion einer Thomasbirne (Konverter) ist aus Tafel II und Fig. 11—15 zu ersehen, dieselbe ist der Bessemerbirne ganz ähnlich und liegt der wesentliche Unterschied in der verschiedenartigen Ausmauerung und dem späteren Verfahren. Letztere wird mit feuerfesten (sauren) und erstere mit basische Steinen (Dolomitziegeln) ausgemauert. Die Birne besteht bei beiden aus einem eisernen Mantel von  $15 \div 25$  mm Stärke, ist innen mit einer  $3 \div 400$  mm dicken Wand versehen und von einem starken Stahlgußring (g) umspannt, welcher aus vier durch Schrauben verbundenen Teilen zusammengesetzt ist. Sie ruht in zwei Lagern, die sich  $5 \div 6$  m über der Hüttensohle auf der Konverterbühne befinden. An dem einen Zapfen ( $Z_1$ ) ist ein Zahnrad (r) angebracht, welches vermittelst einer hydraulisch bewegten Zahnstange (s) etwa um  $(180 \div 270)^\circ$  gedreht werden kann. Auf der anderen Seite ist ein hohler Zapfen ( $Z_2$ ), in den der gepreßte Wind (l), von dem Gebläse kommend, durch eine Stopfbüchsenanordnung eingeleitet wird. Von dort gelangt er durch ein dickwandiges Rohr nach dem Windkasten (w) unter den Boden (b) der Birne. Dieser ist in der Zeichnung



Thomasbirne (Stellung III während des Blasens.)

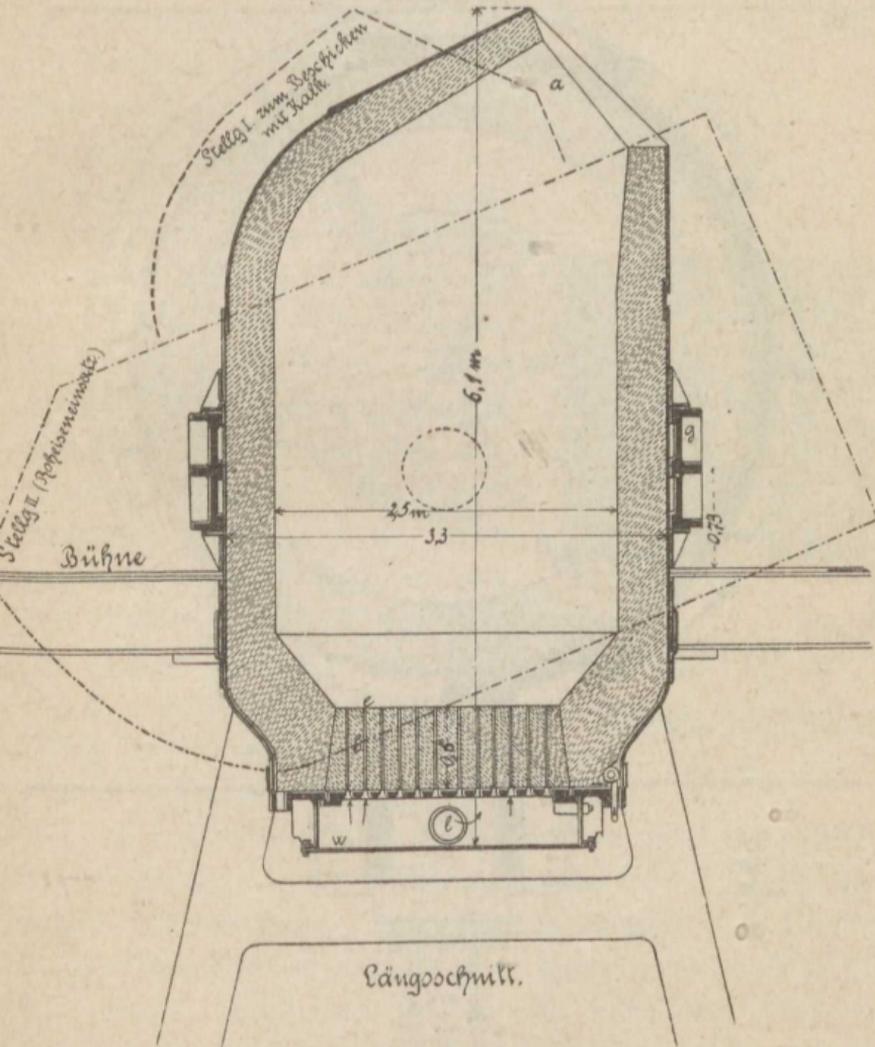
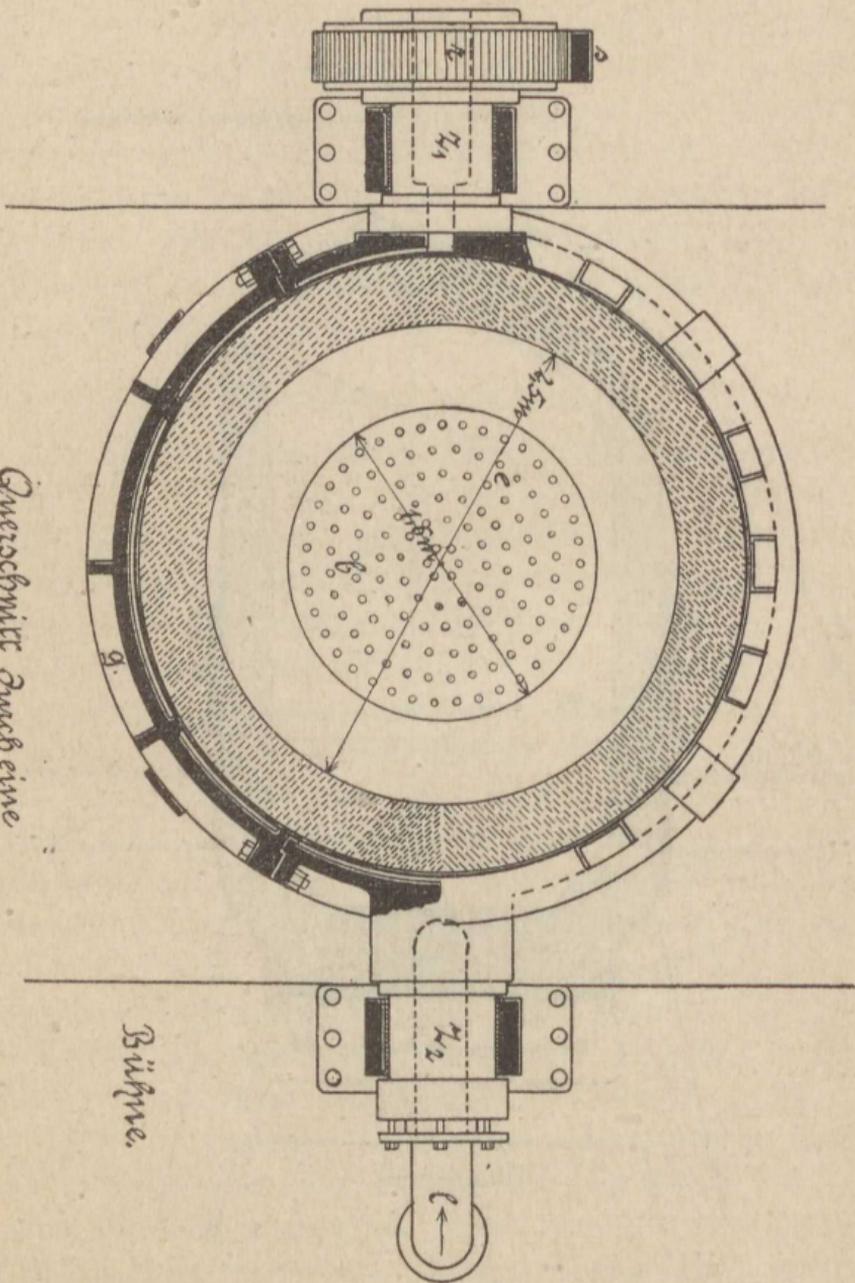


Fig. 11.



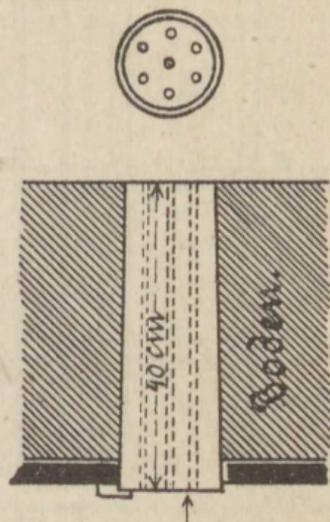
Stromabläue.

Querschnitt durch eine

Fig. 12.

Büchse.

als Durchziehboden angeordnet, der nach dem Abheben des Windkastendeckels herausgenommen werden kann. Der Windkasten selbst ist durch Bolzen am Mantel befestigt und trägt während des Betriebes den Boden mit der auf ihm ruhenden Roheisenmasse. Im Boden sind  $120 \div 150$  Windöffnungen von  $1,5 \div 2$  qcm Querschnitt auszusparen, die beim Nadelboden (Fig. 12) in Kreisen gleichmäßig verteilt und im Fernenboden zu Gruppen vereinigt sind, wie in Fig. 13 ersichtlich. Solche Gruppierung der Windkanäle ist zwar weniger günstig für die Verteilung des Windes, sie wird aber beim sauren Verfahren vielfach angewandt. Die einzelnen Düsen (Fig. 13) werden in den gußeisernen Rahmen eingeschraubt oder mittelst Riegeln festgehalten. Der Boden der Birne wird aus der Masse gestampft, welche für das betreffende Verfahren nötig ist. Er weist eine Stärke von  $5 \div 600$  mm auf und hält  $40 \div 50$  Chargen aus. Die Ausmauerung besteht aus zwei Steinlagen und bedarf erst nach  $500 \div 1000$  Chargen einer Erneuerung. Der Fassungsraum der Birnen ist wesentlich größer als für den Roheiseneinsatz erforderlich wäre, weil der Prozeß ein lebhaftes Kochen des Eisenbades verursacht. Man berechnet für eine Tonne Einsatz beim sauren Verfahren den notwendigen Raum zu  $1 \div 1,2$  cbm und beim basischen Prozeß zu  $1,2 \div 1,5$  cbm.



Windform (Düse)

↗ für die Birnen.

Fig. 13.



Die Einsatzmenge schwankt von 3 ÷ 20 Tonnen. Für die gezeichnete Thomasbirne ist ein Einsatz von 15 Tonnen angenommen, dieselbe hat einen inneren Durchmesser von 2,5 m, einen äußeren von 3,3 m und einen Düsenkreisdurchmesser von 1,7 m. Zu einem dauernden Betrieb sind mindestens 2 ÷ 3 Birnen wie Fig. 14 ( $B_1 B_2 B_3$ ) nötig, um beim Auswechseln der Böden und Anheizen der Birnen eine Betriebsunterbrechung zu vermeiden. Die Birnen sind in älteren Werken halbkreisförmig aufgestellt, jedoch ordnet man sie gegenwärtig in gerader Linie nebeneinander oder einander gegenüberstehend an. Auf der Bühne befinden sich 2 ÷ 3 Kupolöfen ( $C_1, C_2$ ) zum Umschmelzen von grauem Roh- und Spiegeleisen. Sehr oft wird das Spiegeleisen oder Eisenmangan, welche bei dem Prozeß Verwendung finden, vor ihrem Gebrauch in einem Wärmofen (W Fig. 14) erwärmt. Mit Hilfe von Pfannenwagen wird in vielen Werken das Roheisen flüssig vom Hochofenwerk oder aus dem Mischer nach dem Stahlwerk gefahren, wo ein Aufzug mit hydraulischer Hebevorrichtung die Pfannen auf die Bühne befördert oder eine Hochbahn zum Transport derselben eingerichtet ist. Die mit feuerfesten Steinen ausgemauerten Rinnen leiten das Roheisen aus den Pfannen in die wagrecht gelegten Birnen (Stellg. 2, Fig. 11). Das Drehen derselben, sowie das Anlassen und Abstellen des Windes geschieht von der Steuerbühne aus. Zur Herstellung der Proben ist auf der Bühne eine Schmiede mit einem kleinen Dampfhammer (h) gebaut. In nächster Nähe der Birnen ist die Gießhalle mit den Gießgruben ( $g_1 g_2 g_3$ ). Ein mit einer Pfanne ausgerüsteter Lokomotivkran (l) führt das Flußeisen nach den Gießgruben, in welchen die Co-

quillen zum Eingießen bereit stehen. Die hydraulisch bewegten Drehkrane ( $k_1$ ), mit einer Tragkraft von  $2500 \div 4000$  kg und einem Hub von  $2 \div 3$  m bringen die gefüllten Coquillen in die Gruben ( $v$ ) und drücken dann die Flußeisenblöcke aus den Coquillen heraus. Die Kranen ( $k_2$ ) heben diese Blöcke nun in die Ausgleichgruben ( $d$ ), worin sie längere Zeit bleiben. Durch den Kran ( $k_3$ ) werden die Blöcke auf den Rollgang gelegt, der sie nach dem Blockwalzwerk befördert.

Das Gebläsehaus ist mit liegenden oder stehenden zweicylindrischen Gebläsen ausgerüstet, die mit einem Kühlmantel versehen sind. Durch das Pressen auf  $1,5 \div 3$  Atm. erwärmt sich die Luft und muß daher zur Schonung der Dichtungen abgekühlt werden. Dieses veranlaßte auch die Konstruktion besonderer Liderungen und Dichtungen. In einer Minute liefern die Gebläse  $3 \div 400$  cbm Wind von oben erwähnter Spannung. Für 1 Tonne Roheiseneinsatz rechnet man einen Windverbrauch von ungefähr 300 cbm. Die Verwendung erhitzten Windes wurde schon öfters angeregt, „doch hat man trotz des berechneten Vorteils hiermit noch keinen Versuch gemacht.

In demselben Gebäude sind große Wasserdruckakkumulatoren aufgestellt, für einen Druck von  $25 \div 35$  Atm. eingerichtet und dienen für den Betrieb der hydraulischen Maschinen, welche hier in großer Anzahl vorhanden sind. Die Baukosten für eine Bessemer- oder Thomananlage werden etwa  $7 \div 800000$  Mk. betragen.

#### Gießvorrichtungen.

Die in Fig. 15 gezeichnete Gießpfanne besteht aus einem Blechmantel, welcher mit 1 oder 2 Lagen

(100 mm stark) feuerfesten Steinen ausgemauert ist und 100 Chargen aushält. Im Boden derselben ist eine Öffnung (e) angebracht, welche mit dem Stopfen (s) verschlossen werden kann.

Mit Hilfe des Hebels (a) wird die in  $f_1$  und  $f_2$  geführte Stange (t) und gleichzeitig der Stopfen (s) gehoben und gesenkt, so daß der ausfließende Strom beliebig zu regulieren ist und keine Schlacke in die Gußform gelangt. Vor ihrer Benutzung muß die Pfanne gut getrocknet werden, da durch Eingießen des Flußeisens in feuchte Pfannen Explosionen vorkommen. Die gebrauchte Pfanne

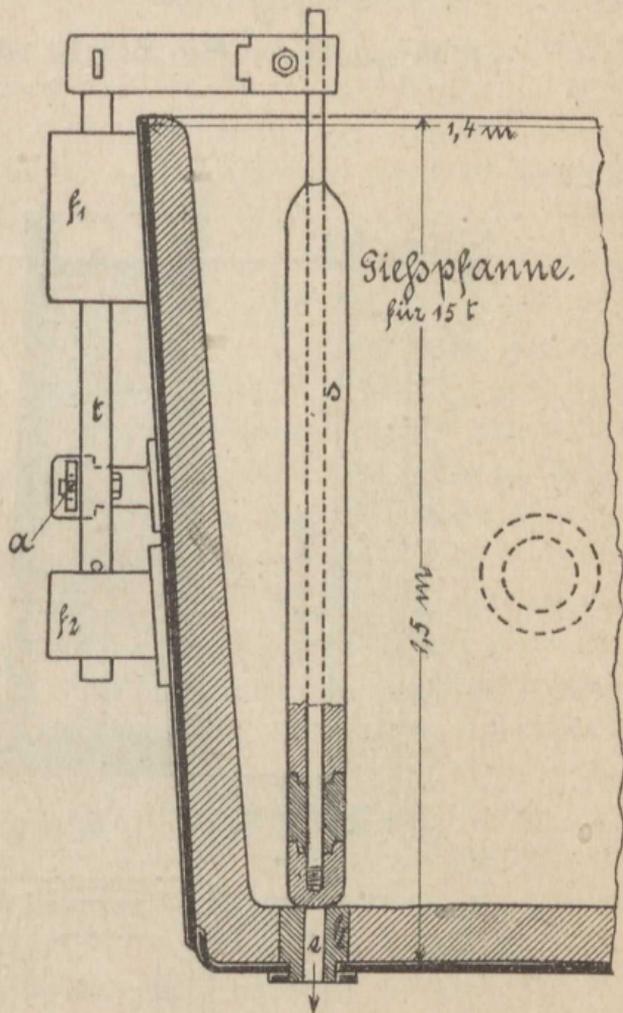


Fig. 15.

wird durch Kippen vollständig entleert, gereinigt und mit einem neuen Stopfen (s), sowie frischer Hülse (h) versehen.

Coquillen. In Fig. 16 ist der Durchschnitt einer

Gießgrube mit einer Coquille gezeichnet. Die Zusammensetzung des Coquilleneisens ist ungefähr:

*Gießgrube.*  
mit Coquillen für Blöcke von ca. 2000 kg.

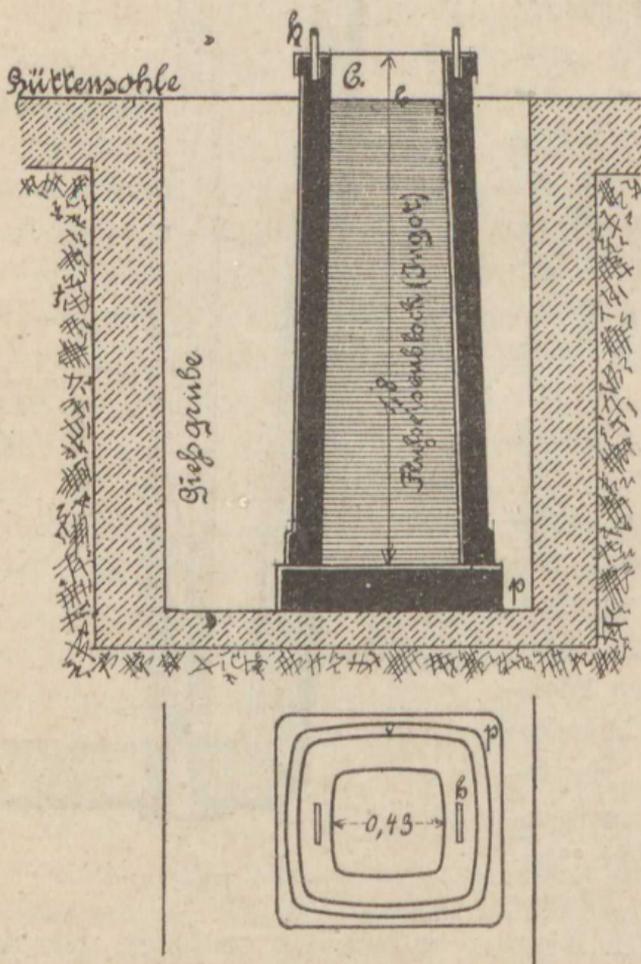


Fig. 16.

(3,5 ÷ 4,5) % Kohlenstoff, (0,6 ÷ 1,3) % Mangan, (1,2 ÷ 3,5) % Silicium und höchstens 0,12 % Phosphor, 0,07 % Schwefel, 0,1 % Kupfer.

Aus der Pfanne fällt das Flußeisen auf die Grundplatte (p) und steigt allmählich in der Coquille an. Damit aber die beiden hierdurch nicht zu sehr angegriffen werden, bestreicht man die Grundplatte sowohl wie die Wandungen der Coquillen mit Graphitwasser, welchem Ton beigemischt wurde. Ein dünner Teer- oder Kalküberzug trägt gleichfalls zur Schonung derselben bei. Ein Zusatz an Aluminium wird zu Beginn des Gießens in die betreffende Coquille gegeben. Die in den Coquillen eingegossenen Haken (h) werden zum Verschließen und zur Beförderung derselben gebraucht. Man bedeckt nämlich in manchen Werken den fertigen Block mit einer Blechscheibe (b), schüttet Sand darauf und verkeilt den Deckel, damit ein möglichst dichter Block erhalten werden soll. Diese Maßregel hat sich nicht besonders bewährt, zumal der Sand häufig am Block haften bleibt und beim Walzen Fehlstellen hervorruft. Daß die Blöcke die tunlichste Dichte bekommen, werden sie von unten gepreßt, wobei sie in die Coquillen förmlich hineingedrückt werden. Ein Zusammenpressen von oben hat nicht den gewünschten Erfolg gehabt.

Der steigende (kommunizierende) Guß gestattet das gleichzeitige Gießen mehrerer Blöcke und ermöglicht die Herstellung dichteren Materials. Die Einrichtung ist in Fig. 17 zu ersehen. Das Flußeisen wird in den mit feuerfestem Material ausgefütterten Trichter (t) eingegossen und gelangt in das Eingußrohr (e), das mit den hohlen Kanalsteinen (s) in Verbindung steht. Letztere sind im Gespann eingelegt und bedürfen der jedesmaligen Erneuerung. 8 ÷ 12 Coquillen (c) sind auf dem Gespann (g) aufgestellt. Von unten steigt das Flußeisen durch die Öffnungen (a)

der Kanalsteine langsam empor, es nimmt dadurch weniger Gase in sich auf und verhindert eine starke

## Coquillen-

### Anordnung für steigenden Stufs

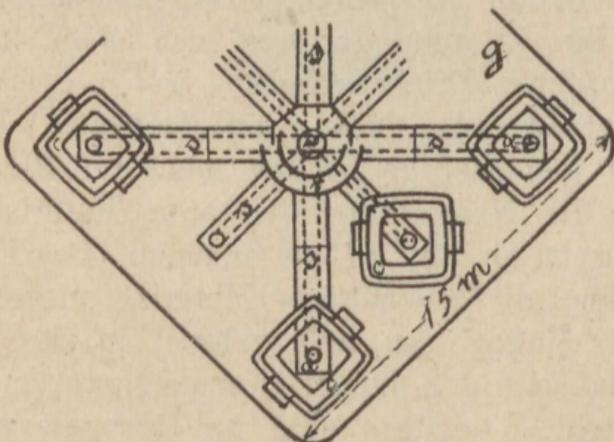
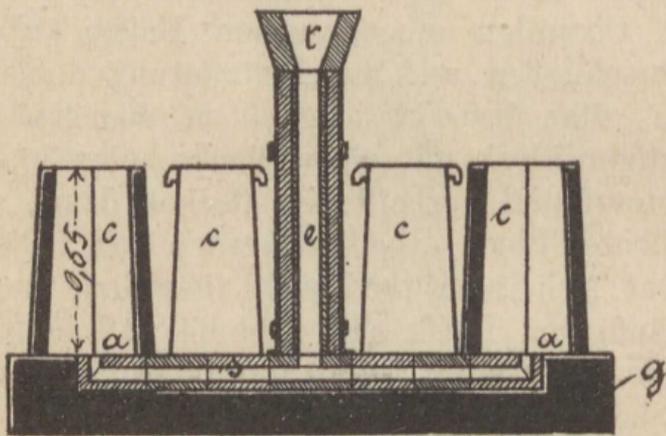


Fig. 17.

Oxydation. Die sorgfältig gegossenen, langsam abgekühlten Coquillen halten 1 ÷ 200 Güsse aus und

## Ausgleichgruben.

Stützensohle.

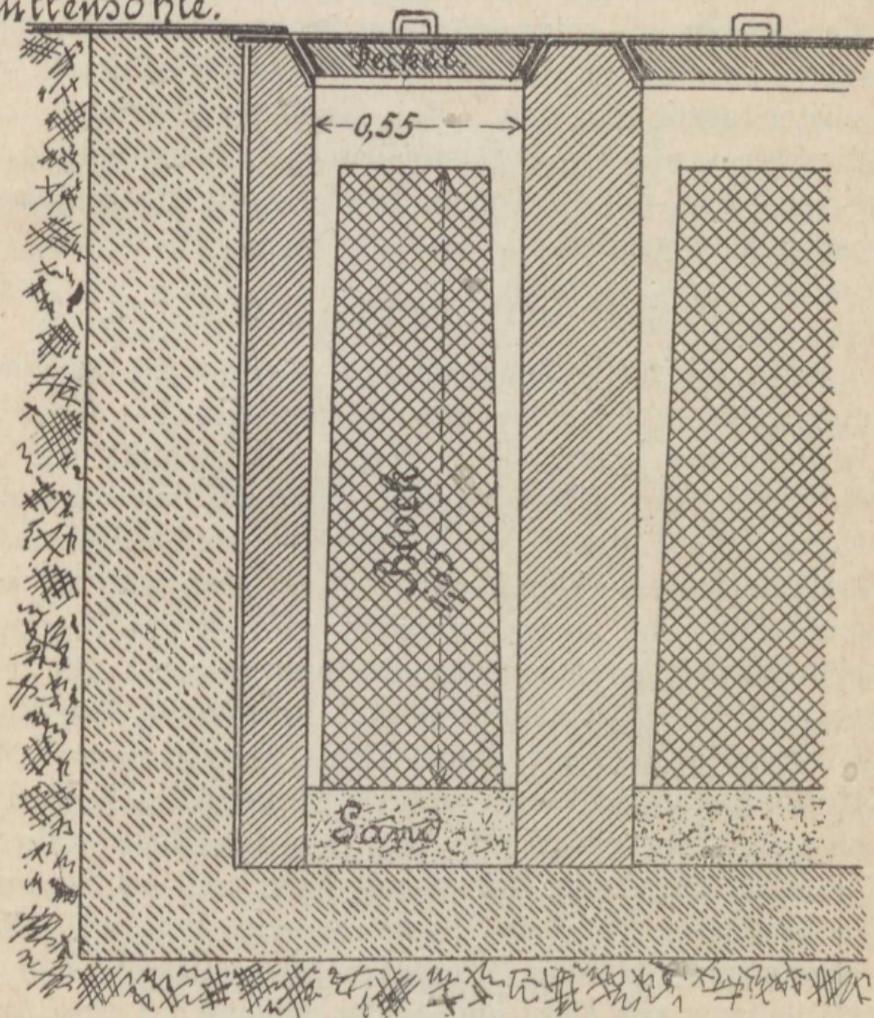


Fig. 18

müssen vor dem Gebrauch angewärmt werden, die Gebrauchten dagegen kühlt man durch Besprengen mit Wasser gleichmäßig ab.

Die Blöcke (Ingots) sind im Innern vielfach noch flüssig, weshalb sie etwa 30 ÷ 90 Minuten in Ausgleichgruben Fig. 18 (auch Wärme- und Durchweichungsgruben genannt) gestellt werden. Dort geben die Blöcke ihre Wärme durch Strahlung an die Wandungen ab und erstarren innen allmählich ohne außen zu erkalten, da die Wände einen Teil der Wärme wieder zurückstrahlen. Bei kleineren Betrieben sind Tieföfen mit einer Gasfeuerung in Verwendung, in denen etwa auf 1 Tonne Blöcke 200 kg Steinkohle verbraucht werden.

### Betrieb beim sauren Verfahren.

In die fertig ausgemauerte Birne wird der Boden eingesetzt, welcher aus gemahlenem mit (2 ÷ 6) % Ton vermengtem Quarz oder Ganister gestampft ist. An die Stelle der Düsen treten während des Stampfens Holzmodelle, die beim Nadelboden durch Holzadeln ersetzt werden. Den Boden läßt man langsam trocknen und glüht ihn darauf vorsichtig in einem Brennofen mit seitlich angebrachten Rostfeuerungen. Die Fuge zwischen der Ausmauerung der Birne und dem Boden wird sorgfältig mit feuerfestem Material abgedichtet. Hernach unterhält man zum Anwärmen des Konverters eine Zeitlang ein Holzfeuer, füllt denselben währenddem bis zu einem Drittel mit Koks und erhitzt innerhalb einiger Tage die Birne bis zur Rotglut. Durch Abwärtsdrehen der Mündung (a) vollzieht sich die Entleerung von Koks und Asche, welche auf die Hüttensohle fallen. Der Windkasten (w) wird verschlossen und die Birne ist für den Betrieb vorbereitet. Nun erfolgt in die wagrecht gelegte Birne (Stellg. 2, Fig. 11) der Roheiseneinsatz, der dem Mischer entnommen oder

direkt vom Hochofen kommt. Der Roheiseninhalt der Pfanne wird durch Kippen derselben in die fahrbare Rinne (r Fig. 14) gegossen und gelangt von hier in die Birne, wo das Roheisen ohne besondere Feuerung in schmiedbares Eisen umgewandelt werden soll. Als Roheisen wird Bessemerroheisen mit einem Gehalt von  $1 \div 2\%$  Silicium,  $0,5 \div 2\%$  Mangan,  $0,1\%$  Phosphor (max) und  $0,02\%$  Schwefel, sowie Hämatitroheisen mit sehr geringem Mangan Gehalt verwendet. Durch Verbrennung von Silicium, Mangan und Kohlenstoff entwickelt sich eine bedeutende Wärme, die das schmiedbare Eisen in flüssigem Zustande erhält. Um über die Körper, welche durch ihre Oxydation die Erhöhung der Badtemperatur hervorbringen, sich orientieren zu können, folgen hier einige Anhaltspunkte:

Die Badtemperatur wird bei der Verbrennung von

1 % Silicium zu Kieselsäure	um etwa	200° C.	erhöht
1 % Mangan „ Manganoxydul	„ „	50° „ „	
1 % Eisen „ Eisenoxydul	„ „	30° „ „	
1 % Kohlenstoff zu Kohlenoxyd	„ „	10° „ „	

Der Prozess des Windfrischens beginnt mit dem Anlassen des Windes und gleichzeitigem Hochstellen der gefüllten Birne (Stellg. 3 Fig. 11). Aus der Birnenmündung (a) entweicht eine rötlichgelbe durchsichtige Flamme, die im wesentlichen stickstoffhaltig ist. Silicium und Mangan verbrennen vorwiegend in dieser Schlackenbildungsperiode. Infolge der im Innern heftig umhergeworfenen Eisenmasse erzittert die Birne und ist ein gurgelndes Geräusch zu vernehmen, sowie einzelne Stöße, wobei kleine Eisenteile aus dem Konverter geschleudert werden. Die Veränderung der Flamme ist der einzige Anhaltspunkt, den Verlauf des Frischprozesses verfolgen zu können und muß der

Betriebsleiter je nach der Farbe der Flamme das Eingreifen in den Prozeß bestimmen. Beobachtet er mit einem Taschenspektroskop die im Anfang entstehende rötlichgelbe Flamme, so erscheint darin nur ein leichtes Spektrum. Während dieser Zeit bildet sich Kieselsäure, Mangan- und etwas Eisenoxydul, welche sich dann wieder zu einer sauren Schlacke verbinden. Allmählich aber verändert sich die Flamme, die innerhalb 10 Minuten eine bläulichweiße Färbung annimmt und im Spektrum eine scharfgelbe Linie (Natriuml Linie) erzeugt, zu der bei fortschreitendem Prozeß noch dunkle Striche im roten Felde des Spektrums und rechts grüne Linie hinzutreten. Die letzteren sind wohl auf Mangandämpfe zurückzuführen und stehen in engem Zusammenhang mit dem Kohlenstoffgehalt. Das sich jetzt entwickelnde Kohlenoxyd (CO) ruft ein starkes Getöse, sowie eine weißer werdende Flamme hervor. Ein brauner, aus Manganoxyden bestehender Rauch, umhüllt bei abnehmendem Kohlenstoff die lange weiße Flamme, welche von nun ab kürzer und durchsichtiger wird. Im Spektrum äußert sich die Kohlenstoffverringeringung durch Verschwinden der Linien, das in umgekehrter Folge eintritt als bei ihrem Erscheinen. Der Hüttenmann vermag durch längere Beobachtung der Flamme mit dem Spektroskop je nach dem Verschwinden bestimmter Linien den Grad der Entkohlung anzugeben. Nach 15 ÷ 20 Minuten ist das Roheisen in Flußeisen umgewandelt worden und der Prozeß durch Wagrechtlegen der Birne (Stellg. 2 Fig. 11) und Abstellen des Windes beendet.

Um das Flußeisen auf seine Eigenschaften zu führen, taucht man eine Eisenstange in das Bad, an welcher etwas Schlacke mit eingeschlossenen Eisen-

kügelchen haften bleibt. Die rasch im Wasser abgekühlte Schlacke wird von der Stange geschlagen auf ihre schwarze Farbe (durch Eisenoxydulgehalt) und blasige Struktur geprüft. Diese beiden sind sichere Anhaltspunkte für den Grad der Entkohlung. Einzelne in der Schlacke enthaltene Eisenkügelchen schlägt man zur Prüfung auf einem Ambos in die Breite und beobachtet ihr Verhalten beim Schmieden. Das weiche schmiedbare Eisen weist keine Kantenrisse auf, während bei höherem Kohlenstoffgehalt desselben (0,4 % und darüber) die Proben schon reißen oder in Stücke zerspringen.

Bei der Entkohlung des Roheisens ist die Bildung von Eisenoxydul nicht zu vermeiden, doch steigt der Gehalt desselben nur wenig über 1 %. Die Rotbrüchigkeit des Flußeisens rührt vielfach von zu hohem Eisenoxydulgehalt her und ist dann eine Reduktion geboten. Hier leisten die Eisenlegierungen, wie Spiegeleisen, Eisenmangan gute Dienste und sind daher unentbehrlich für die Desoxydation des Bades geworden. Beim Zusetzen der Legierungen (flüssig oder rotglühend) in die Birne tritt eine heftige Wallung (von entstandenem Kohlenoxyd hervorgerufen) ein. Die gleichmäßige Mischung erreicht man durch Hochstellen der Birne und kurzes Blasen (1 ÷ 5 Sekunden). Das Mangan in den Legierungen reduziert Eisenoxydul und geht als Manganoxydul in die Schlacke. Zur vollständigen Reduktion des Oxyduls ist ein Überschuß an Mangan erforderlich, welcher vom Flußeisen aufgenommen wird und seine Schweißbarkeit beeinflusst.

Der richtige Moment zur Betriebsunterbrechung und somit auch zur gewünschten Entkohlung wird sehr oft versäumt und erhält man dadurch ein zu

kohlenstoffarmes Eisen. Durch einen Zusatz von Spiegel-eisen oder Eisenmangan wird nicht nur das schädliche Eisenoxydul reduziert, sondern auch der Kohlenstoffgehalt auf den nötigen Grad erhöht. Solches Verfahren wird Rückkohlung genannt.

Durch die Wahl der Legierung ist man imstande, dem Flußeisen jeden Grad von Kohlenstoff bis zu 0,4 % zuzuführen, ohne dessen Mangangehalt wesentlich zu erhöhen. Bei Erzeugung von kohlenstoffarmen Eisen greift man zu Eisenmangan ( $60 \div 80$  % Mn), von welchem ( $0,5 \div 1,5$ ) % in angewärmten Zustand durch die Mündung (a) dem Bade beigefügt wird. Kohlenstoffreiches Flußeisen dagegen wird durch einen Spiegel-eisenzusatz von  $2 \div 10$  % dargestellt, das man mit dem Flußeisen zugleich in die Pfanne gießt. Eine bedeutende Kohlenstoffanreicherung des Flußeisens erreicht man durch Auflösen von Holzkohle oder Koks (Darbys Kohlungsverfahren) in demselben, doch ist die reine Holzkohle dem schwefelhaltigen Koks entschieden vorzuziehen. Beide werden in die Gießpfanne gegeben, wo sie das flüssige Schmiedeeisen gierig auflöst. Eine Zugabe von den erwähnten Manganlegierungen wird dabei nicht umgangen, weil das Eisenoxydul nur durch diese reduziert werden kann. Zur Erzielung dichten Gusses wird vielfach etwas Siliciumeisen oder Siliciumcarbid zugesetzt, doch ist dabei größte Vorsicht nötig, um die Schmied- und Schweißbarkeit des Endproduktes durch einen zu hohen Siliciumgehalt (siehe Analysen S. 13) nicht zu beeinträchtigen. Bei Formgußdarstellung, wie ihn die Kleinbessemereien erzeugen, kommt dies weniger in Betracht. Eine Zugabe von Aluminium oder Ferroaluminium vermindert gleichfalls die Gasentwicklung und trägt zur Her-

stellung dichten Materiales wesentlich bei. Der Aluminiumzusatz ist bei Schmiedeblocken höchstens 0,05 %, bei Formgußstücken etwa 0,1 % und wird erst beim Gießen in die Coquillen geworfen.

Innerhalb 20 ÷ 30 Minuten wurde nun diese Charge vollendet und ist die Birne sofort wieder zu neuem Einsatz bereit. Der Abbrand beträgt ungefähr 8 ÷ 12 %. Die Analyse saurer Schlacke ergibt:

(1 ÷ 3) % Kalkerde, Magnesia, (2 ÷ 4) % Tonerde, (10 ÷ 35) % Eisenoxydul, (10 ÷ 40) % Manganoxydul, (50 ÷ 60) % Kieselsäure

150 Arbeiter erzeugen in 24 Stunden mit 3 Bessemerbirnen (zu je 15 Tonnen Inhalt) etwa 600 Tonnen Flußeisen. Die Selbstkosten für die Tonne bei dem Bessemerverfahren belaufen sich auf 75 ÷ 85 Mk.

### Betrieb beim basischen Verfahren:

Das Thomasverfahren ermöglicht die Entphosphorung des Roheisens und diese Erfindung setzte erst die deutsche Eisenindustrie in stand, eine ausgedehnte Anwendung von Windfrischen zu machen.

Die Herstellung des basischen Futters geschieht aus gebranntem Dolomit und Teer. Der Dolomit besteht aus:

30 % Kalkerde, (15 ÷ 20) % Magnesia, (2 ÷ 3) % Tonerde, (1 ÷ 2) % Kieselsäure, (40 ÷ 45) % Kohlensäure, 0,5 % Eisenoxydul und 2 % Wasser.

Er wird in ähnlichen Öfen wie Kupolöfen mit Koks bis zum Sintern gebrannt (totgebrannt), zur Verhütung der Wasseraufnahme sofort staubfein gemahlen und mit wasserfreiem gekochten Teer (5 ÷ 7) % in Kollergängen innig vermengt. Alsdann wird diese Mischung zu Ziegeln bei 3 ÷ 400 Atm. gepreßt, die

in Muffeln geglüht, feste Steine bilden. Durch dieses Glühen verflüchtigt sich ein Teil des Teers und bleibt nur ein koksartiger Rückstand, der als Bindemittel dient. Der basische Boden wird in einer Eisenform mit erwärmten Stampfern von Hand oder mit Versens Stampfmaschine hergestellt. Nach  $30 \div 50$  Chargen bedarf er der Erneuerung, da namentlich die Windkanäle stark notgelitten haben. In neuerer Zeit verwendet man daher Magnesitdüsen von gleicher Form, wie sie beim sauren Betrieb im Gebrauch sind. Dieselben halten  $70 \div 80$  Chargen aus und werden aus Magnesit hergestellt. Der Magnesit ist folgendermaßen zusammengesetzt:

40 % Magnesia, 2 % Kalkerde, 1 % Kieselsäure, 0,5 % Tonerde,  $(1 \div 4)$  % Eisenoxydul, 50 % Kohlensäure.

Er wird zum Vertreiben der Kohlensäure gleichfalls totgebrannt und in feingemahlenem Zustand mit Teer oder anderen Bindemitteln gemengt, hierauf gepreßt und geglüht. Die erhaltenen Düsen haben eine hellgelbe bis rotbraune Farbe.

Zu dem Thomasverfahren eignet sich ein Roh-eisen mit:

$(0,3 \div 0,5)$  % Silicium, 2 % Mangan und  $(1,8 \div 2,5)$  % Phosphor am vorteilhaftesten. Bei dem Bessemerprozeß brachte das Silicium die wesentliche Temperatursteigerung hervor und hier ist es der Phosphor, welcher den Brennstoff ersetzt. 1 kg Phosphor entwickelt bei seiner Verbrennung zu Phosphorsäureanhydrid 5900 Wärme-einheiten und erhöht bei 1 % die Badtemperatur um ungefähr  $130^{\circ}$  C. Die Herstellung des siliciumreichen Bessemerroheisens ist in Deutschland kostspieliger als diejenige von weißem phosphorreichen Thomaseisen, weil zu jenem nur phosphorarme Erze verwendet werden

können. Eine besondere Schwierigkeit für die Erzeugung des Thomaseisens liegt nun aber heute darin, daß manche Hütten auf den Bezug phosphorreicher Erze und Hüttenprodukte angewiesen sind. Die eigenen Erze besitzen einen zu geringen Phosphorgehalt, um Thomaseisen und einen zu hohen, um Bessemerroheisen daraus erzeugen zu können, weshalb sie mit fremden Erzen gattieren müssen. Der Konverter wird hier mit gebranntem Kalk ( $10 \div 15\%$  des Einsatzes) von der über ihm befindlichen Bühne durch einen Trichter (Lutte) beschickt (Stellg. 1 Fig. 11). Hierauf wird das Roheisen in die Birne (Stellg. 2) eingegossen, der Wind angelassen und durch Senken der hydraulisch bewegten Zahnstange die Birne hoch (Stellg. 3) gestellt. Eine anfänglich kurze, rotgelbe Flamme tritt aus der Mündung des Konverters aus. Silicium und Mangan oxydieren sich und bilden mit dem Kalk eine basische Schlacke. Das Mangan erhöht die Badtemperatur und erzeugt oft heißen Gang der Charge, welcher aber viel weniger schädlich als ein kalter wirkt; letzterem kann durch Zusatz von Siliciumeisen entgegengearbeitet werden. Bei heißem Gange lassen sich die Abfallstücke aus dem Walzwerk verarbeiten und wird daher in manchen Werken während des Prozesses bis zu  $10\%$  Schrott beigegeben. Im Verlauf der Verbrennung zeigt sich wieder die charakteristische bläulichweiße Flamme und innerhalb  $10 \div 15$  Minuten ist das Metallbad nahezu entkohlt. Nach der Entkohlung des Einsatzes verbrennt der Phosphor in der sogenannten Nachblasezeit ( $2 \div 3$ ) Minuten zu Phosphorsäure und bildet in der basischen Schlacke (Thomasschlacke) phosphorsaures Calcium (Tetracalciumphosphat)  $\text{Ca}_4\text{P}_2\text{O}_9 = 4\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$  oder phosphorkieselsauren Kalk

( $3 \text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 + 2 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ). Bei beiden Verbindungen ist die Phosphorsäure zum größten Teil in citratlöslicher Form vorhanden. Die Temperatursteigerung tritt hier also durch die Verbrennung des Phosphors erst am Schluß des Prozesses ein, während bei Bessemerverfahren schon zu Anfang durch die Oxydation des Siliciums das Metallbad hoch erhitzt wurde. Mittelst der Uhr oder eines Hubzählers an der Gebläsemaschine wird die für die Verbrennung des Phosphors einzublasende Windmenge reguliert. Die Eigenschaften des erzeugten Flußeisens sind durch Schöpfproben festzustellen, die aus der wagrecht liegenden Birne nach Abstellen des Windes entnommen werden. Diese Proben schmiedet man sofort unter einem Dampfhammer aus und bricht das im Wasser erkaltete Stück ab. Im allgemeinen ist auf der Bruchfläche nur ein feines Korn zu beobachten, bei weichen Sorten zeigt sie an den Rändern etwas Sehnenbildung. Phosphorhaltiges Eisen dagegen hat ein länglich, blauweißes Korn, aus dessen Größe auf den Phosphorgehalt geschlossen wird.

Nach Beendigung des Prozesses gießt man durch Abwärtsdrehen der Birne die Schlacke in den Wagen, wobei man darauf achtet, daß kein Flußeisen damit abgeht. Sobald die von Zeit zu Zeit eingeführte Stange lebhaft blauweiße Funken sprüht, wird Flußeisen mit den Schlacken abgeführt und daher die Birne etwas höher gehoben. Erst nachdem die Schlacke zum größten Teil entfernt, kann an eine Desoxydation und Rückkohlung gedacht werden, da bei Anwesenheit derselben die Phosphorsäure in der Schlacke durch die Legierungen (Spiegeleisen, Eisenmangan) zum Teil reduziert und wieder in das Eisen übergeführt würde. Der Zusatz an Eisenmangan und Spiegeleisen richtet

sich nach dem Kohlenstoff- und Mangangehalt des Endproduktes. Die Rückkohlung mit Holzkohle oder Koks ist für die Darstellung von Stahl im Gebrauch und geschieht in der Pfanne. Der durchschnittliche Kohlenstoffgehalt von Thomasflußeisen ist  $0,1 \div 0,4\%$ . Der Abbrand beim Thomasverfahren wird bis zum Ausbringen an Gußblöcken zu  $12 \div 15\%$  gerechnet.

Außer dem Flußeisen wird noch die wertvolle Thomasschlacke gewonnen, welche wesentlich zur Verbilligung des Prozesses beiträgt. Die Selbstkosten für die Tonne Thomasflußeisen stellen sich trotz des erhöhten Aufwands für Herstellung der basischen Ausmauerung auf  $70 \div 80$  Mk. Bei Darstellung einer Tonne erhält man ungefähr 300 kg Thomasschlacke, welche folgende Zusammensetzung hat:

$(45 \div 50)\%$	$(1 \div 2)\%$	$5 \div 10)\%$
Kalkerde,	Tonerde,	Manganoxydul
$1 \div 4)\%$	$(10 \div 16)\%$	$(6 \div 10)\%$
Magnesia	Eisenoxydul	Kieselsäure
$(14 \div 19)\%$ Phosphorsäure ( $P_2O_5$ ).		

Die Thomasschlacke wird in Kugelmühlen staubfein gemahlen und im Handel unter dem Namen Thomasmehl als Düngemittel verkauft, das man besonders zum Düngen auf Vorrat von Wiesen, Bäumen, Weinbergen etc. in Anwendung bringt. Der Preis hierfür richtet sich nach dem Gehalt an citratlöslicher Phosphorsäure, welcher allein im Boden zur Wirkung gelangt und mindestens  $14\%$  beträgt. Um den Phosphorgehalt in der Schlacke möglichst anzureichern, wird in manchen Werken vor der Entphosphorung des Bades die Schlacke abgossen und ein neuer Kalkzuschlag gegeben, so daß die Phosphorsäure nur in wenig Schlacke enthalten ist (Scheiblersche Methode).

Durch Zusatz von Sand ( $\text{SiO}_2$ ) in den Schlackenwagen erhöht man die Löslichkeit der Phosphorsäure in organischen Säuren. Die Tagesproduktion einer Thomasanlage mit 3 Birnen ist etwa 600 Tonnen Flußeisen und wird von 180 Arbeitern geleistet.

### Siemens-Martinverfahren (Flammofenverfahren).

Die Gebrüder Martin machten im Jahre 1865 Versuche, in einem Flammofen durch Zusammenschmelzen von Roh- und Alteisen Flußeisen zu erzeugen und benützten dazu die von W. Siemens erfundene Gasfeuerung, weshalb das Verfahren die Namen der beiden Erfinder trägt.

Nachstehend ist vor allem die Siemensfeuerung erklärt.

Der Brennstoff wird in einem besonderen Apparate (Generator), dessen Konstruktion Fig. 19 erkennen läßt, unter teilweiser Verbrennung vergast. Der Schacht des Generators ist aus feuerfesten Steinen gebaut und von einem Eisenmantel umgeben. Der Querschnitt beträgt durchschnittlich  $3 \div 4$  qm. Über der Generatorsohle (1 m) ist ein Planrost angebracht, unter welchem Wind ( $100 \div 150$  mm Wassersäule) oder durch ein Körtingsches Dampfgebläse Luft eingeleitet wird. Häufig besteht der Rost auch aus einem feuerfesten Gewölbe, unter dem der Wind aus vielen Röhren in den Generator eintritt. Zur Entfernung der Schlacke sind Türen unterhalb des Rostes bzw. über dem Gewölbe angebracht. In letzter Zeit werden jedoch Generatoren mit Wasserverschluß eingerichtet, dieselben sind jederzeit von unten zugänglich und eine lange Betriebsunterbrechung bei der Schlackenreinigung nicht er-

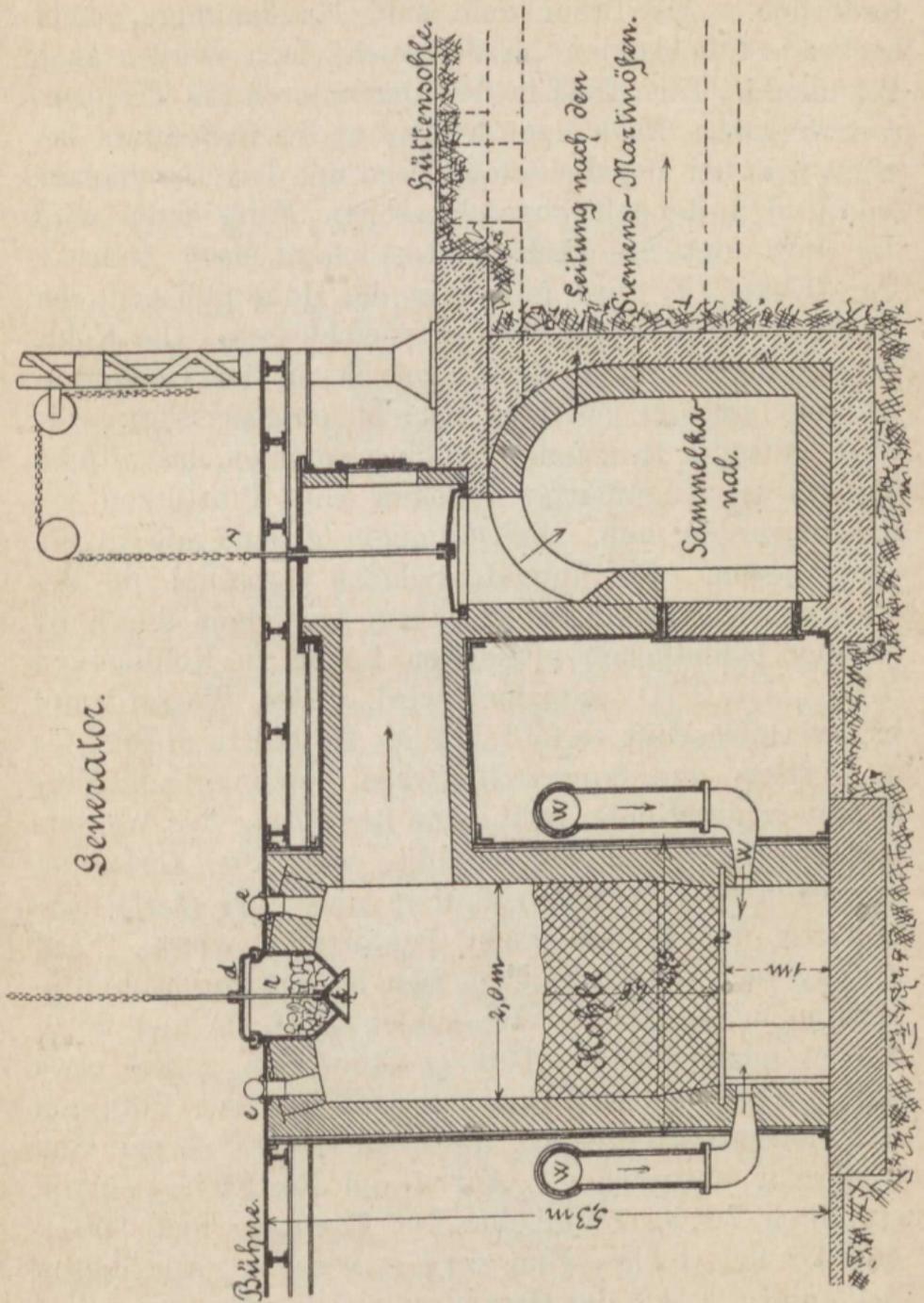


Fig. 19.

forderlich. Als Brennstoffe sind langflammige, nicht backende Stückkohlen im Gebrauch, doch werden auch Braunkohle, Torf, Holz in den Generatoren mit Treppenrost vergast. Nach dem Anheizen des Generators beginnt man bei abgedichteten Türen mit dem Beschicken. Durch den doppelt abgeschlossenen Fülltrichter wird der Rost mit Stückkohlen  $1 \div 1,5$  m hoch bedeckt. Der Deckel (d) wird hierzu in die Höhe gehoben, der Raum (r) gefüllt und wieder verschlossen. Die Kohle gelangt durch Senken des Kegels (k) in den Generator, wie sie auf der obersten Schicht entgast wird. Sie backt mitunter zu einem Gewölbe zusammen, das mittelst der bei (e) eingeführten Stangen zum Einstürzen gebracht werden muß. Die Öffnungen (e) sind mit Kugeln verschlossen. Die unterste Schicht verbrennt im Betrieb zu Kohlensäure, welche beim Aufsteigen durch die darüber befindlichen glühenden Lagen zu Kohlenoxyd  $\text{CO}_2 + \text{C} = 2 \text{CO}$  reduziert wird. Der Wasserdampf in der Gebläseluft zerfällt bei der Glühhitze ( $1200^\circ \text{C}$ ) in Wasser- und Sauerstoff, wobei letzterer zur Verbrennung der Kohle dient. Die Benützung des Wasserdampfes ist jedoch beschränkt, weil die Zerlegung desselben viel Wärme erfordert und eine starke Abkühlung der Kohlenschicht hervorrufen würde. Auf 100 kg zu erzeugendes Flußeisen ist ein Durchschnittsverbrauch von 40 kg Steinkohlen (75 % C und 25 % Asche) anzunehmen. 100 kg Steinkohle geben etwa  $320 \div 370$  cbm Generatorgas (auf  $0^\circ$  und 760 mm Barometerstand bezogen), die mit  $3 \div 100^\circ \text{C}$ . aus dem Generator entweichen. Auf 1 qm Rostfläche können stündlich 70 kg Steinkohle bei Essenzug und  $100 \div 150$  kg bei Gebläsewind vergast werden. Aus diesen Zahlen ergibt sich der Gesamtquerschnitt des Generators

für einen Siemens-Martinofen, doch wird er meist auf mehrere Generatoren verteilt, die zu einer Batterie vereinigt eine bessere Vermischung des Gases und leichtere Bedienung gestatten. Das Generatorgas besteht aus:

(24 ÷ 30) % Kohlenoxyd, (1 ÷ 5) % Methan ( $\text{CH}_4$ ), (4 ÷ 8) % Kohlensäure und (50 ÷ 60) % Stickstoff.

1 cbm davon entwickelt beim Verbrennen 1000 ÷ 1400 Wärmeeinheiten. Die Gase ziehen bei geöffnetem Ventil (v) in den Sammelkanal ab, wo sie den mitgeführten Staub, Ruß und Teer zum größten Teil ablagern. Durch die Hauptgasleitung kommen sie nach der Umsteuerung ( $v_1$ ) und werden in den Wärmespeicher ( $g_1$ ) bzw. ( $g_2$ ) vorgewärmt. Die Gasleitung ist mit Explosionsklappen ausgerüstet, um bei eventuellen Explosionen eine Zertrümmerung des Apparates und der Leitung zu verhüten. Hat sich nun allmählich während des Betriebes ungefähr alle 24 Stunden eine zu hohe Schlackenschicht über dem Roste gebildet, so wird der Generator abgestellt, die unten angebrachten Türen geöffnet und die Schlacke daraus entfernt. Nach der Reinigung wärmt man ihn aufs neue an und beginnt bei abgedichteten Türen wieder mit dem Beschicken. Bei einer täglichen Erzeugung von 100 Tonnen Flußeisen im Martinofen sind ungefähr 40 Tonnen Kohlen zu vergasen, welche vielfach mit Hilfe besonderer Transportvorrichtungen auf die Generatorbühne geschafft werden.

Die Naphthafeuerung wird ebenfalls zum Betrieb der Martinöfen mit Erfolg angewandt, wobei man durch Körtingsche Zerstäuber das Naphtha in den Herdraum leitet und dort mit erwärmter Luft verbrennt.

Der Bau der Martinöfen.

Diese werden in feststehende und bewegliche unterschieden, allein in Deutschland ist hauptsächlich

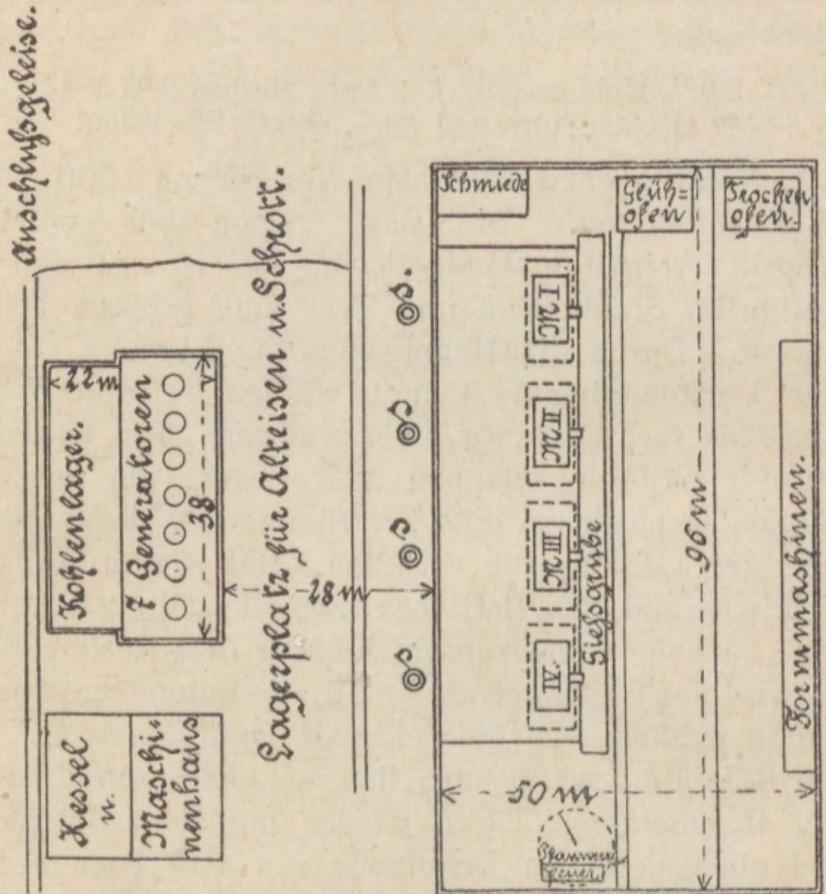


Fig. 20.

Sageplan eines Martinwerks mit einer Block- u. Stahlformgießerei.

nur das erstere System ausgeführt. Der Fassungsraum beträgt 12 ÷ 50 Tonnen, doch genügt der mittlere Inhalt von 20 Tonnen den meisten Ansprüchen.

Die Konstruktion eines 15 Tonnen-Ofens ist in Tafel III—V und Fig. 20 dargestellt. Die eisernen Herdplatten ruhen auf I Trägern, welche ihrerseits auf den Seitenwänden aufgelegt sind. Die Herdsohle ist von unten zur Abkühlung der Luft zugänglich. Die Wasserkühlung wäre zwar intensiver, wird aber wegen der häufigen Betriebsstörungen nicht angewandt.

Bei saurem Verfahren wird auf den Herdplatten eine Lage von Dinasziegeln hochkantig aufgestellt. Darauf mehrere Schichten feinkörnigen Quarzes (mit  $(2 \div 4)\%$  Ton vermischt) gestampft, langsam getrocknet und dann bis zum Sintern erhitzt, bis der Boden eine Stärke von  $0,3 \div 0,5$  m erreicht hat. Diese Herstellung erfordert viel Erfahrung, denn von der Sorgfalt ihrer Ausführung hängt die Zahl der Chargen ab, die er aushält ( $500 \div 1000$  Chargen).

Zu Herdböden des basischen Martinprozesses wird das Futter benützt, welches uns aus dem Thomasverfahren bereits bekannt ist. Die unterste Lage (m) des Bodens, sowie die Stellen, an welchen sich saure und basische Steine berühren, werden mit Magnesitziegeln bedeckt, um hier die Bildung einer leicht schmelzbaren Schlacke zu verhindern. Diese Steinlage bestreicht man mehrmals mit dick eingekochtem Teer und stampft mehrere Schichten einer Mischung gemahlener Dolomits und flüssigen Teers darauf, bis die Stärke des Bodens immerhin  $0,4$  m erreicht hat und die Herdtiefe  $0,4 \div 0,6$  m beträgt. Als Ersatz für Magnesitziegel ( $[80 \div 94]\%$  Magnesia,  $2\%$  Kalk,  $[2 \div 6]\%$  Eisenoxyd,  $4\%$  Kieselsäure) dienen öfters auch Stücke aus Chromeisenerz ( $[10 \div 40]\%$  Chromoxyd  $[\text{CrO}_3]$ ;  $[10 \div 20]\%$  Magnesia,  $[5 \div 30]\%$  Tonerde,  $[20 \div 40]\%$  Eisenoxyd). Den Herd (h) überwölbt in

der Höhe von  $(1,5 \div 1,8)$  m eine  $225 \div 250$  mm starke Decke, die aber nicht eingezogen wie früher, sondern hochgewölbt der Flamme eine freie Entfaltung gestattet. Die Herdoberfläche bestimmt man nach dem Tonneneinsatz, indem für eine Tonne  $0,8 \div 1,2$  qm angenommen wird und diese Zahl richtet sich dann wieder nach dem prozentualen Roheiseneinsatz. Je bedeutender die Roheisenmenge, um so größer muß die Oberfläche des Herdes sein und um so mehr wird die Herdausmauerung angegriffen. Ein Herd soll bei sorgfältigem Betrieb erst nach  $800 \div 1000$  Chargen der Erneuerung be-

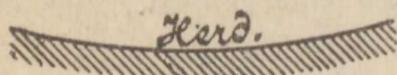


Fig. 21.

dürfen. Um das Gas innerhalb des Herdraumes zur Verbrennung zu bringen, wählt man das Verhältnis zwischen Herdlänge und Breite zu  $1,8$ , doch soll letztere  $3,5$  m nicht über-

steigen. Zu beiden Seiten des Herdes sind die Gas- und Luftkanäle angeordnet und zwar meistens oben ein langer Luftkanal ( $p_1$ ) bzw. ( $p_2$ ) und darunter zwei Gasöffnungen ( $O_1, O_2$ ), die eine starke Neigung nach dem Herde haben und aus feuerfesten Steinen bestehen. Für eine Tonne Einsatz rechnet man einen Gesamtquerschnitt aller Kanäle auf einer Seite des Ofens von  $4 \div 500$  qcm. Bei natürlichem Essenzug sind die Querschnitte der Luftkanäle denjenigen für Gas gleich. Wird das Gas aber mit Gebläse erzeugt und die zum Verbrennen nötige Luft nur eingesaugt, so sind die Luftkanäle reichlicher zu dimensionieren, als jene (im Verhältnis  $5 \div 4$ ). Den Einsatztüren ( $t$ ) gegenüber befindet sich das Abstichloch ( $a$ ). In Fig. 22 sind zu beiden Seiten des Herdes je zwei Wärmespeicher, von

denen je einer für Gas und Luft bestimmt ist. Die Regeneratoren für Luft werden größer dimensioniert als die für Gas. Diese sind gitterartig mit Dinassteinen ausgesetzt, die meistens in Zwischenräumen von 65 mm der Eintrittsöffnung zu aber näher (55 ÷ 60 mm) zusammengelegt sind. 1 cbm Luft oder Gas, das in einer Sekunde verbraucht wird, erfordert für eine Temperatursteigerung im Wärmespeicher von 100° C. ein Regeneratorenvolumen von 6 ÷ 6,5 cbm und ein Gitterwerksgewicht von 2800 ÷ 3000 kg. Die Wärmespeicher für Gas ( $G_1, G_2$ ) und diejenigen für Luft ( $l_1, l_2$ ) stehen mit den Umsteuerungen ( $v_1$  bzw.  $v_2$ ) in Verbindung. In den Zeichnungen ist eine Glockenumsteuerung eingetragen, welche in vielen Werken eingeführt wurde und aus einem in zwei Hälften geteilten Blechcylinder ( $v_1$  und  $v_2$ ) besteht. Jeder ist mit einer Wasserdichtung versehen. Folgende Kanäle stehen mit dem Herd (h) und der Esse durch die Umsteuerung ( $v_1$ ) in I. Stellung  $g v_1 g_1 o_1 h o_2 g_2 v_1 e$ ; in II. Stellung  $g v_1 g_2 o_2 h o_1 g_1 v_1 e$ ; durch die Umsteuerung ( $v_2$ ) in I. Stellung  $l v_2 l_1 p_1 h p_2 l_2 v_2 e$ ; in II. Stellung  $l v_2 l_2 p_2 h p_1 l_1 v_2 e$  in Verbindung. Außer der erwähnten Glockenumsteuerung haben sich auch die von Forter, Wailes konstruierten gut bewährt, während die Klappenumsteuerung immer mehr verschwindet. 100 kg Steinkohlen geben bei ihrer Verbrennung mit einem Luftüberschuß von 10% (6 ÷ 800) cbm Verbrennungsprodukte. Der Essenkanal (e) leitet sie nach dem Schornstein, mit welchem jeder Martinofen ausgerüstet ist und der eine Höhe von 30 ÷ 40 m hat. Der Bau eines Martinofens von 15 Tonnen Inhalt kostet ungefähr 30000 Mk., so daß sich die Baukosten des Martinwerks (Fig. 20) auf 3 ÷ 400000 Mk. belaufen.

Betrieb: Das im angeheizten Generator entwickelte Gas läßt man eine Zeit lang in die Atmosphäre entweichen, öffnet hierauf das Gasventil (v), wodurch das Gas in den Sammelkanal und nach der Umsteuerung ( $v_1$ ) gelangt. Von dort soll es, wie Tafel V zeigt, nach dem Wärmespeicher ( $g_1$ ) treten und mit der noch kalten Luft aus  $l_1$  im Herdraum verbrennen und diesen anwärmen. Die Verbrennungsprodukte kehren durch die Wärmespeicher ( $g_2$ ) und ( $l_2$ ) nach den Umsteuerungen ( $v_1$  und  $v_2$ ) und werden von hier aus in den Essenkanal (e) geführt. Bei Beginn des Betriebs wird jede halbe Stunde umgestellt, damit vermittelst der erhitzten Wärmespeicher die Temperatur im Herdraum rasch gesteigert werden kann, später aber genügt ein Richtungswechsel innerhalb einer Stunde. Auf den Herd wird durch die Türen (t) der Einsatz an Roheisen, Alteisen (Schrott) und etwas Erz mit hohem Eisengehalt gegeben. Man benützt hierzu häufig die elektrisch betriebene Chargiermaschine, mit welcher die gefüllten Mulden (k) in den Herd gefahren und zugleich umgekippt werden. Mit dieser Einrichtung ist man imstande, selbst einen großen Ofen in 15 Minuten zu beschicken, was bei Bedienung von Hand immerhin  $\frac{3}{4}$  Stunde in Anspruch nimmt. Das Roheisen kann kalt oder flüssig in den Martinofen eingesetzt werden, doch darf bei mehreren Werken die Einsatzmenge 30 % nicht übersteigen. Manche Hütten sind darauf angewiesen, wegen Mangels an Alteisen nur Roheisen zu verarbeiten, was die Dauer der Charge bedeutend verlängert. Um die Entkohlung des Bades zu beschleunigen, gibt man hier einen größeren Zusatz hochprozentiger Erze bis zu 30 % (Roteisenerze, Magnet-eisensteine oder Hammerschlag, Walzensinter), als bei

Verarbeitung von Alteisen, obgleich solche die Schlackenmenge erhöhen. Der Gesamteinsatz an Roh- und Alteisen weist bei saurem Verfahren im Durchschnitt:

(1,2 ÷ 1,4) % Kohlenstoff, (0,5 ÷ 0,7) % Silicium, (0,9 ÷ 1,2) % Mangan, höchstens 0,1 % Phosphor und 0,1 % Schwefel auf.

Die mittlere Zusammensetzung eines für den basischen Prozeß bestimmten Einsatzes ist dagegen:

(1 ÷ 1,5) % Kohlenstoff, (0,2 ÷ 0,3) % Silicium, (1 ÷ 1,2) % Mangan, (0,8 ÷ 1) % Phosphor, 0,1 % Schwefel.

Andere Beimengungen wie Kupfer, Arsen, Antimon sind tunlichst zu umgehen. Das basische Verfahren verlangt einen Zuschlag von Kalk 8 ÷ 10 % des Einsatzes. Die Einsatzmenge wird eingeschmolzen, zuerst verbrennt dabei wieder Silicium und Mangan. Die Badhöhe beträgt 0,4 ÷ 0,5 m und ist von großem Einfluß auf den Verlauf des Prozesses. Das in den zugesetzten Erzen enthaltene Eisenoxyd wird durch den Kohlenstoff des Bades zum Teil reduziert, welcher als Kohlenoxyd aus dem Bade entweicht und ein lebhaftes Kochen hervorruft. Beim basischen Prozeß nimmt mit der fortschreitenden Entkohlung der Phosphorgehalt des Einsatzes ab und bildet in der Schlacke phosphorsauren Kalk, wie der Thomasschlacke. In das Schmelzgut werden oftmals noch weitere Zusätze an Alteisen, Kalk, Erz etc. eingerührt. Bei Herstellung von Nickelstahl für Panzerplatten, Wellen gibt man das Nickel in Würfelform dem Bade zu und mischt durch Rühren den Inhalt. Die Oxydation des Eisens kann bei diesem Prozeß gleichfalls nicht vermieden werden. Die verbrennenden Fremdkörper liefern die Hauptwärme für das Metallbad, dessen Schmelztemperatur durch abnehmenden Kohlenstoff auf 15 ÷ 1600° C. steigt. Die

verbrannte Kohle aber liefert hierzu nur 20% der nötigen Wärmeeinheiten. Durch öftere Entnahme von Proben kann der Schmelzer den Grad der Entkohlung feststellen. Der ganze Prozeß dauert ungefähr 4 ÷ 6 Stunden und bleibt daher genügend Zeit zu diesen Proben, welche das Resultat der Entkohlung erkennen lassen und über die Eigenschaften des Materials Aufschluß geben. Die mit einer Schöpfkelle entnommene Probe wird in eine kleine Form gegossen, wobei das Flußeisen schon nach dem Funkensprühen und Lunkern beurteilt werden kann. Den Block schmiedet man unter dem Dampfhammer zu einem Stabe oder einer Scheibe aus, die im Wasser abgekühlt wird. Weiches Eisen gestattet ein mehrmaliges Biegen um 180° ohne Springe oder Risse an der gebogenen Stelle aufzuweisen. Die Bruchflächen der im sauren Martinofen erzeugten Proben haben durch den höheren Phosphorgehalt ein gröberes Korn als diejenigen aus dem basischen Ofen. Der fertigen Charge wird zur Entfernung des Eisenoxyduls bei Herstellung weichen Flußeisens ein Zusatz von 0,5 ÷ 1%, Eisenmangan ([60 ÷ 80] % Mn) beigegeben. Bei härterem Stahl gibt man einen Zusatz von 1 ÷ 2% Spiegeleisen (10 ÷ 20% Mn). Zu Formgußstücken erhält die Charge noch etwas Siliciumeisen (Silicospiegel) beimengt, doch soll der Siliciumgehalt des Flußeisens nicht mehr als 0,3% betragen. Zuletzt erfolgt der Abstich durch Aufbrechen der Öffnung (a), wobei das Flußeisen in die Pfanne abfließt.

Die Schlackenuntersuchung ergibt bei saurem Betrieb:

(2 ÷ 4)% Kalkerde, (1 ÷ 5)% Tonerde, (20 ÷ 40)% Eisenoxydul, (10 ÷ 15)% Manganoxydul, (50 ÷ 60)% Kieselsäure.

Bei basischem Verfahren:

(5 ÷ 10) % Tonerde, (35 ÷ 50) % Kalkerde, (4 ÷ 7) % Magnesia,  
(10 ÷ 20) % Eisenoxydul, (7 ÷ 15) % Manganoxydul, (25 ÷ 35) %  
Kieselsäure, (7 ÷ 19) % Phosphorsäure.

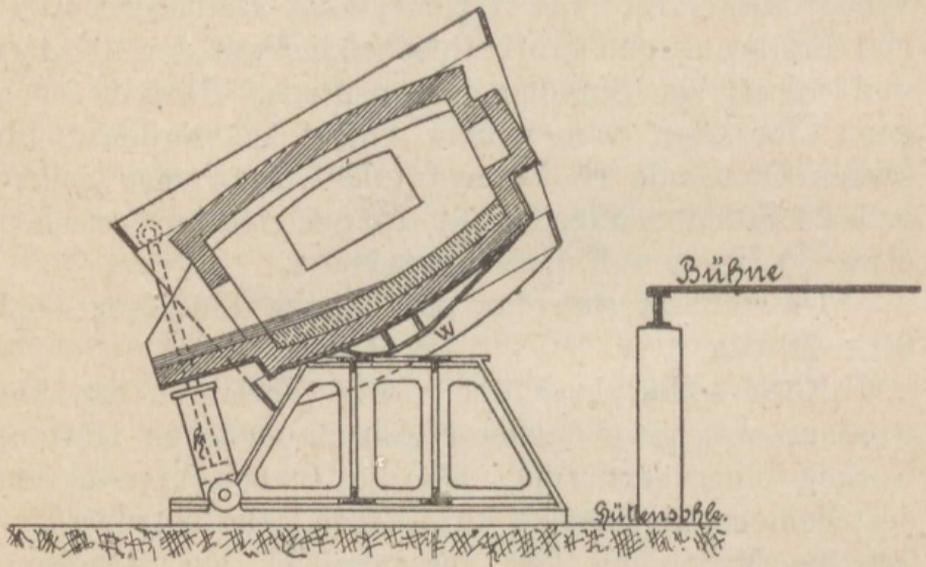
Nach jedem Abstich wird der Herd sorgfältig ausgebessert. Die entstandenen Vertiefungen werden von der Schlacke gereinigt und mit neuer Herd-Masse wieder ausgefüllt. Die Reparatur des Herdes erfordert viel Erfahrung und große Geschicklichkeit der Arbeiter und nimmt oft Stunden in Anspruch. Erst hernach kann der Ofen von neuem beschickt werden. Im sauren Ofen mit 15 Tonnen Inhalt kann man innerhalb 24 Stunden ungefähr 60 Tonnen und im basischen etwa 75 Tonnen Flußeisen erzeugen.

Die Selbstkosten für eine Tonne Flußeisen sind 60 ÷ 70 Mk.

Noch sollen in Kürze einige Verfahren erwähnt werden, welche in neuerer Zeit in manchen Hüttenwerken eingeführt sind, um die Flußeisenproduktion des Siemens-Martinofens zu erhöhen. Besteht der Einsatz im Martinofen fast ausschließlich aus Roheisen, so geht die Entkohlung sehr langsam von statten. Die schnellste Art das Bad zu entkohlen erreicht man durch Kombinieren des bessemer- und basischen Martinverfahrens, wobei selbst Roheisen von 0,2 ÷ 0,8 % Phosphor verarbeitet werden kann. Im sogenannten Duplexprozeß wird das Roheisen in einer Bessemerbirne von Silicium befreit und auf 0,1 ÷ 0,2 % entkohlt. Hierauf entfernt man im basisch zugestellten Martinofen den Phosphor, was 3 ÷ 4 Stunden beansprucht. Der Betrieb gestaltet sich durch Abkürzung des Verfahrens und geringen Aufwand an Erzen wesentlich günstiger und findet in solchen Hüttenwerken

Verwendung, die zur Erzeugung von Thomaseisen auf den Bezug fremder Erze angewiesen sind.

Daelen und Pszczolka beschleunigen durch Blasen von Wind auf die Oberfläche des Metallbades die Oxydation im Martinofen, doch werden die Winddüsen hierbei sehr rasch zerstört. Dieses Verfahren findet bis jetzt wenig Anwendung.



Kippbarer Martinofen. (Wellmann)

Fig 22.

Im Bertrand-Thielprozeß verteilt man die Arbeit, welche wir in einem Martinofen verfolgt haben, auf mehrere hintereinander angeordnete Öfen. Mit einem Roheiseneinsatz von 1 % Silicium und 1,5 % Phosphor und einem Erzzuschlag von 20 % können innerhalb 24 Stunden 7 ÷ 8 Chargen vollendet werden.

Der Talbotprozeß: Fig. 22 zeigt einen kippbaren nach Wellmann konstruierten Siemens-Martin-

ofen, welcher auf zwei Stahlwiegen (w) ruht und durch Senken des hydraulisch bewegten Kolbens (k) bewegt wird. Der Inhalt der Öfen schwankt von 60 ÷ 100 Tonnen, doch wird er während des Betriebs (innerhalb 1 Woche) nie ganz entleert, sondern davon nur ein Teil ( $\frac{1}{3}$  ÷  $\frac{1}{4}$ ) des fertigen Flußeisens entnommen. Der zurückbehaltenen, hochoerhitzten Masse wird dann Roheisen und Erz beigemennt und dieses Gemisch in Flußeisen umgewandelt. Solches Verfahren hat den Vorteil, daß die Entkohlung hier rascher als bei dem früher angeführten Martinverfahren vor sich geht und einen Mischer entbehrlich macht. Die Ausmauerung des Herdes ist durch beständiges Gefülltsein mit niedersiliciertem Eisen geschont. Das Entleeren und Reparieren eines solchen Ofens ist wesentlich einfacher als beim feststehenden Siemens-Martinofen.

### Das Glühfrischen (Tempern).

Dieses hat den Zweck, sprödes und hartes Gußeisen schmiedbar zu machen. Es läßt sich zwar einwenden, daß sämtliche Gegenstände ja aus Flußeisen gegossen werden könnten und solches Verfahren zu umgehen wäre. Allein dabei kommen die Eigenschaften beim Gießen der Materialien in Betracht. Das Flußeisen schwindet stärker als Gußeisen, ist dickflüssig und zur Herstellung dünnwandiger und kleiner Gegenstände durchaus ungeeignet, auch würde es viele Fehlgüsse verursachen. Das dünnflüssige Weißeisen dagegen läßt sich in alle Formen gießen, ohne daß bedeutende Fehlgüsse zu fürchten sind. Soll aber das Weißeisen zum Glühfrischen Verwendung finden, so muß es ungefähr folgende Zusammensetzung haben:

(2,8 ÷ 3) % Kohlenstoff, (0,5 ÷ 0,8) % Silicium, (0,2 ÷ 0,4) % Mangan, 0,1 % Phosphor, 0,1 % Schwefel.

Ein dementsprechendes Weißeisen wird bei kaltem Gang im Hochofen oder durch Niederschmelzen von grauem Roheisen mit etwas Schmiedeisenabfällen im Kupolofen gewonnen. Zur Umwandlung in Schmiedeisen muß den fertigen Gußwaren ohne Veränderung ihrer Form der Kohlenstoff entzogen werden, doch dürfen diese Gußartikel auf dem Bruche keine Graphitbildung zeigen. Die Entkohlung geschieht durch längeres Glühen in Berührung mit sauerstoffabgebenden Körpern, wodurch allmählich eine Oxydation des Kohlenstoffs an der äußeren Schicht stattfindet, die sich alsdann ins Innere fortsetzt. Immerhin weisen solche Gegenstände innen einen höheren Kohlenstoffgehalt wie die äußere Schicht auf. Durch richtiges Glühen mit den Oxydationsmitteln kann die Entkohlung auf 0,1 % herabgetrieben werden. Roteisenstein oder gerösteter Spateisenstein dienen als sauerstoffabgebende Glühmittel, doch dürfen dieselben nicht zu viel Kieselsäure enthalten. Letztere würde mit dem an Gußwaren haftenden Eisenoxydul eine leicht flüssige Schlacke bilden, was ein Zusammenfritten der Masse hervorruft. Um eine zu rasche Oxydation des Kohlenstoffs zu verhindern, wird dem frischen Roteisenstein  $\frac{2}{3} \div \frac{3}{4}$  Gebraucher beigemennt oder gerösteter Spateisenstein an dessen Stelle genommen. Die Gußstücke von annähernd gleichen Querschnitten werden in schmiedeisernen Töpfen rings mit dem Glühmittel umgeben. Ein Anfritten des Inhalts an die inneren Wandungen der Töpfe wird durch Bestreichen derselben mit Kalkmilch vermieden. Die gefüllten Töpfe werden nun in einem Flammofen, der mit einer Rostfeuerung unter

der Sohle ausgerüstet ist, über- und nebeneinander aufgestellt. Die Heizgase steigen durch die im Boden ausgesparten Kanäle hoch und ziehen durch Öffnungen an den Seitenwandungen ab. Die auf einer oder zwei Seiten angebrachten Türen sind während des Glühens abgedichtet. Innerhalb 2 ÷ 3 Tagen (je nach dem Querschnitt der Gegenstände) werden die Töpfe bei etwa 900° C. geglüht. Während des Erhitzens gibt das Erz einen Teil seines Sauerstoffs an den Kohlenstoff ab, welcher wieder zu Kohlenoxyd verbrennt. Die anderen Beimengungen des Eisens erfahren keine wesentliche Veränderung, doch dringt bei anhaltendem Glühen der Schwefel des Erzes in das Eisen ein und erzeugt Rotbruch. Die Töpfe läßt man langsam erkalten, worauf sie entleert werden. Das auf diese Weise hergestellte Material gestattet ein Biegen um 180° und Ausschmieden, ohne zu reißen und zeigt dieselben Eigenschaften wie schmiedbares Eisen, weshalb es unter dem Namen „schmiedbarer Guß“ läuft. Die Selbstkosten für 1 Tonne schmiedbaren Gusses betragen 120 ÷ 150 Mk.

### Das Zementieren

ist der umgekehrte Prozeß wie bei Darstellung schmiedbaren Gusses. Während dort dem Eisen Kohlenstoff entzogen wurde, ist man hier bestrebt, kohlenstoffarmem Eisen solchen zuzuführen, ohne es dabei umzuschmelzen. Reine dünne Schweißisenstäbe werden in gemauerten Kasten rings mit Holzkohle umgeben und unter völligem Luftabschluß im Zementierofen mit Rostfeuerung innerhalb 7 ÷ 9 Tagen bei 100° C. erhitzt. Während des Glühens dringt ein Teil des Kohlenstoffs der Holzkohle

in das Eisen ein, doch bleibt der Kern im Innern kohlenstoffärmer als der Äußere. Im Verlauf des Prozesses werden die Beimengungen wie Silicium, Phosphor, Schwefel wenig verändert, nur das im Schweiß-eisen eingeschlossene Eisenoxyd wird zu Eisen reduziert, welches eine Blasenbildung an der Oberfläche hervorruft. Bis zum Ausbringen des fertigen Zementstahls (Blasenstahl) dauert es immerhin 3 Wochen. Für 1 Tonne Stäbe sind 30 kg Holzkohle und 8÷900 kg Steinkohle nötig. Die Kosten des Zementierens sind für 1 Tonne auf 30 ÷ 40 Mk. zu veranschlagen.

Die Oberflächenzementierung von Panzerplatten, Granaten etc. geschieht statt des Glühens mit Holzkohle heute mit Leuchtgas, dessen Äthylengehalt ( $[2\div 5]\%$   $C_2H_4$ ) die Kohlung bewirkt. Zu diesem Zweck werden z. B. Panzerplatten auf einem fahrbaren Eisenwagen gelegt und ringsum eingemauert. Dieser Wagen bildet nachher die Sohle des Zementierofens und ist deshalb mit einer Sanddichtung umgeben. Einige Stellen der Panzerplatte, welche nicht gehärtet werden sollen, werden mit einer Ton- und Sandmischung überdeckt. Die auf  $1000\div 1200^\circ C$ . erhitzten Panzerplatten nehmen Kohlenstoff aus dem darüber hinziehendem Leuchtgas auf, der aber nur an der Oberfläche eindringt. Diese wird nachher noch durch Bespritzen mit Wasser gehärtet.

### Prüfung des schmiedbaren Eisens.

Die chemische Untersuchung der Erzeugnisse ist unerlässlich, wenn man bei einer bestimmten Zusammensetzung sichere Anhaltspunkte über die Eigenschaften des Metalls erhalten will. Eine chemische Analyse ist aber in der Zeit von der Fertigstellung des Materiales

bis zur Verarbeitung desselben oft nicht möglich und kann man meistens erst mehrere Stunden nachher die Resultate angeben. Der Betrieb erfordert aber die sofortige Prüfung der Erzeugnisse auf ihre physikalischen Eigenschaften und entstanden aus diesem Bedürfnis folgende Arten der Untersuchung:

1. Schmiedeprobe: Alle schmiedbaren Eisensorten bis zu (1 % C.) müssen in rotglühenden Zustand das Schmieden aushalten, ohne Risse an den Kanten aufzuweisen. Das auf Hellrotglut erhitzte Eisen wird zu einem Flacheisen 2 ÷ 5 mm stark) ausgeschmiedet und

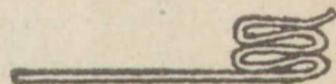


Fig. 23.

bandartig (Fig. 23) übereinander gelegt, wobei an den Biegestellen keinerlei Springe entstehen dürfen. Bei stärkerem Rundeisen oder quadratischen Stäben biegt man um einen Dorn. Die Güte des Materials wird nach dem Schleifendurchmesser beurteilt. Je kleiner sich die Schleife biegen läßt, ohne zu reißen, desto besser erscheint das Material, doch ist dabei der Querschnitt des Stabes in Rechnung zu ziehen. Das Stauchen der Rund-

und Quadratstäbe ist für gutes Schweißisen im Gebrauch. Eine sehr schöne Probe auf Rotbruch des Eisens wird in manchen Werken ausgeführt. Man spaltet mit dem Schrotmeißel ein Flacheisen (8 ÷ 10 mm auf 25 ÷ 50 mm) an einer Seite auf und biegt die beiden Lappen um (Aufhauprobe Fig. 24). Einen

*Aufhauprobe.*

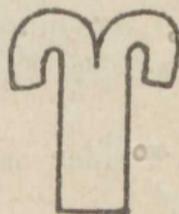


Fig. 24.

davon schmiedet man in der Rotglut zu einem dünnen Quadratstab aus und wickelt ihn schraubenförmig um

das Flacheisen. Etwas weiter oben durchlocht man mit einem Durchschlag und Lochring, so daß ein schmaler Streifen übrig bleibt. (Das andere Ende des Flacheisens wird rotglühend keilförmig zu einem scharf-

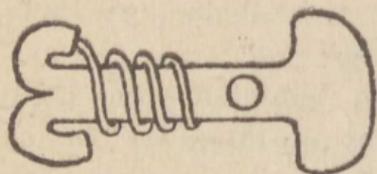


Fig. 25.

kantigen Stücke (Tangelprobe) geschmiedet, das keine Kantenrisse zeigen darf. Das Probestück sieht nach der Bearbeitung folgendermaßen aus (Fig. 25).

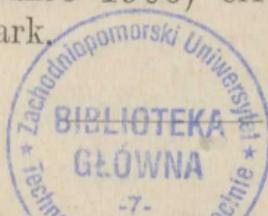
**Kaltbiegeprobe:** Ein im Schraubstock festgeklemmter, dünner Stab wird mehrmals vor- und rückwärts gebogen, doch kann nur phosphorarmes Eisen (mit höchstens 0,4 % Kohlenstoff) dieser Probe unterworfen werden. Eine dem Martinofen entnommene Probe wird in vielen Werken unter dem Dampfhammer zur Scheibe von 5 ÷ 8 mm Stärke geschmiedet und im Wasser abgekühlt. Dieses Stück biegt man in der Mitte (um 180°) und solche Doppellage nochmals zusammen. Das zweifach gefaltete Eisenstück sieht einem zusammengelegten Taschentuch ähnlich und wird deshalb Taschentuchprobe genannt.

### Die Schmiedeeisenproduktion im Jahre 1900.

In folgender Tabelle ist die Gesamterzeugung von Schmiedeeisen verschiedener Länder angegeben und sind diese Zahlen der Fachzeitschrift „Stahl und Eisen“ entnommen:

Vereinigte Staate von Nordamerika	10 689 640	Tonnen
Deutschland . . . . .	6 645 869	„
England . . . . .	4 904 232	„
Rußland . . . . .	1 830 260	„
Frankreich . . . . .	1 660 118	„
Österreich-Ungarn . . . . .	945 200	„
Belgien . . . . .	654 827	„

Die Produktion in sämtlichen Staaten dürfte etwa 30 Millionen Tonnen betragen. In Deutschland bestanden im Jahre 1900 174 Schweißisenwerke mit 38000 Arbeitern und einer Leistung von 69274 Tonnen Halbfabrikaten, 946352 Tonnen Fertigfabrikaten und 189 Flußeisenwerke mit 124665 Arbeitern und einer Leistung von 1536063 Tonnen Halbfabrikaten, 4825587 Tonnen Fertigfabrikaten. Der Wert der in Deutschland zum Verkauf hergestellten Eisenwaren (im Jahre 1900) erreichte die Höhe von 1,5 Milliarden Mark.



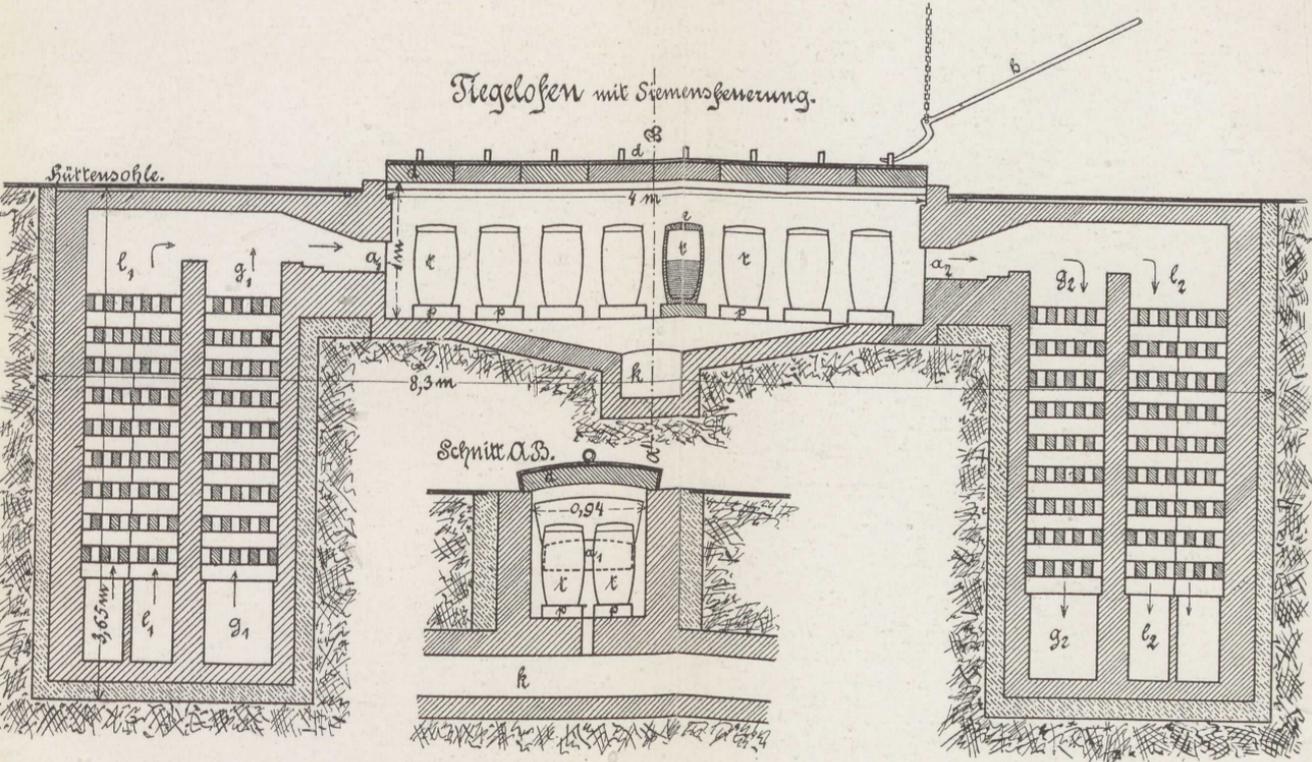
## Register.

- |  |                                  |   |
|--|----------------------------------|---|
| Aluminium 19, 47, 54.                        | Chrom 13, 19, 34.                | Flammofenfrischen 9, 21.                      |
| Anlassen 16, 43.                             | Chromeisenerz 65.                | Feinkorn 7.                                   |
| Anlaßhärte 16.                               | Citratlösliche Phosphorsäure 58. | Fernboden 41.                                 |
| Antimon 19.                                  | Converter 39.                    | Ferroaluminium 54.                            |
| Arsen 19.                                    | Coquillen 45.                    | Flußeisen (Fig.) 9, 14; (Darstellung) 13, 30. |
| Aufhauprobe 77.                              | Coquilleneisen 46.               | Forterventil 67.                              |
| Ausgleichgruben 44.                          | Cort 21.                         | Futter 49, 57, 65.                            |
| Ausmauerung 50, 57, 65.                      |                                  |   |
| Basisches Futter 57, 65.                     | Daelen 72.                       | Ganister 49.                                  |
| Baumann-Öfen 32.                             | Damaststahl 37.                  | Gärbstahl 15.                                 |
| Bearbeitung (mechanisch) 20.                 | Darbys Kohlungsverfahren 54.     | Gebälse 44.                                   |
| Bertrand-Thielprozeß 72.                     | Desoxydation 19, 53, 58.         | Generator 33, 61, 63.                         |
| Bessemerverfahren 13, 37, 50.                | Dolomit 55.                      | Gießgruben 42, 46.                            |
| Bessemer Roheisen 51.                        | Düse 41.                         | Gießvorrichtung 45.                           |
| Birne 39.                                    | Duplexverfahren 41.              | Glashärte 16.                                 |
| Blasenräume 11.                              | Durchschlagprobe 77.             | Glockenumsteuerung 33, 67.                    |
| Blasenstahl (Fig.) 15; (Darstellung) 76.     | Durchweichungsgrube 49.          | Graphittiegel 31.                             |
| Cementstahl (Fig.) 15; (Darstellung) 34, 76. | Eisenmangan 53, 58, 70.          | Guß 44, 45.                                   |
| Chargiermaschine 68.                         | Eisenoxydul 19, 51, 53.          | Gußstahl 30.                                  |
|  | Erze 68.                         | Heißen Gang 57.                               |
|  |                                  | Herdfrischen 9, 21.                           |

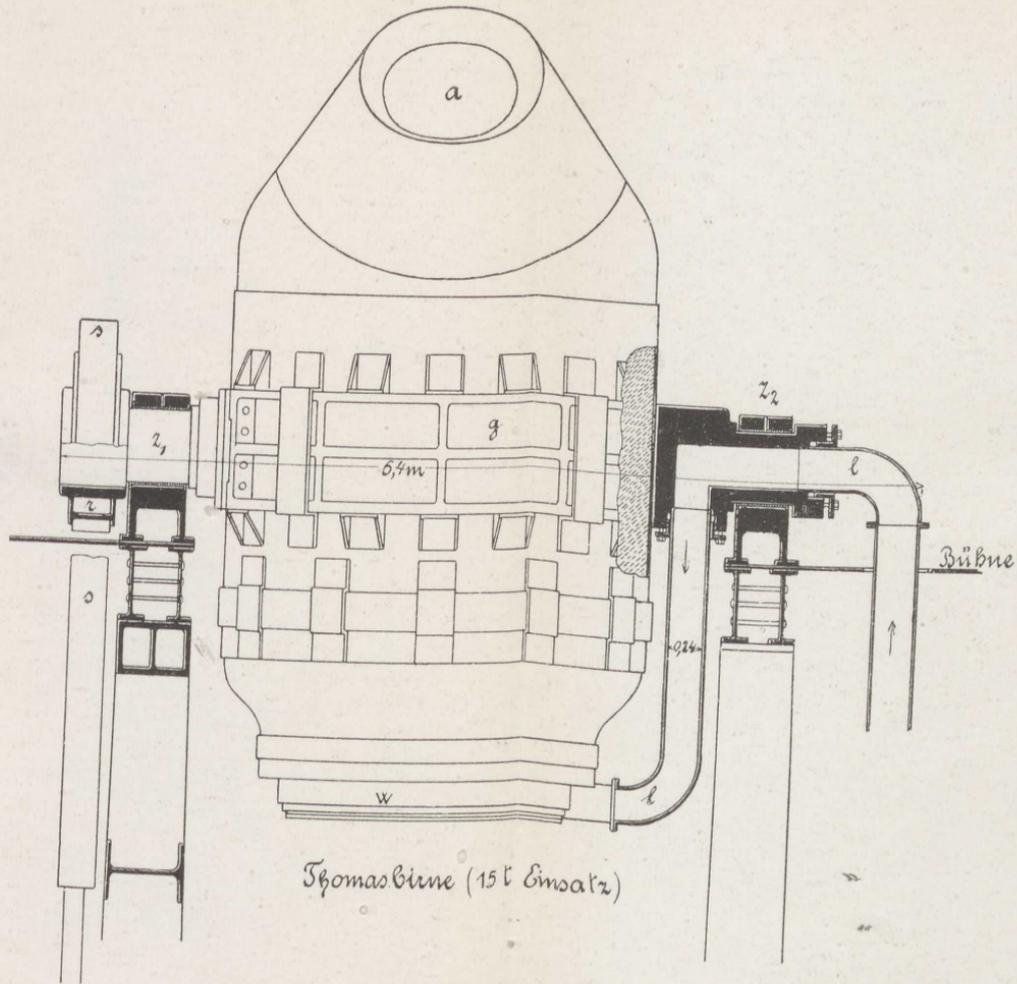
- Hohlräume 11.  
 Huntsmann 30.  
 Jahresproduktion 79.  
 Ingots 40.
- Kaltbiegeprobe 78.  
 Kalter Gang 57.  
 Klappenventil 67.  
 Kleinbessemerie 13, 54.  
 Kohlenstoff 16, 51.  
 Kohlungsverfahren 54.  
 Körtlingsches Gebläse 60.  
 Legeisen 23.  
 Lunker 12.  
 Lupe 29.  
 Lutte 57.  
 Magnesit 56, 65.  
 Mangan 17, 51.  
 Martinofen (Bau) 64.  
 — (Betrieb) 68.  
 — (kippar) 72.  
 Mitisguß 30, 36.  
 Nachblasezeit 57.  
 Nadelboden 41.  
 Naphtafeuerung 36, 63.  
 Natriumlinin 52.  
 Naturhärte 16.  
 Nickel 13, 17.  
 Nickelstahl 13, 69.  
 Oberflächenhärtung 76.  
 Panzerplatten 13, 69.  
 Pfanne 45.  
 Phosphor 17, 56.  
 Phosphorsäure 28, 57.  
 Phosphorschlacke 28, 57, 71.  
 Piatofen 32.  
 Produktion 79.  
 Prüfung 76.  
 Puddeln 9, 21, 26, 30.  
 Puddelofen 22.  
 Puddelbetrieb 26.  
 Puddelschlacke 29.  
 Regenerator 33, 67.  
 Rennen 9, 20.  
 Roheisen (Puddeln) 27.  
 — (Bessemern) 51.  
 — (Thomasverfahren) 56.  
 — (s. Siemens-Martinprozeß) 69.  
 — (basischen Siemens-Martinprozeß) 69.  
 Roteisenstein 74.  
 Rückkohlung 54, 58, 70.  
 Saigern 12.  
 Sauerstoff 19, 53.  
 Saugen 11.  
 Saures Futter 50, 65.  
 Saure Schlacke 55, 70.  
 Sehne 6.  
 Siemensfeuerung 33, 60.  
 Siemens-Martinverfahren 13, 62.  
 Silicium 17, 51, 56, 69.  
 Siliciumeisen 19, 57.  
 Siliciumcarbid 19, 54.  
 Schlacke (saure) 35, 55, 70.  
 — (basische) 28, 57, 71.  
 Schlackenbildungsperiode 51.  
 Schmelzöfen 32.  
 Schmiedbarer Guß 14, 73.  
 Schmiedeprobe 77.  
 Schrott 57, 68.  
 Schwefel 17, 28.  
 Schweißeisen (Fig.) 5, 7.  
 — (Darstellung) 21.  
 Schweißstahl 7, 27.  
 Spektroskop 52.  
 Spiegelisen 53, 58, 70.  
 Steigender Guß 47.  
 Talbotverfahren 13, 72.  
 Tangelprobe 78.  
 Taschentuchprobe 78.  
 Teer 47, 55.  
 Tempern 15, 73.  
 Tiefofen 49.  
 Tiegel 31.  
 Tiegelofen 32.  
 Tiegelschmelzen 13, 30.  
 Tiegelstahl (Fig.) 10, 13.  
 (Darstellung) 34.  
 Thomasverfahren 13, 37, 55.  
 Umsteuerung 33, 67.  
 Wailesventil 67.  
 Wärmespeicher 33, 68.  
 Weißeisen 74.  
 Wellmann 72.  
 Wind 44, 60.  
 Windform 41, 56.  
 Wolfram 19.  
 Zementieren 15, 75.  
 Zinn 19.



Tiegelöfen mit Siemensfernung.



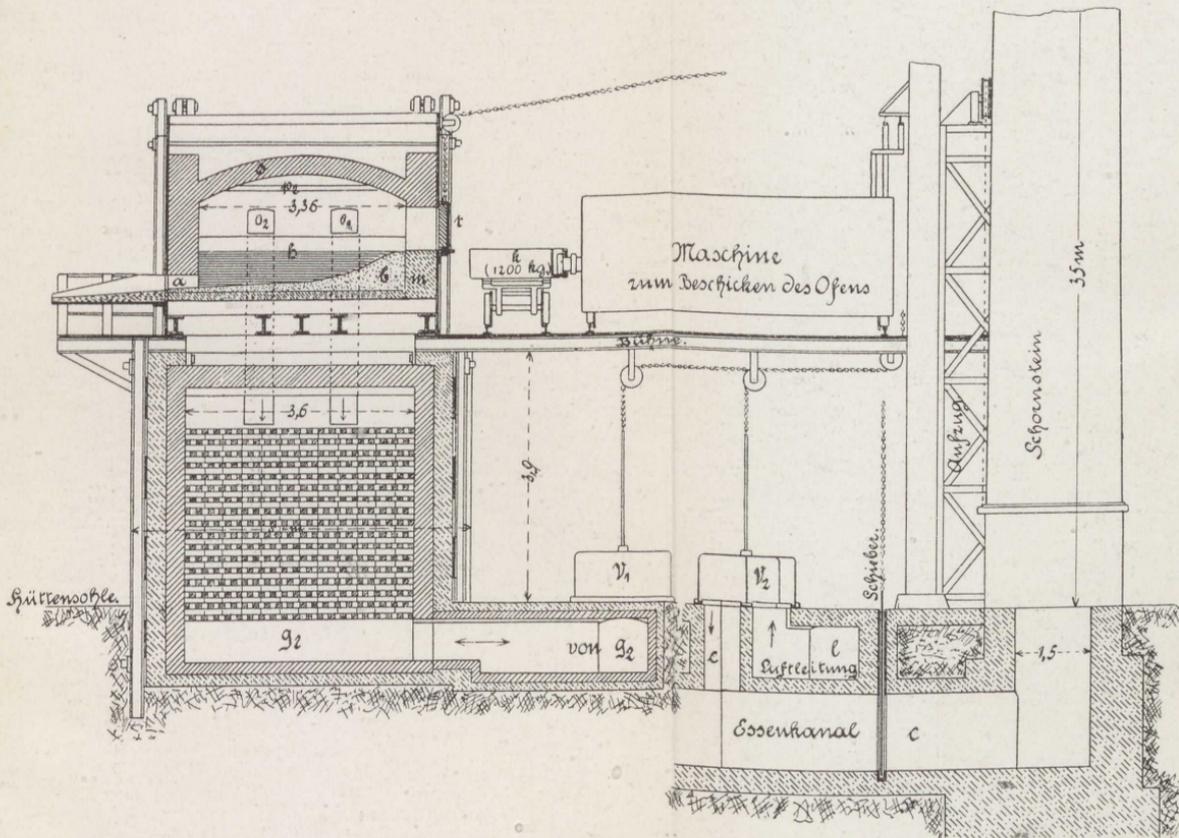
Tafel I.



Tomasbirne (15 t Einsatz)



Siemens-Martinofen (15 Tonnen.)



Tafel IV.

